

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## ЦИФРОВАЯ ГЕОГРАФИЯ

Материалы Всероссийской научно-практической конференции  
с международным участием

16–18 сентября 2020 г., г. Пермь

### Том I

Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных  
процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии



Пермь 2020

УДК 911.3/3:528.9  
ББК 28.5+26.1  
Ц752

Ц752 Цифровая география : материалы Всерос. науч.-практ. конференции с междунар. участием (г. Пермь, 16–18 сентября 2020 г.) : в 2 т. Т. 1 : Цифровые и геоинформационные технологии в изучении природных процессов, экологии, природопользовании и гидрометеорологии / научные редакторы С. В. Пьянков, С. А. Бузмаков, Н. А. Калинин, Н. Н. Назаров, С. В. Копытов ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2020. – 477 с.: ил.

ISBN 978-5-7944-3504-7  
ISBN 978-5-7944-3505-4 (Т. 1)

Рассматриваются вопросы использования данных дистанционного зондирования Земли при изучении различных природных процессов, объектов и явлений; теоретические и методические аспекты геоинформационного обеспечения и инфраструктуры пространственных данных при решении задач устойчивого развития и рационального природопользования. Особое внимание уделено решению водно-экологических, геоморфологических, метеорологических проблем, опыту разработки веб-картографических сервисов.

Конференция посвящена 65-летию географического факультета Пермского университета и 100-летию со дня рождения первого декана – профессора Б.А. Чазова.

УДК 911.2/3: 528.9  
ББК 28.5+26.1

Digital geography: proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation (Perm, September, 16–18, 2020): in 2 vols. Vol.1: Digital and GIS-technologies in the study of natural processes, ecology, nature management and hydrometeorology / Scientific editors S.V. Pyankov, S.A. Buzmakov, N.A. Kalinin, N.N. Nazarov, S.V. Kopytov; Perm State University. – Perm, 2020. – 477 pp.: ill.

There are considered the questions of use of remote sensing data in the study of various natural processes, objects and phenomena; theoretical and methodical aspects of geoinformation support and spatial data infrastructure in solving problems of sustainable development and rational nature management. Particular attention is paid to the solution of water-ecological, geomorphological, meteorological problems, the experience of developing web cartographic services.

The conference is dedicated to the 65th anniversary of the Faculty of Geography of Perm State University and the 100th anniversary of the birth of the first dean, Professor B.A. Chazov.

*Печатается по решению оргкомитета конференции*

*Мероприятие проводится при финансовой поддержке РФФИ,  
проект № 20-05-20035*

Научные редакторы:  
С.В. Пьянков, С.А. Бузмаков, Н.А. Калинин, Н.Н. Назаров, С.В. Копытов

ISBN 978-5-7944-3504-7  
ISBN 978-5-7944-3505-4 (Т. 1)

© ПГНИУ, 2020

# ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ

УДК 528.94

Р.К. Абдуллин, А.В. Тарасов, gis@psu.ru  
Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО АТЛАСА ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА УРАЛА

В статье представлена информационная основа, структура и функциональные возможности атласной информационной системы (АИС) изменений климата Урала. Она представляет собой электронный атлас с расширенными функциями визуализации и анализа данных. Интерфейс АИС организован в виде картографического веб-приложения. Информационная основа АИС включает в себя различные источники данных, такие как многолетние наблюдения на метеорологических станциях, проект WorldClim 2.0, база данных нарушений лесного покрова от ветровалов и пожаров, полученная по данным космической съемки, данные об опасных явлениях погоды с метеостанций.

*Ключевые слова:* электронный атлас, атласная информационная система, изменение климата, картографический веб-сервис.

R. Abdullin, A. Tarasov, gis@psu.ru  
Perm State University, Perm, Russia

## THE DEVELOPMENT OF THE DIGITAL ATLAS OF CLIMATE CHANGE IN THE URAL REGION

The article presents the information basis, structure and functionality of the atlas information system (AIS) of climate change in the Ural region. The atlas information system (AIS) is an digital atlas with enhanced visualization and data analysis functionality. AIS is published as a cartographic web application. The information base of the AIS includes various data sources, such as long-term observations at weather stations, WorldClim 2.0 project, database of forest cover disturbances caused by windthrows and fires obtained from space imagery and hazardous weather data from meteorostations.

*Keywords:* digital atlas, atlas information system, climate change, web mapping service.

Изменения климата и их негативные последствия считаются одной из современных глобальных проблем человечества, поэтому важность их исследования на различных уровнях территориального охвата не вызывает сомнений. Одним из эффективных методов изучения изменений климата и их динамики является атласное картографирование.

В настоящее время подходы и требования к созданию климатических атласов несколько изменились, что связано с развитием ГИС-технологий, появлением

новых источников информации (например, данных реанализа) и расширением возможности оперативной актуализации климатических карт. Кроме того, получили развитие различные формы электронных атласов, среди которых наиболее совершенной формой являются атласные информационные системы (АИС), представляющие собой интерактивные электронные атласы с расширенными функциональными возможностями [3]. Для обеспечения открытого доступа и удобства работы, АИС часто создаются в виде

картографических веб-приложений.

Целью данной работы является создание электронного атласа (АИС) изменений климата Уральского региона с применением веб-ГИС технологий, обеспечивающего интеграцию, систематизацию, регулярное и оперативное обновление, а также наглядное представление ретроспективной и современной информации о климате, его изменениях и негативных последствиях и организацию общего доступа к ней.

Выбор территории Урала в качестве объекта исследования связан с большим разнообразием климатических характеристик в ее пределах. Кроме того, на формирование климата Урала оказывает значительное влияние Карское море, над акваторией которого за последние 15 лет наблюдается значительный рост температуры воздуха [7].

На данный момент в структуре АИС изменения климата Урала имеется четыре раздела:

1. Режимные среднемноголетние климатические характеристики и их тренды;
2. Экстремальные климатические характеристики и их тренды;
3. Крупномасштабные погодные аномалии и опасные метеорологические явления;
4. Последствия изменения климата.

При создании карт для каждого раздела использовались разные источники исходных данных. В качестве основного источника информации для построения карт первого раздела АИС использованы многолетние климатические данные с сервиса ВНИИГМИ-МЦД (<http://aisori.meteo.ru/ClimateR>) по 91 метеостанции Росгидромета, расположенных в пределах исследуемой территории Уральского региона и вблизи его границ.

На их основе созданы карты следующих режимных климатических характеристик: среднегодовой и среднемесячной температуры воздуха, влажности воздуха, атмосферного давления, общей и нижней облачности, количества осадков (за год, теплый и холодный период), характеристик снежного покрова (средней максимальной высоты и запаса воды в снеге, продолжительности залегания). Построены также карты их трендов за период с середины XX в. до настоящего времени.

Карты климатических переменных создавались по скользящим 30-ти летним периодам: 1951–1980, 1961–1990, 1971–2000 и 1981–2010 гг. Для карт осадков использо-

вались другие периоды осреднения: 1966–1995, 1971–2000, 1976–2005 и 1981–2010 гг., поскольку однородные ряды данных по количеству осадков имеются только с 1966 г.

Для создания ряда карт использовались данные метеостанций из Научно-прикладного справочника по климату СССР 1989–1991 гг. [2]. В частности, на основе этих данных были построены следующие карты: среднегодового суточного максимума осадков; числа дней с осадками более 30 мм; суточной суммы осадков 1% и 5% обеспеченности (в годовом выражении); средней максимальной высоты снежного покрова и запаса воды в снеге; продолжительности залегания снежного покрова; средней общей облачности; среднегодового числа дней с различными метеорологическими явлениями (гроза, град, туман, метель). Методика создания перечисленных карт для данного раздела описана в работе [1].

Кроме того, в указанный раздел помещены карты, полученные из других источников. Так, для характеристики климата Урала до 1960-х гг. использованы карты из электронного Агроэкологического атласа [4], созданные на основе данных из Справочников по климату СССР 1965–1974 гг. Интеграция этих данных в АИС позволила увеличить временной ряд для анализа изменения климата.

Также для сравнения с авторскими картами, построенных на основе данных из архивов ВНИИГМИ-МЦД в первый раздел АИС помещены карты проекта WorldClim 2.0 [6]. Это карты температуры воздуха, количества осадков и парциального давления водяного пара за период с 1971 по 2000 гг.

Во втором разделе АИС представлены карты экстремальных климатических характеристик и их трендов.

Исходные данные для создания карт экстремальных характеристик также получены по наблюдениям реперных метеостанций Росгидромета. Как и при построении карт режимных характеристик, для определения норм использованы те же скользящие 30-ти летние периоды.

При определении критериев экстремальности использовались два подхода. Первый подход предполагает расчет на основе установленных критериев опасных и/или неблагоприятных метеорологических явлений, которые в большинстве случаев одинаковы для всей исследуемой территории. Второй (статистический) подход

предполагал вычисление пороговых значений по 1% повторяемости из всего ряда наблюдений для каждой метеостанции.

При реализации первого подхода были рассчитаны такие характеристики, как число дней с температурой воздуха выше +30°C и ниже -30°C, число дней с осадками  $\geq 30$  мм за суточный и полусуточный интервалы, число дней со скоростью ветра  $\geq 15$  м/с (за год, а также отдельные месяцы) и др. Также были определены среднегодовые и абсолютные экстремумы климатических переменных (среднегодовой максимум и минимум температуры воздуха, среднегодовой максимум количества осадков и высоты снежного покрова).

При реализации второго подхода были вычислены сами экстремальные характеристики и их повторяемость. Пороговые значения экстремальных характеристик определяются как 1-й и 99-й процентиля для полной выборки наблюдений (по всему массиву данных или по конкретному месяцу/сезону). На основе данного подхода рассчитаны следующие показатели: сумма осадков 1% повторяемости; число дней с суточным количеством осадков, превышающим порог 1% повторяемости; максимальная температура 1% повторяемости в летний сезон; число дней с максимальной температурой, превышающей порог 1% повторяемости; минимальная температура 1% повторяемости в зимний сезон; число дней с минимальной температурой, превышающей порог 1% повторяемости.

Третий раздел АИС содержит данные о крупномасштабных климатических аномалиях и опасных явлениях погоды (ОЯП) с 99 метеостанций, по которым на сервисе <https://rp5.ru/> доступен полный архив данных за рассматриваемый период с минимальным числом пропусков и ошибок. Критерии ОЯП были выбраны с учетом рекомендаций региональных УГМС. База данных ОЯП включает сведения о более чем 1500 случаях, зафиксированных на метеостанциях Уральского региона за период 2006–2019 гг. Для каждого явления определены дата, срок наблюдения, интенсивность и продолжительность.

Четвертый раздел АИС содержит данные о некоторых негативных последствиях изменений климата. В частности, в нем представлены данные о многолетней динамике площадей лесных пожаров и ветровалов на всей территории за период с 2001 г. (для Западного Урала – за период с 1984 г), поскольку увеличение ущерба

для лесов от экстремальных погодных явлений признано одним из основных негативных последствий изменения климата. Информация получена из базы геоданных, описанной в работе [5]. В АИС представлены как сами данные (контуры гарей и ветровалов с возможностью получения атрибутивной информации по каждому случаю), так и построенные на их основе карты (доля площади лесов, погибших от пожаров и ветровалов за рассматриваемый период), а также характеристики многолетних трендов.

Для систематизации, интеграции и хранения всех данных АИС создана картографическая база данных под управлением свободной объектно-реляционной СУБД PostgreSQL. Электронный атлас разрабатывается на основе веб-ГИС технологий. Для публикации пространственных данных в сети Интернет и организации доступа к ним применяется свободно распространяемый ГИС-сервер GeoServer. Электронный атлас представляет собой клиентское веб-приложение, реализованное на базе следующих технологий: языка разметки HTML5, таблиц стилей CSS3 и языка программирования JavaScript. Доступ пользователей к интерфейсу АИС в сети Интернет организован по адресу <http://climate-ural.psu.ru>. Стартовая страница веб-приложения представлена на рисунке 1.

АИС изменений климата Урала представляет собой проблемно-ориентированный картографический сервис с расширенными возможностями геовизуализации и пространственно-статистического анализа. К основным функциональным возможностям электронного атласа изменений климата Урала относятся:

- Картографическое отображение различных климатических характеристик и их изменений во времени (динамические карты, анимированные геоизображения).
- Доступ к многолетним статистическим данным и их отображение различными способами (графики, структурные и столбчатые диаграммы).
- Возможность сравнительного анализа картографических и статистических данных за различные интервалы времени.
- Возможность создания пространственных и атрибутивных запросов к данным.

Созданная АИС изменений климата Урала позволяет, во-первых, отобразить региональные особенности современного изменения климата в регионе. Во-вто-

рых, опубликованные в открытом доступе данные доступны для широкого круга пользователей. В частности, потребность в получении подобных данных существует у специалистов в области инженерных изысканий, которые зачастую используют в своей работе устаревшие данные о климатических нормах и экстремумах. Кроме

того, предложенные решения (по структуре атласа, его информационному наполнению, способам картографического отображения и функциональным возможностям) могут быть впоследствии реализованы при создании подобных картографических сервисов для других крупных регионов России.

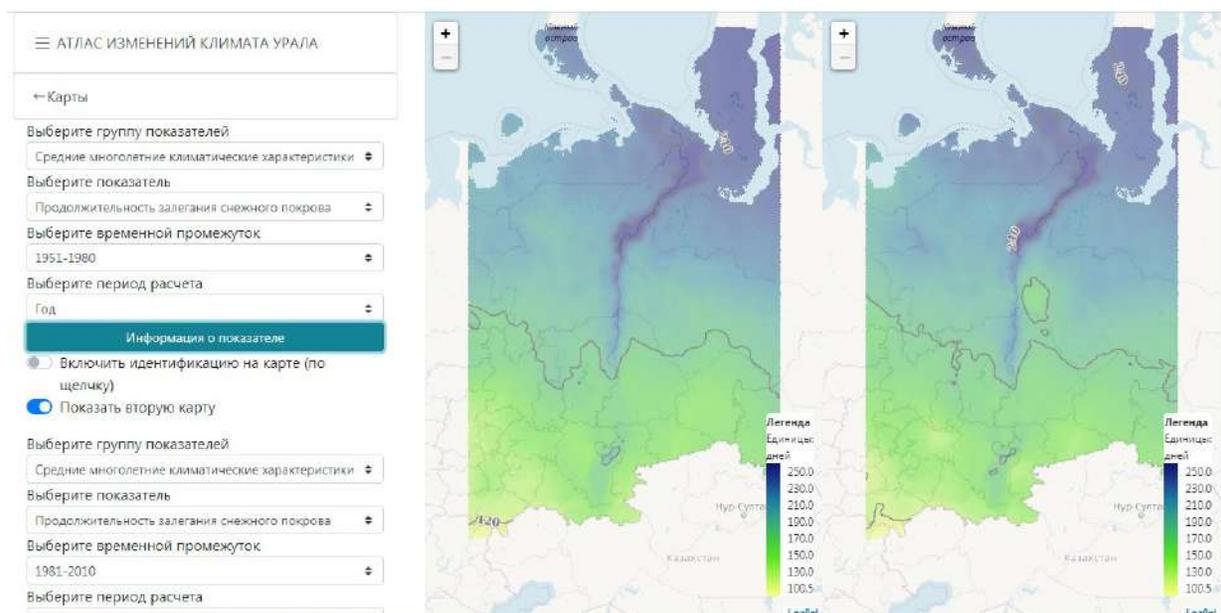


Рис. 1. Пользовательский интерфейс АИС изменений климата Урала

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 18-35-00055 мол-а.*

### Библиографический список

1. *Абдуллин Р.К., Шихов А.Н.* Картографирование современных изменений климата на территории Урала // *Геодезия и картография*. 2019. Т. 80. № 1. С. 3–12.
2. *Афонин А.Н., Грин С.Л., Дзюбенко Н.И., Фролов А.Н.* Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [Электронный ресурс]. 2008. URL: <http://www.agroatlas.ru> (дата обращения 20.02.2020).
3. *Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С.* Основы геоинформатики: в 2 кн. Кн. 2. М.: Академия, 2004. 480 с.
4. *Научно-прикладной справочник по климату СССР. Вып. 1–17.* Л.: Гидрометеиздат, 1989–1991.
5. *Шихов А.Н., Перминов С.И., Киселева Е.С.* Оценка подверженности бореальных лесов Урала воздействию лесных пожаров и ветровалов по многолетним рядам спутниковых наблюдений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 3. С. 87–102. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-87-102.
6. *Fick S.E., Hijmans R.J.* WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2017. Vol. 37. P. 4302–4315. DOI: 10.1002/joc.5086.
7. *Kohnemann S. H. E., Heinemann G., Bromwich D. H., Gutjahr O.* Extreme warming in the Kara Sea and Barents Sea during the winter period 2000–16 // *Journal of Climate*. 2017. Vol. 22 (30), P. 8913–8927.

УДК 911.2(4)

Н.Н. Алексеева, О.А. Климанова, Д.А. Третьяченко, nalex01@mail.ru  
 МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ МИРА НА ГИПОТЕТИЧЕСКОМ (ИДЕАЛЬНОМ) МАТЕРИКЕ

Концепция гипотетического (идеального) материка используется более столетия для показа распределения природно-климатических закономерностей без учета влияния орографических факторов. За это время было разработано множество схем географической зональности на разных по очертаниям гипотетических материках. С использованием ГИС-технологий созданы модели, позволившие получить полигоны гипотетического материка с пространственным разрешением 10 км, а также произведена интеграция природных зон в геометрию идеального континента. Отмечены сходства и различия поясно-зональной структуры на созданной высокодетальной модели в сравнении с предшествующими версиями.

*Ключевые слова:* гипотетический (идеальный) материк, ГИС- моделирование, ландшафты, поясно-зональная структура.

N. Alekseeva, O. Klimanova, D. Tretyachenko, nalex01@mail.ru  
 Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## MODELING OF THE ZONAL STRUCTURE OF THE WORLD LANDSCAPES ON THE HYPOTHETIC (IDEAL) CONTINENT

The concept of a hypothetical (ideal) continent is applied to show the distribution of natural and climatic patterns without taking into account the influence of orographic factors for more than a century. During this time, many schemes with geographic zoning were developed on hypothetical continents of various shapes. The models in GIS made it possible to obtain polygons of a hypothetical continent with a spatial resolution of 10 km, as well as to integrate natural zones into the geometry of an ideal continent. The similarities and differences of the belt/zonal patterns within the created highly detailed model as compared to previous versions are defined.

*Keywords:* hypothetical (ideal) continent, GIS modeling, landscapes, belt and zonal patterns.

**Введение.** Концепция гипотетического (идеального) материка используется в географии и геоэкологии для представления обобщенной картины распределения природно-климатических показателей без влияния орографических особенностей. Первая модель идеального материка была выполнена в 1900 г. российским климатологом и географом В. Кеппенем, показавшим на нем распределение климатических зон. С тех пор эта концепция условно выровненного (~200 м над уровнем моря) нерасчлененного континента стала использоваться для демонстрации и анализа закономерностей, обусловленных распределением тепла и влаги на гипотетической суше Земли. За более чем столетний период различные схемы идеального материка были предложены швейцарскими ботаниками Г. Брокман-Ерош и Е. Рюбелем, советским ботаником А. П. Шенниковым, климатологом Н.Н. Ивановым, немецким географом К. Троллем, физико-географом А.Г. Исаченко и др.

На географическом факультете МГУ было разработано несколько схем природной зональности на ГМ [1–4]. Наибо-

лее дифференцированная поясно-зональная модель ГМ [4] была создана на основе карты для высшей школы «Географические пояса и зональные типы ландшафтов мира» (1988). Для подсчета площадей ареалов зональных типов ландшафтов использовались трапеции градусной сетки размером 10x10. В 2015 г. под руководством Э.П. Романовой создана модель ГМ на основе обновленной секторно-зональной классификации суши, на которой показаны 44 природные зоны [3].

**Материалы и методы исследования.** В работе применен инструментальный программный ArcGIS 10.5 (ESRI). На первом этапе была разработана модель создания полигона гипотетического материка в ModelBuilder. Использовались открытые полигональные данные ArcGIS Online Continents, конвертированные в растровый формат с разрешением 10 км. С целью автоматизации процесса создания гипотетического материка и исключения необходимости применения ArcGIS в режиме редактирования (в приложении ArcMap) была создана модель ModelBuilder, разделенная на две ветви – для построения контура

идеального континента в восточном полушарии и в западном полушарии. Все возможные переменные модели (исходные данные, точность, выходные данные) заданы как параметры, и при запуске модели в виде инструмента есть возможность настраивать процесс создания полигона ГМ. В результате был получен итоговый полигональный класс объектов – полигон идеального континента с существенно уточненным контуром в сравнении с предыдущими моделями.

Далее на новую модель гипотетического материка была перенесена структура распределения географических поясов и природных зон. Для этого разработана другая модель в ModelBuilder, которая может применяться для любых полигональных объектов, единственное требование к которым – наличие атрибутивной информации с описанием зон. Для создания схемы гипотетического материка с сохранением фактической мозаики природных зон были взяты границы природных зон из электронного Атласа мира «ArcAtlas: Our Earth» (1996) [5], где были выделены 26 природных зон, относящихся к 7 географическим поясам, а также интразональные ландшафты. После выполнения алгоритма модели фактические зоны были интегрированы в геометрию гипотетического континента.

**Результаты.** 1) созданные при помощи описанной модели полигоны гипотетического материка с исходными (площадь материка равна площади суши) и измененными параметрами (площадь материка соответствует  $\frac{1}{2}$  площади суши); 2) новая схема зонального устройства гипотетического (идеального) материка с расчетом фактических площадей природных зон и наиболее распространенных интразо-

нальных группировок ландшафтов.

**Обсуждение.** Современные геоинформационные системы практически не имеют ограничений по объему обрабатываемой информации, что впервые позволило создать полигон гипотетического материка с точностью до 10 кв. км. При разрешении раstra 10 км создается порядка 1,5 млн точек, для каждой из которых точки были добавлены атрибутивные поля с координатами. Поскольку для каждой 10-километровой широтной полосы было получено свое сочетание природных зон, схема зональных выделов стала весьма дифференцированной. Высокая степень разрешения привела к тому, что границы зон получились менее сглаженные, а их ареалы более дискретными, чем на прежних версиях ГМ. Границы географических поясов оказались чрезвычайно ломаными, в ряде районов исчезла широтная непрерывность поясов, как например, в экваториальном поясе за счет зоны саванн и редколесий в восточных частях. При этом сохранились и общие закономерности зональной дифференциации, отмеченные на прежних схемах ГМ. Так например, на созданной модели отмечается заметный сдвиг к северу границ пустынных зон во внутриконтинентальных секторах субтропического и тропического поясов; продвижение к югу границ таежной зоны на восточной окраине ГМ; более северное положение границы между умеренным и субтропическим поясами на западе ГМ в северном полушарии.

**Выводы.** При необходимости данную модель можно применять для любых других источников данных, можно при необходимости изменять точность итогового полигона идеального континента (в сторону упрощения или детализации).

*Работа выполнена в рамках темы Госзадания кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Геоэкологическая оценка и прогноз состояния ландшафтов мира в условиях глобальных изменений».*

### Библиографический список

1. Лукашова Е.Н. Основные закономерности природной зональности и ее проявление на суше Земли // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1966. №6. С. 11–25.
2. Новая карта мира «Географические пояса и природные зоны суши Земли» / Э. П. Романова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. №4. С. 3–11.
3. Рябчиков А.М. Структура и динамика геосферы, ее естественное развитие и изменение человеком. М.: Мысль, 1972. 224 с.

4. Alexeev B. A., Golubev G. N. The world's landscapes system and its change // Erdkunde. 2000. Band 54. P. 12–18.
5. ArcAtlas «Our Earth» [Электронный ресурс]. Redlans, 1996. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

УДК 528.942

Н.В. Бажукова<sup>1</sup>, М.А. Кондратьева<sup>2</sup>, bazhukova.nv@mail.ru

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный аграрно-технологический университет  
им. Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

## КАРТЫ ПОЧВЕННОЙ ТЕМАТИКИ В РЕГИОНАЛЬНЫХ АТЛАСАХ

Карты почвенной тематики в региональных атласах могут быть подразделены на три группы: карты свойств и режимов почв, агропочвенные и почвенно-экологические. Среди них значительно преобладают карты сельскохозяйственной тематики. Большинство из них являются аналитическими и носят констатационный характер. Слабее представлены в региональных атласах карты оценочные и прогнозные.

*Ключевые слова:* атласная картография, региональные атласы, почвенно-экологические карты.

N. Bazhukova<sup>1</sup>, M. Kondrateva<sup>2</sup>, bazhukova.nv@mail.ru, pochva@pgsha.ru

<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm State Agro-Technological University name of D.N. Prjanishnikov, Perm, Russia

## SOIL TOPICS MAPS IN REGIONAL ATLASES

Maps of soil subjects in regional atlases can be divided into three groups: maps of soil properties and regimes, agricultural soils and soil-ecological. Among them, maps of agricultural subjects dominate significantly. Most of them are analytical and are ascertaining. Estimated and predictive maps are less represented in regional atlases.

*Keywords:* satin cartography, regional atlases, soil-ecological maps.

Современные представления о почве, как о компоненте биосферы, выполняющем разнообразные экологические функции, связанные в том числе, с процессами глобального круговорота веществ, утилизацией поллютантов, определяют основные направления развития почвенного картографирования. Свойства и режимы почв интерпретируются не только с позиций обеспечения плодородия сельскохозяйственных угодий, но и с точки зрения условий миграции, аккумуляции и трансформации химических веществ, определяющих устойчивость экосистем. В настоящее время в атласной картографии наметились следующие направления почвенно-экологического картографирования: деградации почв и почвенного покрова; процессов функционирования почв; загрязнения почв химическими веществами; критических нагрузок по отношению к техногенным воздействиям; устойчивости почв (чувствительности,

способности к самоочищению) к химическим нагрузкам [8]. Карты почвенного блока широко представлены в национальных и экологических атласах, где их количество достигает 13–20 карт. Значительное место картам почвенной тематики отводится в современных комплексных региональных атласах.

Объектами анализа были комплексные региональные атласы, изданные преимущественно за последние 20 лет и доступные для ознакомления через интернет-ресурсы. Основное внимание уделено атласам, содержащим помимо традиционной почвенной карты иные карты почвенной тематики. В их числе атласы Республики Башкортостан (2005), Республики Коми (2011), Белгородской области (2018), Воронежской области (2013), Ханты-Мансийского автономного округа (2004), Удмуртской республики (2016). Общее количество карт данной тематики в ряде атласов достигает 10–18. Некоторые из

перечисленных атласов были выполнены при поддержке Российского географического общества [4; 7; 10; 11; 16]. По назначению перечисленные атласы представляют собой научно- и учебно-справочные издания. С точки зрения информативности, детальности отображения информации и разнообразия картографической тематики наибольший интерес представляют научно-справочные атласы.

Карты почвенной тематики в рассматриваемых атласах условно можно разделить на следующие группы: карты, дополняющие базовую почвенную карту – карты свойств и режимов почв, почвенного районирования; карты сельскохозяйственной тематики; почвенно-экологические карты. Карты свойств почв, как правило, характеризуют содержание и запасы органического вещества, кислотность почв (табл. 1). Например, карта запасов углерода в почвах Ханты-Мансийского автономного округа позволяет оценить роль почвенного покрова в глобальном цикле углерода. В эту же группу следует включить карты факторов почвообразования, структуры почвенного покрова, почвенно-географического районирования. Стоит отметить, что, несмотря на разработанность учения о структуре почвенного покрова, карты соответствующей тематики в региональных атласах встречаются довольно редко, в нашем случае подобная карта имеется

только в атласе Республики Коми. Большинство карт данной группы являются аналитическими, ограничивающимися одним показателем, они просты по содержанию и способам отображения информации.

Среди прикладных карт преобладает сельскохозяйственная тематика. В центре внимания карт данной группы – почвы сельскохозяйственных угодий. Наиболее полно данная группа карт представлена в атласах Белгородской, Воронежской областей, Республик Удмуртия и Башкортостан. Почвы пахотных угодий охарактеризованы по содержанию и обеспеченности органическим веществом, подвижными формами фосфора и калия, кислотности. Интерес представляет карта, отражающая динамику содержания гумуса в пахотных почвах за 20-летний период, и карта «Леса и долинно-балочная сеть (XVI в.), представляющая собой реконструкцию ландшафтов пяти вековой давности [7].

Среди карт сельскохозяйственной тематики особый интерес представляют оценочные карты. Примером являются карты почвенно-мелиоративного районирования и агропочвенных районов в атласе Республики Коми. Такие карты, как правило, являются комплексными, так как учитывают совокупность факторов, определяющих способность почв к выполнению соответствующих функций.

Таблица 1. Карты почвенной тематики в региональных атласах

Группы карт	Тематика карт	Источник
Дополнение базовой карты	Состав и возраст почвообразующих пород Почвенно-географическое районирование Структура почвенного покрова Кислотность почв Содержание и запасы органического углерода в почвах Торфяные ресурсы	[1; 4; 11] [3] [7] [3] [5; 7] [3]
Сельскохозяйственные	Почвенно-мелиоративное районирование Сельскохозяйственные земли Агропочвенные районы Плодородие Обеспеченность почв органическим веществом Динамика содержания гумуса в почвах пашни за 20-летний период Леса и долинно-балочная сеть (XIV в.) Содержание элементов питания в почвах пашни Кислотность пахотных почв Лимитирующие факторы (эродированность и переувлажнение почв)	[3] [3; 10] [4] [4] [4] [7] [7] [4; 7] [4; 7] [1; 7]

Группы карт	Тематика карт	Источник
Экологические	Содержание химических веществ в почвах Фоновое содержание тяжелых металлов и углеводов в почвах Карта почвенно-экологического районирования Потенциальная опасность загрязнения почв токсичными элементами Вероятная интенсивность самоочищения почвенного покрова от органических поллютантов Почвенно-геохимическое районирование Антропогенно преобразованные почвы Эрозия почв, почвенно-эрозионное районирование	[3–4; 10] [3] [5] [3] [3] [12] [1; 11] [7; 11]

Внимание к экологическим проблемам регионов отражается в тематике почвенно-экологических карт. Карты данной группы, как правило, имеют прикладной характер, и по методике составления могут быть подразделены на фактологические и интерпретационные [6]. К числу первых относятся карты, характеризующие содержание химических веществ в почвах: тяжелых металлов, углеводов. Сюда же можно отнести карту почвенно-геохимического районирования в атласе Воронежской области [12], показывающую распределение типоморфных, редких и рассеянных элементов в зональных почвах и почвообразующих породах. В основу построения карт заложены фактологические данные о распределении химических элементов в почвах регионов. Интерпретационные карты предполагают анализ свойств почв относительно их роли в формировании устойчивости почв к конкретным техногенным воздействиям, способности регулировать подвижность и процессы трансформации химических веществ в почвах. Подобные карты являются комплексными и наиболее сложными по методике построения [6]. Интерпретационный подход в рассматриваемых атласах использован при разработке оценочных и прогнозных карт Н.П. Солнцевой «Потенциал самоочищения почв от нефти и нефтепродуктов» в атласе Ханты-Мансийского АО – Югры, Г.М. Втюрина «Потенциальная опасность загрязнения почв токсичными элементами», «Вероятная интенсивность самоочищения почвенного покрова от органических поллютантов» в атласе Республики Коми. Методологические основы создания таких карт заложены М.А. Глазовской [9]. Оценочный характер имеет синтетическая карта «Почвенно-экологического районирования» [5], отображающая территории однотипные по структуре почвенного покрова, сочетанию факторов почвообра-

зования и возможностям хозяйственного использования почв округа.

Широко представлены в региональных атласах карты, отражающие развитие эрозионных процессов, которые включают интенсивность развития овражной эрозии, дефляции, почвенно-эрозионное районирование. Оригинальными по своему содержанию являются карты почв и грунтов городов: «Почвенные комплексы г. Перми» [1], где в качестве объектов картографирования выступают «урбопедо-комплексы», и карта мощности техногенных и насыпных грунтов г. Саратова [11].

Стоит отметить, что среди прикладных карт в региональных атласах преобладают сельскохозяйственные карты. В них мало оригинальных карт оценочно-прогнозного характера, что отчасти можно объяснить относительной новизной данного направления, и, как следствие, разнообразием методик составления, и отчасти недостаточностью фактических данных.

Проведенный анализ карт почвенной тематики в региональных атласах позволил определить тематику и содержание аналогичных карт при проектировании комплексного тематического атласа Пермского края. Подготовленные карты представлены двумя основными блоками – базовым и прикладным, каждый из которых, в свою очередь, включает в себя констатационные и оценочные карты. Базовые карты раскрывают общие закономерности распространения почв в Пермском крае, а также почвенно-геохимические закономерности миграции и аккумуляции веществ в почвах. Этот блок включает: почвенную карту; карты мощности органо-генных и гумусовых горизонтов почв; емкости катионного обмена; сорбционной способности почв. Прикладной блок посвящен анализу свойств почв по отношению к тяжелым металлам как приоритетной группе загрязняющих веществ,

для которых почва является депонирующей средой. В данный блок включены две карты: «Условия миграции тяжелых металлов в почвах» и «Сенсорность (чувствительность) почв». Оценка сенсорности (чувствительности) почв к загрязнению тяжелыми металлами дана на основе метода экспертных оценок. Почвы региона определены как чувствительные и очень чувствительные, то есть относительно быстро изменяющие в негативную сторону свои свойства под влиянием техногенной нагрузки. Завершающей картой в данном

подразделе комплексного атласа является синтетическая карта почвенного районирования [10].

Разработанная система карт почвенной тематики позволяет раскрыть основные экологические функции почвенного покрова, охарактеризовать почвы как среду, где протекают процессы миграции, трансформации и аккумуляции химических веществ. Впервые для атласа региона составлена серия почвенно-геохимических карт, имеющих экологическую направленность.

### Библиографический список

1. *Атлас Пермского края* / Коллектив авторов. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. 124 с.
2. *Атлас Республики Башкортостан*. Уфа: Китап, 2005. 419 с.
3. *Атлас Республики Коми*. М.: ООО Феория, 2011. 448 с.
4. *Атлас Удмуртской республики*. М.: ООО Феория, 2016.
5. *Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры*. Т. II. Природа. Экология. Ханты-Мансийск. М.: ООО НПФ Талка-ТДВ, 2004. 152 с.
6. *Богданова М. Д., Гаврилова И. П., Герасимова М. И.* Мелкомасштабное почвенно-геохимическое картографирование. М.: АПР, 2008. 168 с.
7. *Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство* / под ред. А.Г. Корнилов, ред. Петин, А.Н., Чендев, Ю.Г., Петина, [и др.]. Белгород: КОНСТАНТА, 2018. 200 с.
8. *Герасимова М.И., Богданова М.Д.* Почвенно-экологические карты в национальных и специализированных атласах // Атласное картографирование: традиции и инновации: материалы X научной конференции по тематической картографии (Иркутск, 22–24 октября 2015 г.). Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. 2015. С. 101–103.
9. *Глазовская М.А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям: методическое пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 101 с.
10. *Кортаев Н.Я.* Почвы Пермской области. Пермь: Пермское книжное издательство, 1962. 280 с.
11. *Учебно-краеведческий атлас Саратовской области* / отв. ред. В.З. Макаров. Саратов: Изд-во СГУ, 2013. 143 с.
12. *Эколого-географический Атлас Воронежской области* / под ред. В.И. Федотова. Воронеж: Издательство, 2013. 512 с.

Е.А. Балдина, В.Ю. Ширшова, baldina@geogr.msu.ru  
 Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

## ИЗОБРАЖЕНИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОВЕРХНОСТИ АРКТИЧЕСКОГО ОСТРОВА ВИЗЕ

Карты когерентности, получаемые как промежуточный результат интерферометрической обработки, проводимой для вычисления высот поверхности, содержат информацию об изменениях состояния местности. Проведена обработка 29 снимков, полученных Sentinel-1 в 2019 году в интерферометрическом режиме, для исследования сезонного состояния малого арктического острова Визе. Полученные по стандартной методике многовременные цветовые композиты с когерентностью позволили проследить изменение состояния исследуемого острова и ближайшей акватории за весь 2019 год.

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование Земли, спутниковая радиолокационная интерферометрия, Sentinel-1, SNAP, когерентность, Арктические острова.

E. Baldina, V. Shirshova, baldina@geogr.msu.ru, vshirshova.msu@yandex.ru  
 Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## COHERENCE IMAGES TO CHARACTERIZE THE SEASONAL VARIABILITY OF THE ARCTIC VISE ISLAND

Coherence maps, obtained as an intermediate result of interferometric processing performed to calculate surface heights, contain information on changes in terrain conditions. Processing of 29 images, received by Sentinel-1 in 2019 in interferometric mode, was carried out to study seasonal condition of the small arctic Vise island. Multi-temporal color composites with coherence obtained using standard methodology allowed tracking changes in the state of the investigated island and the nearest water area for the whole 2019.

*Keywords:* remote sensing, satellite radar interferometry, Sentinel-1, SNAP, coherence, Arctic islands.

Интерферометрическая радиолокационная съемка выполняется одновременно с двух точек, разнесенных в пространстве, или последовательно через определенный интервал времени при соблюдении близких условий наблюдения местности. Обработка результатов этих съемок позволяет на основе сравнения фазы двух или более сигналов, рассеянных элементом земной поверхности, получать значения высоты поверхности, исследовать рельеф и его изменения во времени, получать другие детальные характеристики местности [2; 4; 9].

Дифференциальная интерферометрия – метод получения и обработки многократных радиолокационных съемок определенного участка, с целью определения смещений – изменений высоты поверхности. Интерферометрическая съемка в этом случае выполняется с пространственно близких точек через некоторый интервал времени, который обусловлен особенностями орбиты спутников. При этом общее число материалов интерферометрической съемки может быть очень большим. Необ-

ходимым этапом обработки данных является расчет степени взаимного соответствия повторных съемок, определяющей возможность вычисления высот. Мерой согласованности двух разновременных отраженных радиолокационных сигналов является когерентность, характеризующая степень совпадения фаз отраженного сигнала. Когерентность принимает значения от 0 до 1. Поскольку степень соответствия рассчитывается для каждого элемента разрешения, в результате формируется изображение когерентности. На таком изображении участки с близкими к нулю значениями имеют низкую яркость, что соответствует слабому сходству пары изображений, и может быть связано с изменением свойств зондируемой поверхности, с появлением или исчезновением объектов за период между съемками. Участки с высокой когерентностью (близкие к единице значения) имеют высокую яркость на изображении, что свидетельствует о сильном сходстве двух изображений, обусловленное стабильностью зондируемой поверхности за период между съемками.

Изображение когерентности можно использовать для оценки изменений и картографирования динамики природных и антропогенных объектов [3].

Предоставляемые на некоммерческой основе новые радиолокационные данные со спутников Sentinel-1 [8] обеспечивают широкие возможности исследования отдаленных арктических территорий, слабо обеспеченных материалами съемок в оптическом диапазоне из-за облачности. Сложности распознавания объектов на радиолокационных изображениях компенсируются возможностью использования многократных повторных съемок, позволяющих выявить участки местности, сходные по характеру изменений. Повторные радиолокационные съемки предоставляют новые возможности исследования арктических территорий и мониторинга их динамики [7].

Несмотря на все увеличивающееся количество материалов космических съемок, особенно на приполярные районы, арктические острова по-прежнему остаются слабо изученными. Уменьшение ледового покрова в летнее время способствует их быстрым изменениям: меняются очертаний береговых линий вследствие обрушения берегов, уменьшения льдистости пород; размытые рыхлые отложения оседают на мелях, в результате чего обнаруживаются новые острова, а старые уменьшаются в размерах. Одним из таких островов является остров Визе, расположенный в северной части Карского моря. Этот остров входит в число «исчезающих» островов. Площадь острова составляет 288 км<sup>2</sup>. Протяжённость 35 км, максимальная ширина 9 км. Берега острова Визе сложены из многолетнемерзлых пород, которые при отсутствии льдов размываются морскими волнами. Сам остров сложен нижнемеловыми песчаниками и в основном представляет собой пологоувалистую равнину [5; 6]. Он находится в природной зоне арктических пустынь. Растительность крайне скудна и представлена мхами, накипными лишайниками и несколькими видами цветковых растений.

Исследование сезонной динамики поверхности острова проводилось на основе многократных интерферометрических съемок европейского радиолокационного спутника Sentinel-1 за период с 1 января по 31 декабря 2019. Использовались данные, полученные в интерферометрическом широкозахватном режиме (IW – Interferometric Wide Swath) уровня обработки SLC – Single Look Complex (ком-

плексные радиолокационные данные, содержащие амплитуду и фазу сигнала) [8]. За выбранный интервал дат были скачаны 29 снимков с согласованной горизонтальной поляризацией (табл. 1).

Интерферометрическая и амплитудная обработка снимков выполнялась в программном комплексе SNAP [8]. Этапы получения амплитудных изображений по данным SLC и построения карт когерентности включали последовательность стандартных процедур, которые встроены в SNAP (Split, Apply Orbit file, Back Geocoding, Coherence, Deburst, Multulook, Terrain Correction). Параметры обработки по каждой из процедур устанавливались опытным путем.

На первом этапе были получены карты когерентности попарно для снимков, интервал времени между которыми не превышал 12 дней. В итоге было получено 26 изображений, включавших амплитудные изображения на каждую дату и карту когерентности. Ранее было установлено [1], что наиболее информативным видом амплитудно-фазового композита является цветное многовременное RGB-изображение, где в красном канале – амплитуда первого по дате радарного снимка; в зеленом канале – амплитуда второго по дате радарного снимка, сделанного с теми же параметрами съемки, что и первый снимок; в синем канале – когерентность фаз этих двух радарных снимков. В таком случае различиями в цветах изображения представлены и сами отражающие свойства поверхности (амплитуда) в каждый из сроков, и наличие изменений (когерентность). При этом различные оттенки красно-оранжевого и зеленого розовых цветов соответствуют поверхностям, претерпевающим различные изменения, яркость оттенка зависит от мощности отраженного сигнала (амплитуда), которая определяется видом и состоянием поверхности. Ярко-синий цвет указывает, что поверхность имеет слабый обратный сигнал (гладкая) и практически не меняется за интервал времени между съемками.

Таблица 1. Характеристики разновременных данных Sentinel-1

Диапазон съемки,	С (5,4 ГГц /5,6 см)	
Пространственный охват, км	250	
Размер пиксела, м	5x20	
Поляризация	Согласованная горизонтальная (ГГ – НН)	
Полосы (swath)	IW2	
Подполосы (bursts)	3–4	
Даты съемки	январь 4,15 февраль 9, 21 март 5, 17 апрель 10, 22 май 4,16, 28 июнь 9, 21	июль 3, 15, 27 август 8,20 сентябрь 1, 13, 25 октябрь 7, 19, 31 ноябрь 12, 24 декабрь 6, 18, 30
Номер витка	137	
Направление орбиты	Нисходящая	
Базовая линия, м	До 200	
Количество снимков	29	
Объем снимков, гб	113	

Сопоставление временного ряда 26 сезонных изображений, каждое из которых включает изменения за 12-дневный период, позволяет интерпретировать состояние поверхности острова и части, прилегающей к нему акватории за 2019 год. На большей части изображений остров представлен оттенками синего цвета, что свидетельствует о слабом отражении сигнала и стабильном состоянии поверхности. Это состояние соответствует зиме, когда при очень низких температурах остров покрыт снегом и состояние его поверхности практически не меняется: периоды с начала января по начало июня и с начала октября по декабрь. В эти же периоды ледяные поля, находящиеся на расстоянии нескольких километров от острова, изображаются различными яркими цветами, что позволяет сделать вывод, что состояние ледяного покрова меняется. Льды, непосредственно примыкающие к острову, имеют тот же синий цвет, что и сам остров, то есть практически не меняются. Изменение в состоянии поверхности острова начинается со второй половины июня (21 июня-3

июля), в этот период поверхность острова приобретает цвета, отличные от синего, в то время как прилегающий к острову ледовый покров остается синим (то есть не изменяется). Со второй половины июля остров в целом приобретает белый цвет, что свидетельствует о достаточно высоких значениях амплитуды обратного сигнала (высокая шероховатость поверхности) и высоких же значениях когерентности, свидетельствующих об отсутствии изменений. Разными цветами выделяются внутренние озера острова, на которых до середины августа сохраняется лед, и долины, в которых по-видимому дольше сохраняется снег. Окружающая остров акватория оказалась преимущественно свободной ото льда в период с конца августа по середину октября. Для более детального определения состояния поверхности и картографирования острова необходимо привлечение снимков оптического диапазона Sentinel-2, Landsat-8 и материалов БПЛА съемки, которая была проведена на небольшом участке побережья острова. Работы будут продолжены.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-05-60221).*

**Библиографический список**

1. *Кантемиров Ю.И.* Применение космических радарных съемок для задач тематического картографирования и мониторинга изменений // Вестник СибГАУ. 2013. № 5(51), С. 54–57.
2. *Коберниченко В.Г., Сосновский А.В.* Особенности построения цифровых моделей рельефа на основе метода космической радиолокационной интерферометрии // Труды СПИИРАН. 2013. Т. 28. №. 0. С. 194–208.
3. *Пиетранера Л., Бритти Ф., Чезарано Л., Джентиле В., Кантемиров Ю.И.* Новый продукт МТС, рассчитываемый по данным COSMO-SkyMed // Геоматика, Совзонд. 2012. №1 (14). С. 46–51.
4. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / В.С. Вербма [и др.]. М.: «Радиотехника», 2010. 675 с.
5. *Романенко Ф.А.* Интенсивность геоморфологических процессов на островах и побережьях морей Карского и Лаптевых (по материалам наблюдений полярных станций) // Геоморфология. 2008. № 1. С. 56-64.
6. Россия теряет арктические территории [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3059749>.
7. *Antonova S., Kääh A., Heim B., Langer M., Boike J.* Spatio-temporal variability of X band radar backscatter and coherence over the Lena River Delta, Siberia // Remote Sensing of Environment, 182. 2016. P. 169–191. DOI: 10.1016/j.rse.2016.05.003.
8. Copernicus Programme [Электронный ресурс]. URL: <https://scihub.copernicus.eu/dhus>.
9. *Hellwich O.* SAR interferometry: Principles, processing, and perspectives / Olaf Hallwisch // Technische Universität München. 1999. P. 109–120.

УДК 504.455; 004.67

М.С. Баранова<sup>1</sup>, А.И. Кочеткова<sup>1</sup>, Е.С. Брызгалина<sup>1</sup>, О.А. Обьедкова<sup>2</sup>, Д.А. Леонтьев<sup>1</sup>,  
unlesi@mail.ru

<sup>1</sup>Волжский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный университет»,  
г. Волжский, Россия

<sup>2</sup>Волгоградский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, филиал ФГБУ «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», г. Волгоград,  
Россия

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЛИВОВ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В геоинформационной системе были вычислены объемы и площади заливов Волгоградского водохранилища 1958 г. и современные их объемы и площади. С 1958 г. по настоящее время произошло значительное уменьшение объемов заливов водоема. 82,1% заливов объемом менее 200 тыс. м<sup>3</sup> закрылись к 2018 году. 58,1% заливов объемом свыше 1000 тыс. м<sup>3</sup> относятся к открытым заливам или к заливам в начальной стадии отделения.

*Ключевые слова:* Волгоградское водохранилище, заливы, ГИС-технологии, объем, площадь.

M. Baranova<sup>1</sup>, A. Kochetkova<sup>1</sup>, E. Bryzgalina<sup>1</sup>, O. Ob'edkova<sup>2</sup>, D. Leont'ev<sup>1</sup>,  
unlesi@mail.ru

<sup>1</sup>Volzhskiy branch of the Federal state autonomous educational institution of higher education Volgograd State University, Volzhskiy, Russia

<sup>2</sup>Volgograd center of hydrometeorology and environmental monitoring, branch of FSBO «North Caucasian department of hydrometeorology and environmental monitoring», Volgograd, Russia

## THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR RESEARCHING OF VOLGOGRAD RESERVOIR BAYS

The volumes and the areas of the Volgograd reservoir bays of 1958 and their modern volumes and areas were calculated in geographic information system. A significant decrease of the volumes of the reservoir bays has occurred from 1958 to the present. 82,1% of bays with a volume of less than 200 thousand cubic meters were closed by 2018. 52,9% of bays with a volume of over 1000 thousand cubic meters relate to open bays or to bays in the beginning stage of separation.

*Keywords:* Volgograd reservoir, bays, GIS technologies, volume, area.

В последние годы изучению крупных аккумулятивных тел в береговой зоне равнинных водохранилищ стало уделяться наиболее пристальное внимание ученых. Вдоль береговой перенос наносов, образовавшихся при волновой переработке склонов, инициировал производный процесс - полное или частичное отчленение заливов скоплениями наносов [4; 7]. Актуален данный вопрос и для Волгоградского водохранилища, где отчленение от основной акватории небольших заливов-балок началось еще при наполнении чаши водоема до нормального подпорного уровня [1; 2] и активно продолжается в настоящее время.

Волгоградское водохранилище, одно из крупнейших равнинных русловых водохранилищ мира и России, было образовано с возведением плотины ГЭС на реке Волге у города Волгограда в 1958 г. По условиям

гидрологического режима и по особенностям морфологического строения ложа и берегов водоема можно разделить на три участка: озёрный (Волжская ГЭС – пос. Ровное), озёрно-речной (пос. Ровное – г. Маркс) и речной (г. Маркс – Саратовская ГЭС). Геологическое строение и рельеф склонов водохранилища создают благоприятные условия для развития процессов их перестроения. В строении склонов правого берега преобладают плотные породы (песчаник, опока) устойчивые к действию размыва берегов водохранилища, а в склонах левобережья - менее плотные и более молодые осадочные породы (суглинки, супеси, песок). Поэтому правый и левый берега водохранилища отличаются и по составу наносов, поступающих на устьевые абразионно-аккумулятивные пересыпи заливов [7].

Отчленение заливов является негативным процессом для экосистемы Волгоградского водохранилища. Внутри залива начинает формироваться собственная экосистема лимнического типа с признаками органогенного заиления. Экосистема основной части водохранилища утрачивает связь с заливом и теряет трофические звенья и ряд экологических условий, обеспечивающих целостность и качественный уровень экосистемы [7]. Полевые наблюдения абразионно-аккумулятивных процессов во входных створах заливов Волгоградского водохранилища ведутся

нами, начиная с 2008 года в ходе реализации проекта «Волжский плавучий университет» и при выполнении исследований по грантам.

Объем и площадь представляются одними из определяющих факторов, способствующих отделению залива от основной акватории Волгоградского водохранилища. В ходе настоящего исследования в геоинформационной системе мы рассчитали объемы и площади заливов за 1958 г. (при создании Волгоградского водохранилища), а так же их современные объемы и площади (табл. 1).

Таблица 1. **Объемы и площади заливов озерного участка Волгоградского водохранилища**

№ п/п	Название залива, год исследования	Берег, стадия отделения на момент обследования	Современный объем залива, тыс. м <sup>3</sup>	Площадь, га (на 2016 г.)	Объем залива по картам 1958 г., тыс. м <sup>3</sup>
1	Бахченый овраг-1, 2019	Правый, закрыт	18,25	1,02	122,24
2	Бахченый овраг-2, 2019	Правый, закрыт	2,74	0,35	94,81
3	Крестищенская балка, 2019	Правый, закрыт	152,16	5,28	602,46
4	Залив в 3,5 км к северо-востоку от залива Крестищенская балка, 2019	Правый, закрыт	0,19	0,13	18,41
5	Рубежный, 2019	Правый, активная	55,85	2,32	99,08
6	Суводский Яр, 2019	Правый, закрыт	7,96	0,56	68,67
7	Карагачева балка, 2019	Левый, завершающая	168,77	12,78	1492,44
8	Залив в 0,7 км к северу от залива Карагачева балка, 2019	Левый, завершающая	0,36	0,27	9,78
9	Песчаный, 2019	Левый, завершающая	453,75	30,94	1821,57
10	Бирючья балка, 2019	Левый, закрыт	42,78	4,28	468,26
11	Жаркова, 2016	Правый, закрыт	2,08	0,42	94,21

№ п/п	Название залива, год исследования	Берег, стадия отделения на момент обследования	Современный объем залива, тыс. м <sup>3</sup>	Площадь, га (на 2016 г.)	Объем залива по картам 1958 г., тыс. м <sup>3</sup>
12	Длинный Липовый, 2016	Правый, закрыт	14,66	1,04	32,24
13	Верхний Ураков, 2015	Правый, начальная	576,14	22,17	934,91
14	Другалка, 2014	Правый, активная <sup>1</sup>	82,50	6,15	248,04
15	Мостовой, 2014	Правый, закрыт	2,43	0,24	87,83
16	Большой, 2014	Правый, закрыт	63,72	9,18	518,95
17	Даниловский, 2013	Правый, начальная	277,48	13,83	556,76
18	Гусева, 2013	Правый, начальная	35,26	1,93	92,71
19	Ростовый, 2013	Правый, закрыт	15,48	1,05	62,03
20	Нижний Ураков, 2013	Правый, начальная	702,96	26,88	1296,91
21	Камышинский, 2009	Правый, антропогенное воздействие	4973,62	141,76	6760,18
22	Томатный, 2008	Левый, завершающая <sup>1</sup>	3,22	0,74	132,64
23	Каранчев <sup>2</sup> , 2008	Левый, завершающая	150,08	12,52	801,35
24	Бориков <sup>2</sup> , 2008	Левый, закрыт	78,18	4,65	393,03

<sup>1</sup> – залив Другалка закрылся в 2018 г., залив Томатный – в 2012 г.

<sup>2</sup> – заливы Каранчев и Бориков являются заливами устья реки Еруслан.

Геоинформационные системы позволяют легко совмещать пространственную информацию из разных источников. Так, данные дистанционного зондирования Земли можно объединить с информацией, полученной с карт различных масштабов и картографических проекций [5]. Геоинформационные технологии и спутниковые данные служат для выявления изменений состояния окружающей природной среды [3], в том числе и при изучении процессов размыва берегов и вдольберегового транспорта и аккумуляции наносов.

В исследовании были применены картографический и аналитический методы. В качестве исходного материала для получения объемов и площадей 1958 г. использовались карты из альбома планов

Сталинградская электростанция на реке Волге. Альбом планов судового хода на участке от плотины до Балаково [6]. В программе ArcGIS 9.3 проводились пространственная привязка, векторизация изолиний и последующие расчеты объемов и площадей.

Современные объемы были рассчитаны в ГИС по данным батиметрической съемки заливов 2019 г. и по архивным материалам 2013–2016 гг. и 2008–2009 гг. Площади заливов были рассчитаны в геоинформационной системе по снимкам Google Планета Земля [8].

В ходе выполненного исследования были рассчитаны объемы и площади заливов Волгоградского водохранилища 1958 г. Значения объемов варьируют от

9,78 тыс. м<sup>3</sup> (залив без названия в 0,7 км к северу от залива Карагачева балка) до 15844,28 тыс. м<sup>3</sup> (залив Пичуга). Площади заливов составляют от 0,53 га (залив без названия в 0,4 км к югу от залива Оленье) до 270,17 га (залив Пичуга). Исключение составили: левобережный залив Еруслан (устье реки Еруслан) объемом 354006,26 тыс. м<sup>3</sup> и площадью 9941,70 га и правобережный залив Горный Балыклей объемом 96292,66 тыс. м<sup>3</sup> и площадью 1543,85 га.

82,1% заливов объемом менее 200 тыс. м<sup>3</sup> к 2018 году являются закрытыми. 58,1% заливов объемом свыше 1000 тыс. м<sup>3</sup> относятся к открытым заливам или заливами в начальной стадии отделения. Входные створы некоторых заливов объемом более 1000 тыс. м<sup>3</sup> подвергались антропогенному воздействию. Поэтому такие заливы уже не являются открытыми или заливами в начальной стадии отделения. Другие заливы с первоначальным объемом 1000 тыс. м<sup>3</sup> (дву- или трехрогие) вследствие интенсивного размыва берегов вблизи устья постепенно утратили отдельные ответвления и разделились на две или три отдельных акватории. Подобные заливы относятся в настоящее время к закрытым заливам.

Объемы некоторых заливов 1958 г. были сопоставлены с их современными объемами. Результаты расчетов приведены в таблице ниже. По таблице видно, что с 1958 г. по настоящее время произошло значительное уменьшение объемов зали-

вов Волгоградского водохранилища.

В результате выполненного исследования были сделаны следующие выводы:

1. С 1958 г. по настоящее время произошло значительное уменьшение объемов заливов Волгоградского водохранилища (в среднем в 10 раз). С одной стороны, это в какой-то степени связано с картографической генерализацией объектов на картах 1958 г. С другой стороны, с 1958 г. произошло значительное заиливание и занесение котловин заливов, что способствовало их отделению от основной акватории водоема.

2. Большая часть заливов объемом менее 200 тыс. м<sup>3</sup> (82,1%) являются к 2018 году закрытыми заливами. Немногим более половины заливов объемом свыше 1000 тыс. м<sup>3</sup> (58,1%) относятся к открытым заливам или к заливам в начальной стадии отделения. Это косвенно указывает на достаточно высокую скорость водообмена между акваториями этих заливов и основной акваторией Волгоградского водохранилища.

3. Геоинформационные системы и снимки Google Планета Земля позволяют анализировать, дополнять и обобщать данные полевых исследований заливов Волгоградского водохранилища.

Авторы благодарят заведующего учебно-научной лабораторией экологических и социальных исследований ВФ ВолГУ к.г.н. О.В. Филиппова за бесценные советы при подготовке этой публикации.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-45-343002 р\_мол\_а.*

### Библиографический список

1. *Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Волгоградское водохранилище // под редакцией канд. техн. наук В.А. Знаменского и Б.И. Ушакова. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1976. 84 с.*
2. *Зубенко Ф.С. Берега Волгоградского водохранилища // Материалы к изучению перестроения берегов Волгоградского водохранилища. М.-Л.: Наука. 1964. С. 78 – 124.*
3. *Кравцова В.И., Шуматиев В.В. Новые подходы к обработке разновременных космических снимков на примере исследования динамики дельты Урала // Геоинформатика. М.: Государственный научный центр РФ ВНИИГеосистем. 2005. № 3. С. 52–61.*
4. *Крупные аккумулятивные образования береговых зон водохранилищ / Н.Н. Назаров [и др.] // Эрозионные и русловые процессы: Сборник трудов. Межвузовский научно-координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ имени М.В. Ломоносова. М.: Географический факультет Моск. гос. ун-та им. М.В. Ломоносова. 2015. С. 199–207.*

5. Орлова Е.В. Применение ГИС-технологий для получения гидрологических характеристик водосбора Вилюйского водохранилища // География и природные ресурсы. Изд-во Сибирское отделение РАН. 2008. Вып.3 С.134–139.
6. Сталинградская электростанция на реке Волге. Альбом планов судового хода на участке от плотины до Балаково. Л: Государственный институт проектирования на речном транспорте Ленгипроречтранс, 1958. 54 л.
7. Филиппов О.В., Золотарев Д.В., Солодовников Д.А. Экологические проблемы заливов и устьевых притоков Волгоградского водохранилища в условиях абразии и вдольберегового транспорта наносов // Проблемы комплексного исследования Волгоградского водохранилища. Сб. науч. ст. Волгоград: Волгоград. науч. изд-во. 2009. С. 119–142.
8. Google Планета Земля [Электронный ресурс]. URL: <https://www.google.ru/intl/ru/earth/> (дата обращения: 25.08.2019).

УДК 631.9:528.873

А.П. Белоусова, [uran399@mail.ru](mailto:uran399@mail.ru)

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОЙ ЛИНИИ В ЦЕЛЯХ РАСПОЗНАВАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ**

В работе рассмотрено понятие о почвенной линии, а также возможность выявления используемых пахотных угодий с помощью расчета ее параметров. Дополнительно рассмотрена возможность автоматизации данного процесса с применением языка программирования R.

*Ключевые слова:* почвенная линия, сельское хозяйство, дистанционное зондирование земли, Landsat.

A. Belousova, [uran399@mail.ru](mailto:uran399@mail.ru)

*Perm State University, Perm, Russia*

## **AUTOMATED CALCULATION OF SOIL LINE PARAMETERS IN ORDER TO IDENTIFY USE OF TILLED LAND**

The article considers the concept of the soil of line, and the ability to identify use of tilled land by calculating parameters soil of line. Additionally, the possibility of automating this process using the programming language R.

*Keywords:* soil of line, agriculture, remote sensing data, Landsat.

Наиболее чувствительными для исследований растительного покрова являются красный и ближний инфракрасный спектральные каналы. Соответственно, используя данные спектры существует возможность вынесения в отдельный класс значения открытой поверхности почвы. Значения растительного покрова в пространственном отношении двух спектральных каналов NIR и RED образуют условную фигуру “шапочки с кисточкой”. Где нижняя граница данной фигуры является почвенной линией.

Классическое понятие о почвенной линии введено еще в 1976 г. [2]. Параметры почвенной линии учитываются как поправочные коэффициенты в некоторых

вегетационных индексах, например, почвенный индекс SAVI [1]. Такие параметры являются нулевой линией расчетов вегетационных индексов.

Понятие о почвенной линии широко раскрывается в работах коллектива авторов [1; 3]. Где подтверждается, что значения пикселей, характеризующие открытую поверхность почвы скорее представлены в виде вытянутого эллипса, либо отрезка, расположенного на линии, нежели просто линией (рис. 1) [3].

При определении значения линии почв используются два параметра:  $a$  и  $b$ , где  $a$  – тангенс угла наклона, а  $b$  – смещение по оси ординат. Так или иначе, значения пикселей с открытой поверхностью почвы

попадают в пределы данного эллипса. В некотором смысле почвенная линия является линией регрессии для массива данных.

Для выявления пахотных земель требуется зафиксировать проведение культур-технических работ. Проведение данных работ ведет к временному нарушению растительного покрова и фиксации открытой поверхности почвы. Расчет параметров линии почв для сцен, полученных в течении вегетационного сезона, позволяет определить границы открытой поверхности почвы и зафиксировать использование земель в качестве пахотных угодий. Целью данной работы выступает возможность выявления используемых пахотных угодий с помощью автоматизированного расчета параметров почвенной линии.

При проведении работ были использованы данные среднего спектрального разрешения программы Landsat с минимальной облачностью, полученные в течении вегетационного сезона (с мая по сентябрь).

Работы проведены в границах маски «сельскохозяйственных угодий». Данная маска создавалась путем исключения из общих границ исследования лесопокрытых территорий, водных объектов, территорий застройки, объектов инженерной и

транспортной инфраструктуры, а также других земель, не имеющих отношения к сельскохозяйственным угодьям.

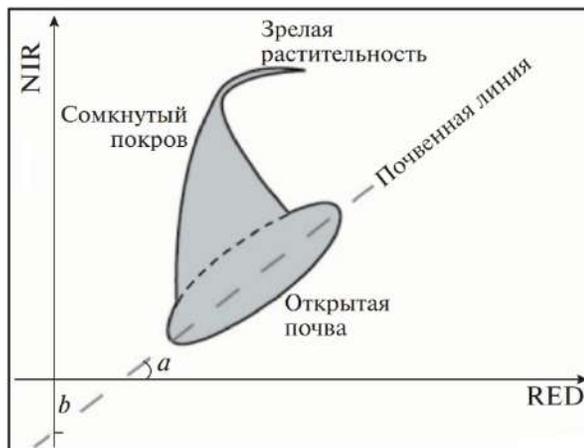


Рис. 1. Разделение спектрального пространства RED-NIR

Для получения параметров почвенной линии для каждой сцены был реализован алгоритм статистической обработки данных средствами языка программирования R, где почвенная линия выступает линией регрессии заданного массива данных. Стоит отметить, что для каждой сцены параметры линии почв индивидуальны.

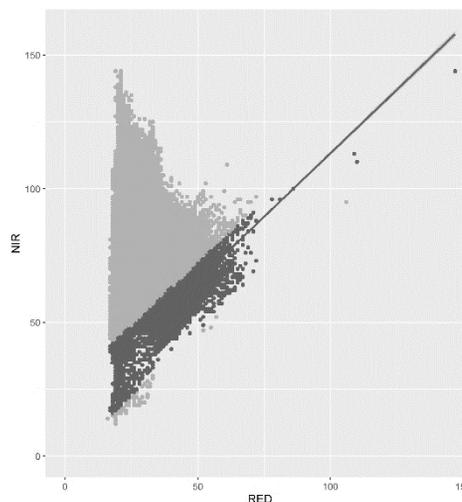
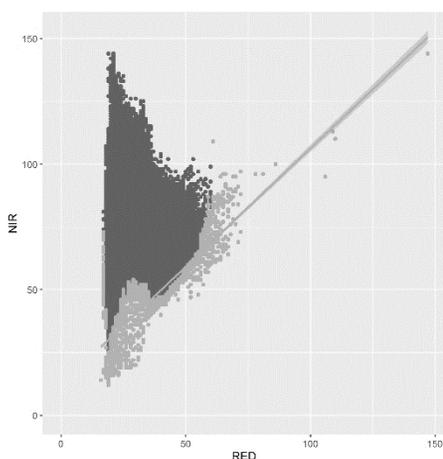


Рис. 2. а – выборка данных для расчета линии регрессии; б – выборка данных, характеризующие почвенную линию

Порядок обработки данных происходил по следующему алгоритму:

1. Получение массива данных для каждой сцены, состоящего из значений пикселей спектральных каналов NIR и RED в границах маски «сельскохозяйственных угодий».

2. Исключение из анализа территорий, подверженных влиянию облачности с использованием данных технического канала «BQA».

3. Создание выборки данных, необходимых для построения линии регрессии. В выборку включались минимальные значе-

ния NIR в пределах уникального значения RED.

4. На основе полученного массива данных, произведен расчет параметров линии регрессии: а и b.

5. Расчет значений, относящихся к открытой поверхности почвы.

Массив данных Original состоит из значений NIR и RED для каждого пикселя, расположенных в пределах маски сельскохозяйственных угодий. Массив данных Filtered является выборкой данных, необходимой для расчета параметров линии регрессии (рис. 2а).

В итоговую выборку попали значения, которые характеризуют открытую почву и попадают в пределы системы уравнений:

$$\begin{aligned} \text{NIR} < b * \text{RED} + a + k * R(\text{NIR}) \\ \text{NIR} > b * \text{RED} + a - k * R(\text{NIR}) \end{aligned}$$

где NIR – значение пикселя в ближнем инфракрасном спектральном диапазоне;

RED – значение пикселя в красном спектральном диапазоне;

a – тангенс угла наклона почвенной линии;

b – смещение по оси ординат почвенной линии;

k – поправочный коэффициент, характеризующий ширину почвенной линии, в данной работе принят за 0,1;

R – разность между максимальным и минимальным значениями совокупности.

В результате для каждой сцены получен бинарный растр, характеризующий принадлежность пикселя к открытой поверхности почвы, либо к растительному покрову. Данные растры сгруппированы по вегетационным сезонам. Территории, где хотя бы один раз за вегетационный сезон была зафиксирована открытая поверхность почвы, принято считать используемой в качестве пахотных угодий.

### Библиографический список

1. Информативность коэффициентов а и b линии почв для анализа материалов дистанционного зондирования / Рухович Д.И. [и др.] // Почвоведение. 2016. № 8. С. 903–917.
2. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Вегетационные индексы // Геоматика. 2011. №2. С. 98–102.
3. Kauth R.J., Thomas G.S. The tasseled Cap – A Graphic Description of the Spectral-Temporal Development of Agricultural Crops as Seen by LANDSAT // Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. Indiana: Purdue University of West Lafayette. 1976. P. 4B–41–4B–51.

## **ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ОБОРОТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПОДВЕРЖЕННЫХ ЗАРАСТАНИЮ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ**

В статье рассматриваются вопросы целесообразности вовлечения в оборот сельскохозяйственных угодий подверженных зарастанию на основе данных дистанционного зондирования земли. Рассмотрены факторы, влияющие на зарастание, критерии, которые необходимо учитывать для оценки целесообразности их вовлечения в оборот, и особенности применения средств дистанционного зондирования при решении данной проблемы.

*Ключевые слова:* сельское хозяйство, дистанционное зондирование земли, землеустройство.

A. Belousova, I. Bryzhko, zemproekt@yandex.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## **FEASIBILITY INVOLVEMENT OF AGRICULTURAL LAND OVERGROWING INTENSITY BY FOREST VEGETATION ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA**

The article discusses the feasibility of involving agricultural land susceptible to overgrowth in the turnover based on data from remote sensing of the earth. Factors affecting overgrowing, criteria that taken into account to assess the feasibility of their involvement, are considered, and features of the use of remote sensing in solving this problem.

*Keywords:* agriculture, remote sensing, land management.

В настоящее время агропромышленный комплекс нашей страны продолжает находиться в состоянии стагнации. На развитие и повышение эффективности сельского хозяйства влияют многие факторы, например, проблемы, связанные с большим количеством неиспользуемых земельных долей, сокращением площадей сельскохозяйственных угодий, зарастанием сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью, захламливанием и нецелевым использованием земель.

Одной из актуальных проблем для Пермского края, как и для всей нечерноземной зоны страны, является зарастание древесно-кустарниковой растительностью сельскохозяйственных угодий. Зачастую такие земли, используемые в аграрном производстве, граничат с лесными массивами, что в значительной степени увеличивает риск зарастания по естественным причинам и в совокупности с отсутствием своевременной обработки угодий, неиспользованием земельных участков в сельскохозяйственном производстве и отсутствием контроля за этой ситуацией приводит к выбытию сельскохозяйственных земель из оборота.

На протяжении длительного периода времени аграрные товаропроизводители края не уделяли внимание этой проблеме, что привело к образованию достаточно большого числа участков непригодных для ведения сельского хозяйства. В то же время организация рационального использования сельскохозяйственных угодий и вовлечение в оборот земель, выбывших в результате зарастания помогут повлиять на состояние сельского хозяйства региона и изменить существующие тенденции в сторону положительных изменений.

Так как земля служит территориальной основой жизни и деятельности человека, а земельные ресурсы являются важнейшим фактором и неперенным условием аграрного производства мы считаем, что вопросы, связанные с правильной организацией использования земельных ресурсов являются первостепенными. Без земли невозможны осуществление и развитие аграрного производства, обеспечение населения продовольствием, формирование системы сельского расселения, сооружение и эксплуатация объектов инфраструктуры [3].

Стоит отметить, что благодаря программам поддержки сельского хозяйства зарождается тенденция по вовлечению зарастающих земель в оборот. Особенно актуальна эта задача для северной части региона, поскольку вовлечение таких земель в оборот позволяет существенно расширить территории землепользований.

Для того чтобы грамотно оценить наличие и степень зарастания, а также целесообразность вовлечения в оборот заросших древесно-кустарниковой растительностью угодий необходимо провести большое количество выездов на местность для визуального определения и фиксации фактов зарастания, что является достаточно трудозатратным мероприятием, требующим как человеческих, так и материальных ресурсов для исполнения.

По этой причине мы считаем целесообразным использование современных методов, в частности средств дистанционного зондирования Земли. С помощью результатов дистанционного зондирования можно значительно уменьшить трудозатраты, затраты времени и финансов на проведение такого рода оценки.

Факторами, влияющими на интенсивность зарастания являются:

- близость лесных насаждений и сельскохозяйственных угодий;
- непосредственное соседство леса и сельскохозяйственных угодий;
- размер контура сельскохозяйственных угодий, мелкоконтурные участки

больше подвержены данному процессу;

- отсутствие регулярного использования земельных участков в аграрном производстве, либо неиспользование угодий вовсе;

- характеристики почв на земельных участках;

- отсутствие контроля за ситуацией.

Для определения степени зарастания возникает необходимость по разработке соответствующей балльной оценки.

Классификация проведена с учетом разделения участков по типам зарастания по стадиям, с учетом проективного покрытия древесно-кустарниковой растительностью. На основе данной классификации присвоен балл качественного состояния (табл. 1). В своей работе мы опираемся на классификацию, представленную Белорусцевой Е.В. [1]. Адаптация данной классификации к возможностям использования данных дистанционного зондирования Земли позволит эффективнее определять степень зарастания участков древесно-кустарниковой растительностью.

Нулевая стадия характеризуется наличием сорной травяной растительностью. Первая стадия фиксирует появление кустарниковой растительности. Вторая стадия фиксирует устойчивое кустарниковое покрытие с появлением древесной растительности. Третья стадия характеризуется сомкнутым ярусом молодого леса.

Таблица 1. Балл качественного состояния сельскохозяйственных угодий

Проективное покрытие % Стадии зарастания	0–15	15–30	30–50	50–70	70–100
Нулевая стадия	5	5	5	5	5
Первая стадия	5	5	5	4	4
Вторая стадия	5	5	4	3	3
Третья стадия	5	4	2	1	1

Интенсивность зарастания, прежде всего, вызывает снижение плодородия и, как следствие, удорожание работ по введению земель в сельскохозяйственный оборот. Балл качественного состояния присваивается в зависимости от стадии зарастания и проективного покрытия относительно общей площади участка, что оказывает влияние на качественное со-

стояние сельскохозяйственных угодий. Чем меньше значение балла, тем целесообразнее проведение работ по вовлечению земель в сельскохозяйственных оборот.

Для проведения классификации были использованы открытые данные, полученные со спутников Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м. Также для апробации результатов были проведены

полевые обследования с фотофиксацией заданной территории.

В первую очередь необходимо получить границы потенциально пригодных для производства продукции сельского хозяйства земельных участков [2]. Полученные границы земельных массивов необходимо разделить на отдельные контуры полей. Дополнительно из анализа исключались территории, используемые в качестве пахотных угодий в течении последних трех лет.

Следующим этапом необходимо выделить границы территорий в соответствии со стадиями зарастания и произвести расчет проективного покрытия стадии зарастания к общей площади контура поля. При наличии нескольких стадий зарастания на одном земельном участке учитывается общий процент проективного покрытия по всем стадиям.

Классификация по стадиям зарастания осуществляется на основе комбинирования нескольких методик, поскольку дешифровочные признаки каждой стадии зависят от различных факторов. К нулевой стадии зарастания следует отнести территории, неиспользуемые в качестве пахотных земель более трех лет, и при этом не относящиеся к другим стадиям зарастания. Наличие остальных стадий достаточно четко выявляется при использовании снимков, полученных в даты с устойчивым снежным покровом [2].

Третьим этапом в соответствии с рассчитанными показателями присваивается балл качественного состояния земельного участка.

Далее определяется объем и стоимость работ по ликвидации растительности. Мы считаем, что такая оценка должна производиться в соответствии со стадией зарастания, поскольку стоимость проведения культур-технических работ зависит от численной площади процесса зарастания.

Мероприятия, необходимые для обеспечения возможности ввода земельных участков в оборот можно подразделить на традиционные этапы рекультивации: технический и биологический, в соответствии с утвержденными проектом рекультивации земель.

Так в случае с участками подверженными зарастанию в мероприятия технического этапа могут быть включены валка деревьев, трелевка древесины, разделка древесины, корчевка пней, планировка участка и вспашка почвы. В биоло-

гический этап рекультивации могут быть включены мероприятия, способствующие восстановлению повышению почвенного плодородия, накопления в нем полезных для сельскохозяйственных культур веществ, например, внесение органических и неорганических удобрений, высеv культур, способствующих восстановлению почвенного плодородного слоя, подбор севооборотов.

Для каждого мероприятия производится расчет стоимости с учетом таких показателей как площади участков, объем работ в единицах измерения в зависимости от вида мероприятий, стоимость каждого конкретного вида работ технического этапа с учетом используемой техники, нормы внесения удобрений, потребность в удобрениях, закупочная цена удобрений, нормы высева семян, стоимость посева и стоимость семян.

Для того чтобы исключить дальнейшее выветывание сельскохозяйственных угодий, необходимо производить контроль за их использованием. В связи с чем существует необходимость создания баз пространственных данных, полноценно охватывающих сельскохозяйственные земли региона.

Традиционно в нашей стране сельское хозяйство является достаточно проблемной отраслью экономики, при этом от уровня развития агропромышленного комплекса зависит как продовольственная, так и национальная безопасность государства. По этой причине мы считаем необходимым поддерживать приоритет сельского хозяйства в сфере земельных отношений. Для развития отрасли необходимо грамотно использовать земельные ресурсы, не допуская вывода из оборота и перевода в другие категории земельных участков пригодных для сельскохозяйственного производства.

Рассмотренный нами балл качественного состояния земель позволяет оценить целесообразность проведения работ по вовлечению земель в сельскохозяйственный оборот. Значение этого показателя характеризует следующее: чем меньше значение балла, тем целесообразнее проведение работ по вовлечению участков в оборот. Учитывая при этом объем и площадь производимых работ, направленных на вовлечение земель в сельскохозяйственный оборот, а также определив стоимость работ с учетом стадии и площади зарастания можно будет определить целесообразность вовлечения земельных участков в оборот.

## Библиографический список

1. Белорусцева Е.В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий Нечерноземной зоны Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9. №1. С. 57–64.
2. Белоусова А.П., Чащин А.Н. Оценка интенсивности зарастания почв сельскохозяйственных угодий лесной растительностью по данным дистанционного зондирования // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2018. Т. 28. № 3. С. 269–278.
3. Брыжко И.В. Система земельно-ресурсного обеспечения развития социальной инфраструктуры сельских территорий // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–19. С. 4244–4249.

УДК 528: 004(913.1)

Л.Б. Вампилова, histgeolbv67@gmail.com

Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина,  
г. Санкт-Петербург, Россия

### ПРИМЕНЕНИЕ ГИС- ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

В статье предложена авторская методика проведения исследований антропогенных изменений растительного покрова за историческое время. Условия выполнения исследования: применение ГИС – технологий; наличие карт растительности по трем временным срезам; картосхема историко-географического районирования региона. Полученный результат – количественные данные о степени преобразования человеком лесных ландшафтов по трем временным срезам – 2000 лет назад, 50 лет назад и современность.

*Ключевые слова:* историко-географическое районирование, антропогенные изменения растительности, методы: ретроспективный, историко-географических срезов, диахронический, картографический.

L. Vampilova, histgeolbv67@gmail.com

Leningrad state University named after A. S. Pushkin, St. Petersburg, Russia

### APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES FOR RETROSPECTIVE ANALYSIS OF VEGETATION CHANGES

The article suggests the author's method of conducting research on anthropogenic changes in vegetation cover over a long period of time. Conditions for the study: the use of GIS technologies; availability of vegetation maps for three time sections; map of the historical and geographical zoning of the study region. The result obtained is quantitative data on the degree of human transformation of forest landscapes in three time sections-2000 years ago, 50 years ago, and today.

*Keywords:* historical and geographical zoning, anthropogenic changes of vegetation, methods: retrospective, historical and geographical sections, diachronic, cartographic.

**Постановка проблемы.** При современном уровне развития науки пространственно-временной подход особенно актуален в геоэкологических исследованиях. Учитывая, что геоэкология занимается изучением процесса взаимодействия природы, населения и хозяйства, а главное, изучает ответную реакцию измененной природы, следует использовать историко-географические методы исследования. Пространственно-временной подход и ре-

троспективный анализ обозначены в геоэкологическом картографировании [2; 6]. Однако категории времени в геоэкологических изысканиях уделяется мало внимания. Процессы хозяйственного освоения по регионам отличаются во времени. Для примера рассмотрим освоение Карельского региона, заселение которого начинается от мезолита. Время освоения – предмет исследования историко-географической периодизации, где выделяются времен-

ные отрезки, хроносрезы, разной размерности: эпохи, периоды, этапы. На каждый временной срез исследователь составляет схему историко-географического районирования, отражающую пространственную дифференциацию природопользования. Совокупность этих схем положена в основу интегральной схемы историко-географического районирования, соответствующей рубежу XX и XXI вв. [3].

Схема историко-географического районирования использована нами для получения количественных данных по лесным ландшафтам Карелии. Оцифровка указанной схемы и трех карт растительности разного времени (восстановленной растительности [5], карты растительности 1975 г. [1], схема растительности, составленной по космическим снимкам 2013 г. [4]) позволила путем наложения историко-географической схемы на каждую из карт растительности получить в пределах историко-географических провинций (в Карелии их шесть) количественные сведения о площадном распространении хвойных (ели и сосны), мелколиственных, болот и сельскохозяйственных угодий. Этот этап работы охватывает сюжеты взаимодействия природных и общественных подсистем за историческое время.

**Методика исследования.** Нами впервые разработана методика ретроспективного анализа изучения пространственно-временных изменений растительного покрова региона, суть которой сводится к получению количественных сведений об изменении площадей лесов, болот, сельскохозяйственных угодий в результате природных процессов и хозяйственного использования ландшафтов Карелии по единицам историко-географического районирования с использованием ГИС-технологий. В результате наложения схемы историко-географического районирования на карты растительности и дальнейшего изучения трансформации растительного покрова, происходящее под влиянием природного и антропогенного факторов, осуществляется посредством использования ГИС-технологий.

Карта современной растительности историко-географической провинции Обонежье на 2013 г. составлена с использованием разных материалов. Основными источниками информации при создании карты растительных сообществ послужили карта растительности Карелии масштаба 1:2000000, топографические карты масштабов 1:50000–1:200000, космические снимки Landsat-TM пространствен-

ного разрешения 30 м. На исследуемую территорию были использованы четыре космических снимка за летний период с июля 2001 г. по июль 2002 г. Работы по дешифрированию КС и последующему оформлению карты производились с использованием программных комплексов Erdas Imagine 8.0 и ArcGIS 10. Для облегчения распознавания выделов растительных сообществ создавались две цветковые комбинации каналов снимков [4]. В конечном итоге было получено 16 выделов растительных сообществ, достоверность дешифрирования составила 85%. По нашему мнению, анализ изменения растительного покрова во времени следует проводить по историко-географическим единицам районирования, поскольку на примере этих не крупных регионов легче объяснить пространственные изменения, произошедшие за историческое время, в связи с уже проведенной инвентаризацией основных событий, характерных для анализируемой территории. Применение ГИС – технологий позволило получить количественные данные по изменению породного состава – доминирующим и субдоминирующим типам леса посредством наложения схемы историко-географического районирования на каждую из трёх разновременных карт растительности, с целью установления характера распространения в пределах каждой историко-географической единицы районирования типов лесной растительности на определённый хроносрез и представление их в виде столбчатых диаграмм. Проведен анализ диаграмм изменения растительного покрова по единицам историко-географического районирования. Суждения о периоде самой большой антропогенной нагрузки на конкретные провинции за историческое время помогают объяснить, с какими событиями в природопользовании региона это обстоятельство было связано.

**Результаты исследования.** Анализ изменения растительного покрова во времени по историко-географическим единицам районирования показал, что в каждой провинции в зависимости от давности освоения, длительности, специфики и интенсивности хозяйственного использования в изменении растительных сообществ имеются свои особенности и степень преобразования. Покажем эти результаты на северной и южной историко-географических провинциях Карелии.

Поморская провинция до начала освоения характеризовалась преобладанием формаций соснового леса – 59%. Домини-

ровали формации сосновых редкостойных лишайниковых и зеленомошных северотаёжных лесов (24%), а также аналогичные формации в сочетании с сосново-кустарничково-сфагновыми и аапа болотами (15%), с еловыми лесами и болотами (20%). Еловых лесов было 12%, встречались они фрагментарно, основные массивы тянулись узкой полоской по побережью Белого моря и по долинам рек. К началу интенсивного освоения человеком леса занимали 72% площади провинции, а болотные комплексы – 28%. Общая площадь засоленных приморских лугов в сочетании с солончаками, маршами и зарослями тростника не превышала 1%. Часть луговых сообществ имела антропогенное происхождение, возникла на месте соляных промыслов после вырубки леса для работы соляных варниц. Главное отличие современной карты от карты «Восстановленной растительности» [5] – наличие фрагментов вторичных лесов, представленных мелколиственными комплексами: осиново-берёзовыми на месте еловых лесов. Изменениям площади лесов в сторону уменьшения способствовали такие события, как выварка соли, рубка леса для плавки чугуна, заготовка древесины для строительства домов, дорог, а также отопления жилищ. К концу XX в. внутренняя структура растительных формаций внутри Поморской провинции изменилась незначительно: на карте растительности 1989 г. представлены лесные комплексы сосновых лесов – 59% площади провинции и еловых лесов (11%). Площадь последних сократилась в результате вырубки большого массива елового леса, располагавшегося в Сумском подрайоне провинции. Сравнение двух карт позволило выявить исчезновение еловых лесов, показанных на карте «Восстановленной растительности» по долине р. Нюхчи и западным отрогам кряжа Ветреный Пояс. Второй крупный ареал исчезнувших ельников располагался по правому берегу нижнего течения р. Кеми. Известно, что с XIII в. – начала солеварения на побережье Белого моря наметилось уменьшение площади лесов, поскольку выварка большого количества соляных растворов требовала много топлива.

Обонежская провинция в прошлом отличалась от всех других провинций самой большой площадью распространения ельников (66%), которые в связи с лучшими характеристиками почвенного покрова, впоследствии были наиболее привлекательными для хозяйственной деятельности и разрабатывались под пашню. Сосня-

ки занимали 26% площади провинции, а болотные ландшафты занимали 7% территории. Обонежье в историко-географическом отношении отличается от других провинций Карелии длительностью, интенсивностью и давностью процесса хозяйственного освоения. От мезолита и до современности существует преемственность в селитебном, промысловом, земледельческом, горнопромышленном, лесохозяйственном, а в XX в. ещё и рекреационном использовании региона. В результате длительного и интенсивного антропогенного воздействия растительный покров характеризуется частой сменой в соответствии со сменой сукцессионных рядов. Повсеместно на месте вырубок восстановились вторичные мелколиственные леса, площади которых составляют 34% территории провинции. Произошло резкое уменьшение площади еловых лесов, она сократилась в два раза (с 66% до 33%). В настоящее время сформировались берёзовые леса, на месте еловых среднетаёжных (29%), ольхово-осиново-берёзовые на месте еловых южнотаёжных (2%) и сельскохозяйственные угодья (2%). Пространственное расположение ельников почти не изменилось только теперь ареалы ельников перемежаются мелколиственными лесами. В юго-западной части Онежского озера ельники практически исчезли, сохранился значительно меньший по сравнению с коренными еловыми южнотаёжными лесами ареал ельников с участием неморальных элементов, в настоящее время окруженный берёзовыми, осиновыми и сероольховыми лесами [4]. Лесопокрытая площадь Обонежской провинции по отношению к коренному состоянию в 1989 г. и 2013 г. почти не поменялась: 92%, 91% и 90% соответственно, однако значительно изменился состав древостоев. Площадь ельников сократилась в 13 раз (!) по сравнению с коренным состоянием и в шесть раз по отношению к 1989 г. (65% в коренном состоянии, 33% в 1989 г. и 5% в 2013 г.). На месте сведённых хвойных лесов возобновление идёт мелколиственными породами, берёзовыми лесами, с участием осины и ольхи, а во втором ярусе ели и сосны, они составляют более половины всех лесов Обонежья – 65%. В результате непрерывных вырубок происходит уменьшение площади еловых и увеличение мелколиственных лесов. По отношению к 1989 г. (33%) площадь березняков увеличилась на 25% и составила в 2013 г. 58%. По сравнению с коренной растительностью общая площадь сосновых лесов на территории

Обонежской провинции практически не меняется: 27% в коренном состоянии, 25% в 1989 г. и 27% в 2013 г. Однако это не означает, что сосновые леса не подвержены пространственно-временным изменениям; напротив, они занимают центральное место в естественной и антропогенной динамике сукцессионных рядов в различных типах лесных комплексов. Для полного понимания динамических изменений, происходящих в таёжных ландшафтах, необходимо принимать во внимание все возможные сценарии развития таёжных лесов на месте вырубок коренных ельников и сосняков. Приведённая количественная характеристика динамики растительного покрова отражает модификацию самого динамического компонента ландшафтов Карелии. Анализ, проводимый в границах историко-географических выделов, позволил учесть специфику ландшафтной структуры и типы природопользования на различных временных срезах. Детальная оценка изменения растительности Обонежья за историческое время показала значимую роль историко-географической основы. Из всех историко-географических провинций Карелии максимальному преобразованию подверглись лесные ландшафты историко-географических подрайонов Обонежья, в которых велись промышленные лесозаготовки начиная с XVII в., а наиболее интенсивные – с 1950-х гг. XX в. В большинстве подрайонов западной, наиболее освоенной части Обонежья, площади хвойных лесов, в частности

коренных ельников, сократились до 1% – в Великогубском, Петрозаводском, Вепском; полностью истреблены в Кондопожском, Шуйском подрайонах. В восточной части Обонежской провинции ельники сохранились на больших площадях (7% – 15% в Шальском, Водлозерском, Колодозерском), а в Чёлмужском подрайоне снизились до критических значений – 2% [4].

**Выводы.** Антропогенные вмешательства в природную среду и их последствия разнообразны и имеют различные масштабы. Это вырубки лесов на больших площадях, строительство каналов, транспортных магистралей, распашка территорий, селитебное освоение и т.д. В результате преобразования ландшафта деятельность человека способна вызвать смену одного ПТК другим, т.е. антропогенный фактор увеличивает количество состояний в ландшафтах. Событие, связанное с хозяйственной деятельностью, может спровоцировать, послужить репером, в преобразовании ландшафта или его морфологических частей, в результате чего формируются антропогенно-модифицированные или антропогенные комплексы, дальнейшее развитие и сохранение которых будет зависеть от направления хозяйственной деятельности. Можно привести множество примеров, когда в нарушенном ландшафте, начинают преобладать восстановительные процессы, как только источник «раздражения» перестает действовать.

### Библиографический список

1. *Атлас Карелии*. М.: ГУГК, 1989. 136 с.
2. *Боков В.А., Горбунов Р.В., Черванев И.Г.* Экологическое картографирование: учеб. пособие для студентов ун-ов, обучающихся по направлению подготовки «экология и природопользование». Симферополь, 2016. 238 с.
3. *Вампилова Л.Б.* Историко-географическое районирование Карелии // Проблемы этнической географии и культурного районирования. Псков: Изд-во АНО «Центр социального проектирования «Возрождение», 2004. С. 190–200.
4. *Вампилова Л.Б.* Ретроспективный анализ изменения растительного покрова как компонента ландшафтов Обонежья за историческое время. 2017. №1(17). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32832390> (дата обращения: 15.02.2020).
5. *Елина Г.А.* Позднеледниковье и голоцен Восточной Фенноскандии (палеорастительность и палеогеография) / Г.А. Елина, А.Д. Лукашов, Т.К. Юрковская. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2000. 242 с.
6. *Жуков В.Т., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н.* Компьютерное геоэкологическое картографирование. М.: Научный мир, 1999. 128 с.

УДК 614.86 (470.332)

Т.В. Ватлина, vatlina\_geo@mail.ru  
 Смоленский государственный университет, г. Смоленск, Россия

## МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В работе описывается методика применения алгоритма математико-картографического моделирования для разработки карт типологии показателей заболеваемости. Также рассматриваются возможности применения этого алгоритма для медико-географического исследования и мониторинга состояния здоровья населения Смоленской области. Формирование обоснованных представлений о дифференциации медико-географических показателей дает возможность корректировки программы социально-экономического развития территории.

*Ключевые слова:* математико-картографического моделирование, типология, заболеваемость населения, Смоленская область.

T. Vatlina, vatlina\_geo@mail.ru  
 Smolensk State University, Smolensk, Russia

## MATHEMATICAL AND CARTOGRAPHICAL MODELING OF MORBIDITY INDICATORS AT THE MUNICIPALITIES LEVEL (A CASE STUDY OF SMOLENSK REGION)

The article describes the methodology for applying the algorithm of mathematical cartographic modeling to develop maps of the typology of morbidity indicators. The possibilities of applying this algorithm for medical and geographical research and monitoring the health status of the population of Smolensk region are also considered. The formation of reasonable ideas about the differentiation of medical and geographical indicators makes it possible to adjust the program of socio-economic development of the territory.

*Keywords:* mathematical-cartographic modeling, typology, morbidity, Smolensk region.

Эффективность применения приёмов математико-картографического моделирования для решения разнообразных теоретических и прикладных задач доказана разнообразными исследованиями [1; 3; 6; 7; 10; 12 и др.]. В том числе и для медико-географического анализа на различных территориальных уровнях. Благодаря пространственной интерпретации результатов математического моделирования появляется возможность решать широкий круг медико-географических проблем: определение особенностей трансформации природных очагов болезней, оценка степени риска развития болезни, классификации территории по выбранным показателям здоровья населения [2; 4; 5; 11 и др.].

В последние годы все большую актуальность получают исследования, посвященные состоянию здоровья населения. Наибольшее внимание уделяется хроническим заболеваниям тех органов и систем организма, которые функционируют в основном как барьерные, на границе раздела внешней и внутренней среды. К

таким группам заболеваний относятся болезни органов дыхания, пищеварительной системы, болезни кожи и подкожной клетчатки, болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани.

Основой исследования стали данные по заболеваемости болезнями органов дыхания, пищеварительной системы, кожи и подкожной клетчатки, костно-мышечной системы и соединительной ткани детей в районах и городах Смоленской области за 1999–2016 гг. Материалы были получены в Департаменте по здравоохранению Смоленской области.

Данные анализировались на основе методики разработанной В.С. Тикуновым [8; 9]. Для моделирования тематического содержания использовался алгоритм многовариантной типологии для гомогенных территориальных единиц, объединяемых в таксоны на основе однородных ритмов изменений динамики заболеваемости. Такая типология позволяет выявить территориальные закономерности динамики и исследовать не отдельные ряды, а их группы, которые менее подвержены случай-

ным отклонениям. Для типологического подразделения территории на первом этапе расчетов производилась нормировка исходных показателей по дисперсиям и математическим ожиданиям для всех административных районов и городов Смоленской области, рассматриваемых как исходные территориальные единицы (ИТЕ). Целью данной нормировки является приведение каждого показателя к стандартному виду (в результате математическое ожидание любого показателя становится равным нулю, а дисперсия – единице). Сама процедура многовариантной типологии реализовывалась на основе критерия минимизации внутригрупповых различий ИТЕ при выделении различного числа групп. В качестве меры сходства ИТЕ по комплексу показателей использовались евклидовы расстояния, вычислению которых предшествовал этап обработки массива данных по методу главных компонент.

В результате автоматической классификации для расчетов по всем видам заболеваемости получилась серия вариантов типологии ИТЕ с разным числом групп, варьирующим от 2 до 15. В качестве окончательного результата по каждой разновидности заболеваний, используя специальные коэффициенты неоднородности, выбирались наиболее однородные группировки ИТЕ. В большинстве случаев такими классификациями оказались схемы разбиения на 3 группы. Поэтому для сравнимости всех окончательных результатов все типологии нашей серии расчетов были взяты с тремя группами. Легенда карты отражает среднеарифметические значения заболеваемости за восемнадцать лет, рассчитанные в пределах каждого из таксонов и представленные в виде графиков. Такие графики средней заболеваемости нивелируют частные флуктуации в динамических рядах и характеризуют закономерности изменчивости заболеваемости для целых однотипных групп ИТЕ, каждой из групп была дана комплексная характеристика.

На основе этих данных была создана серия карт, отражающая пространственное распределение показателей заболеваемости болезнями пищеварительной системы, органов дыхания, кожи и подкожной клетчатки, костно-мышечной системы и

соединительной ткани за 18-летний период наблюдения. Рассмотрим ситуацию на примере класса «Болезни органов пищеварения» (рис. 1). Анализ полученных результатов позволяет дать характеристику каждому таксону.

В первый тип вошел только Холм-Жирковский район, со специфической динамикой заболеваемости. Холм-Жирковский район отличается минимальным средним многолетним значением заболеваемости (2451,3 на 100000 населения) с двумя максимумами, приходящимися на 2007 г. и 2016 г.

Второй тип, включающий 12 районов (Велижский, Вяземский, Глинковский, Ершичский, Кардымовский, Новодугинский, Починковский, Духовщинский, Сафоновский, Смоленский, Ярцевский) и один город – Дорогобуж, характеризуется средним многолетним значением заболеваемости 10640,95 на 100000 населения. За 18-летний период отмечалось несколько подъемов заболеваемости, а с 2010 по 2016 гг. фиксировалось снижение заболеваемости.

Третий тип объединил 13 районов (Гагаринский, Демидовский, Дорогобужский, Ельнинский, Краснинский, монастырский, Рославльский, Руднянский, Сычевский, Темкинский, Угранский, Хиславичский, Шумячский) и 14 городов, для которых по сравнению с другими типами отмечается наиболее напряженная ситуация. Максимальное среднее значение заболеваемости составляет 16630,34 на 100000 населения, за 18-летний период характерно незначительное колебание заболеваемости.

Полученные результаты являются основой для установления причинно-следственных связей между заболеваемостью и экологической обстановкой в регионе. Построение типологических карт, отражающих показатели заболеваемости на основе математико-картографического моделирования, является эффективным инструментом для медико-географического исследования и мониторинга состояния здоровья населения Смоленской области. Формирование обоснованных представлений о дифференциации медико-географических показателей дает возможность для обоснования экологической политики в регионе.

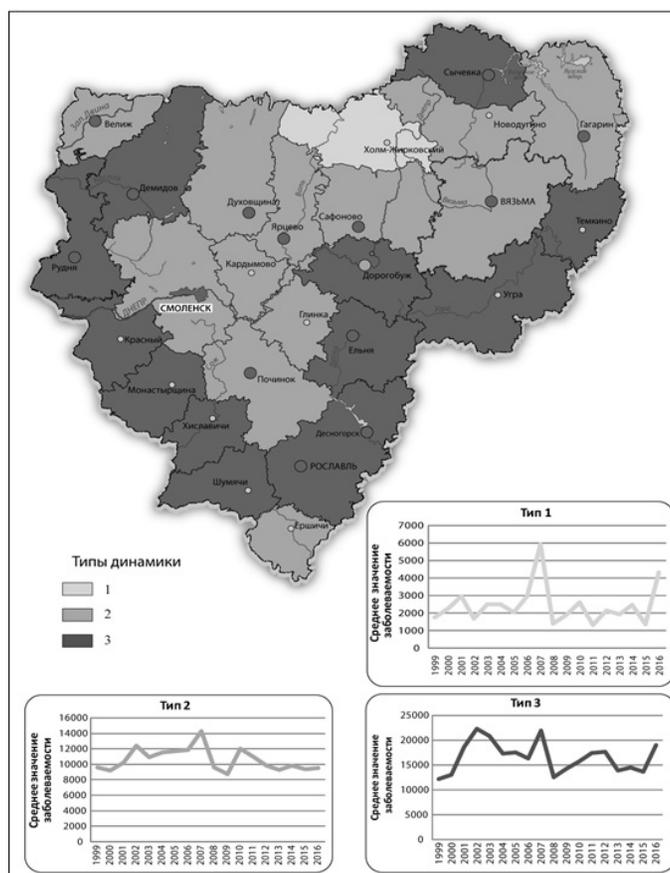


Рис. 1. Типология районов и городов Смоленской области на основе динамических рядов заболеваемости детей болезнями системы пищеварения

### Библиографический список

1. Бобылев С.Н., Тикунов В.С., Черешня О.Ю. Уровень развития цифровой экономики в регионах России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2018. № 5. С. 27–35.
2. География новых и возвращающихся природно-очаговых болезней в России / С.М. Малхазова, В.А. Миронова, П.В. Пестина, А.И. Прасолова // Доклады Академии наук. 2019. Т. 488, №2. С. 202–206.
3. Игонин А.И., Тикунов В.С. Многовариантное математико-картографическое моделирование демографической характеристики регионов России и Европы // Геодезия и картография. 2019. № 11. С. 14–23.
4. Малхазова С.М. Медицинская география в Московском университете: создание и становление школы // Биогеография в Московском университете. 60 лет кафедре биогеографии. М.: ГЕОС. 2008. С. 285–293.
5. Пространственно-временной анализ локального распространения африканской чумы свиней в Российской Федерации в 2007-2015 гг. / С.М. Малхазова, Ф.И. Коренной, О.Н. Петрова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2017. № 5. С. 33–42.
6. Пьянков С.В., Калинин В.Г. ГИС и математико-картографическом моделировании при исследовании водохранилищ (на примере Камских). Пермь: ООО «Алекс-Пресс», 2011. 158 с.
7. Пьянков С.В., Шихов А.Н., Михайлюкова П.Г. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Камы с применением данных глобальных моделей прогноза погоды // Лед и снег. 2019. № 4.

8. Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). Москва-Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.
9. Тикунов В.С., Черешня О.Ю. Интегральная оценка и картографирование экологической ситуации в регионах Российской Федерации // Геодезия и картография. 2017. №6. С. 6–16.
10. Флоринский И.В., Айлерс Р.Дж., Бёртон Д.Л. Прогнозное почвенное картографирование на основе цифрового моделирования рельефа // Геоинформатика. 2009. №1. С. 22–32.
11. Dushkova D.O., Tikunov V.S., Chereshnya O.Y. Methodology for assessment of public health at the municipalities level (a case study of Arkhangelsk oblast) // Geography and Natural Resources. 2019. Vol. 40, №1. P. 74–81.
12. Real-time microscale modeling of thermal comfort conditions in Moscow region / A. A. Perkhurova, P.I. Konstantinov, M.I. Varentsov et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 386. P. 012046.

УДК 528.88

М.В. Воронина, М.В. Зимин, Н.А. Моисеева, Е.С. Перминова, eperminova@scanex.ru  
ООО ИТЦ «СКАНЭКС», г. Москва, Россия

### **СПУТНИКОВЫЕ И ВЕБ-ГИС ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ НУЖД ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

В статье рассматриваются современные образовательные программы по приобретению компетенций в области цифровой экономики в России. Рассмотрен опыт проведения образовательных мероприятий для нужд сельского хозяйства с использованием данных дистанционного зондирования Земли и веб-ГИС сервисов.

*Ключевые слова:* цифровая экономика, сельское хозяйство, космические снимки.

M. Voronina, M. Zimin, N. Moiseeva, E. Perminova, eperminova@scanex.ru  
R&D center SCANEX, Moscow, Russia

### **SATELLITE AND WEB GIS TECHNOLOGIES AS A TOOL OF KEY COMPETENCIES FOR DIGITAL ECONOMY ON THE EXAMPLE OF AGRICULTURE**

The article discusses modern educational programs for acquiring competencies in the digital economy in Russia. The experience of educational activities for the needs of agriculture using the remote sensing data and web-GIS services is considered.

*Keywords:* digital economy, satellite images, agriculture.

Цифровизация отрасли сельского хозяйства является частью национальной программы «Цифровая экономика», объявленной Президентом Российской Федерации проектом национального значения.

Применение современных цифровых технологий в агропромышленности, в частности данных дистанционного зондирования Земли, позволяет сократить затраты средств и времени на полевые исследования, ускорить производство работ, а также повысить достоверность и полноту получаемой информации. Спутниковые и веб-ГИС технологии являются неотъ-

емлемым источником объективной информации об использовании и состоянии сельскохозяйственных земель, позволяют оценивать состояние сельскохозяйственных посевов на значительных площадях, что при наземных исследованиях практически невозможно. Приобретение навыков и компетенций в области обработки и анализа данных ДЗЗ и продуктов на их основе напрямую влияет на эффективность решений, принимаемых при проведении агротехнических мероприятий.

Использование таких технологий для оптимизации рабочих и образовательных

процессов зачастую сопровождается отсутствием подготовленных кадров. На сегодняшний день в России по данным АНО «Цифровая экономика» и Аналитического центра Национального агентства финансовых исследований (НАФИ) около 15% населения в России слабо владеют навыками решения задач в технологически сложной среде. Более 55% граждан РФ хотят улучшить свои знания и навыки в сфере информационных технологий. Среди занятых в сельском хозяйстве, на 1000 человек приходится всего один IT-специалист.

Современный специалист, помимо глубокого понимания своей области, а также знания и опыта в смежных сферах («Т-образный специалист»), в реализации технологических проектов в условиях цифровой экономики, должен обладать следующими компетенциями [3]: «цифровая ловкость», владение инструментарием работы с большими данными и инструментами визуализации, навыки работы с базами данных, системное мышление, командная работа, способность к непрерывному обучению и др.

Современные экономические и технологические условия России требуют создания и реализации подходов по содействию гражданам в освоении ключевых компетенций цифровой экономики, обеспечении массовой цифровой грамотности и персонализации образования. Для этого должны быть созданы хорошие образовательные продукты. Специалисты должны располагать материальной базой, а также иметь доступ к этим образовательным продуктам, получать исследовательские гранты и трудоустроиваться там, где они смогут себя реализовать.

В этих целях в России реализовано направление «Кадры для цифровой экономики» (<https://digitalskills.center/>), которое своей целью видит подготовку высококвалифицированных кадров, отвечающих новым требованиям к ключевым компетенциям цифровой экономики. Также ведется работа программы *Национальная технологическая инициатива (НТИ)* (<https://nti2035.ru/>). Одной из задач Национальной технологической инициативы является совершенствование системы образования для обеспечения перспективных кадровых потребностей динамично развивающихся компаний, научных и творческих коллективов.

Предусмотрена масштабная подготовка кадров для цифровой экономики на всех уровнях образования (школьное, среднее профессиональное, высшее, пере-

подготовка и повышение квалификации) и развитие цифровой грамотности и компетенций населения.

Оператором проекта «Кадры для цифровой экономики» на федеральном уровне выступает *Университет НТИ 20.35* (<https://2035.university/>) и платформа по подбору программ повышения квалификации (<https://цифровойсертификат.рф>). В 2019 году заявки на бесплатное обучение можно было подать на программы дополнительного профессионального образования по 22 направлениям цифровой экономики в 5 пилотных регионах РФ. В каталоге курсов оператора проекта Университета 20.35 уже сейчас доступно более 100 образовательных программ от 33 образовательных организаций, среди которых – государственные и коммерческие вузы, колледжи и платформы онлайн-образования. Этот перечень планируется расширять по мере присоединения к проекту новых участников и регионов.

Основным инструментом реализации НТИ являются *Дорожные карты* по направлениям (рынкам) НТИ – документы стратегического планирования, содержащие комплекс мероприятий и задач по созданию, развитию и продвижению технологий, продуктов и услуг соответствующего рынка («Аэронет», «Маринет», «Фуднет», «Технет» и др.).

Одним из таких направлений работы НТИ является *Кружковое движение НТИ* (<https://kruzhok.org/>). Кружковое движение НТИ решает задачу формирования в России поколения предпринимателей, инженеров, ученых, управленцев, ядром которого должны стать выходцы из кружков. Существующие образовательные программы в вузах и школах способны дать будущим специалистам лишь общетеоретическую подготовку. Овладение практическими знаниями и навыками энтузиасты должны будут получать сами в процессе самообразования. «Кружковое движение» – это наиболее подходящая форма организации энтузиастов, желающих создавать новые компетенции, исходя из практических нужд соответствующих рынков [1].

Примеры новых профессий, которые, вероятно, будут востребованы компаниями, работающими на рынках НТИ [1]:

- Фуднет – специалист по точному земледелию; ГМО-агроном; ситифермер;
- Аэронет – проектировщик интерфейсов беспилотников; технолог рециклинга беспилотников;

– Маринет – портовый эколог; системный инженер морской инфраструктуры.

Ярким примером инициативы Кружкового движения является проект *Олимпиада НТИ* (<https://nti-contest.ru>), включающая многоэтапные командные и индивидуальные соревнования по различным направлениям, таким как нейротехнологии, аэрокосмические системы, большие данные и машинное обучение, робототехнические системы, инженерные биологические системы, анализ космических снимков и геопространственных данных и другие. Проект *Дежурный по планете* (<http://space-contest.ru/>) с проектами в области космических исследований и разработок, такими как «Спутник моей школы», «Земля из космоса», «Прикладные космические системы», позволяет узнать о современных космических технологиях и принять участие в их развитии.

*Направление «АгроКосмос» конкурса «АгроНТИ»* является одной из площадок программы Дежурный по планете по тематике технологий связи и управления «космос-Земля», обработки технологий приема и обработки данных ДЗЗ, тематической обработки данных ДЗЗ, геопортальных решений

Конкурс проводится Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере совместно с некоммерческой организацией «Ассоциация образовательных учреждений АПК и рыболовства» при поддержке Департамента научно-технологической политики и образования Министерства сельского хозяйства и Министерства просвещения Российской Федерации [2].

Целью Конкурса «АгроНТИ» является вовлечение обучающихся в проектно-исследовательскую деятельность в области применения цифровых технологий в сельском хозяйстве и способствование их ранней профессиональной ориентации в мире возникающих профессий.

Конкурс проводится по 4 направлениям: «АгроКоптеры», «АгроРоботы», «АгроМетео» и «АгроКосмос». В 2019 году конкурс проводился на базе 9 аграрных вузов России.

Направление «АгроКосмос» конкурса «АгроНТИ-2019», реализуемое компанией «СКАНЭКС» совместно с аграрными вузами, представляющими региональные площадки для проведения конкурса, поднимает широкий круг вопросов и задач, связанных с использованием земель сельскохозяйственного назначения и на-

правленных на сохранение плодородия почв и повышение эффективности аграрного производства. В рамках проводимых этапов рассматриваются различные аспекты, связанные с тематикой конкурса: проблемы эрозии, опустынивания, заболачивания сельскохозяйственных угодий, зарастания древесно-кустарниковой растительностью, определения состояния вегетации сельскохозяйственных угодий с учетом региональной специфики, анализ выбытия земель из сельскохозяйственного оборота и др.

Работы реализуются в несколько этапов. *Методический этап* включает подготовку и обеспечение проведения очных региональных этапов конкурса. Для реализации конкурса сотрудниками ИТЦ «СКАНЭКС» были разработаны методические материалы (видео уроки, методические пособия, презентации, методология проведения конкурса и всех его этапов, методика оценки заданий) и подготовлены комплекты геопространственных материалов на территории регионов-участников конкурса, необходимых для выполнения конкурсных заданий.

Комплекты данных на каждый регион-участник подготовлены на основе данных дистанционного зондирования Земли открытого распространения среднего и низкого пространственного разрешения, коммерческих данных высокого пространственного разрешения, а также на основе данных цифровой модели рельефа SRTM-90 и содержат векторные картографические слои границ сельскохозяйственных угодий, земельных участков, участков развития негативных процессов (линейной эрозии, плоскостного смыва, переувлажнения), данных о расположении термоточек.

Все региональные площадки в рамках конкурса были оснащены специализированным программным обеспечением ScanEx Web GeoMixer. Также компанией был предоставлен доступ к сервису «КосмосАгро». Системы обеспечивают доступ к инструментарию для публикации, визуализации, редактирования и управления пространственными данными, инструментам мониторинга и использования сельскохозяйственных угодий, оперативным данным дистанционного зондирования Земли и продуктам на их основе.

В рамках этапа также организован очный методический семинар для представителей региональных площадок конкурса. В 2019 году на семинаре присут-

ствовали представители от 9 вузов – кураторов региональных этапов конкурса. Продолжительность семинара составила 3 дня, были рассмотрены вопросы использования космических снимков и веб-геоинформационных технологий в сельском хозяйстве, примеры реализации региональных проектов сельскохозяйственной тематики, обсуждены и согласованы действия по проекту, задания для участников.

Для участников очного регионального этапа и финального этапа были разработаны практико-ориентированные задания и рекомендации по их выполнению.

*Очные региональные этапы* включают проведение очного регионального и очного финального этапа конкурса. В направлении «АгроКосмос» участники соревнований применили возможности ДЗЗ и веб-ГИС технологий для решения прикладных задач, связанных с использованием сельскохозяйственных земель, пониманием региональной специфики сельского хозяйства и присущих им проблем. Этап реализуется на основе подготовленного комплекта материалов с использованием возможностей предоставляемого программного обеспечения.

В формате соревнований школьники анализировали материалы архивной и актуальной космической съемки, определяли тип сельскохозяйственных угодий, описывали динамику вегетации растительности, определяли специфику расположения сельскохозяйственных полей, анализировали антропогенные изменения, с помощью инструментария ГИС-системы выделяли участки, подверженные развитию негативных процессов природного и антропогенного характера

и предлагали мероприятия по их предотвращению и возвращению земель в сельскохозяйственный оборот.

Подобные проекты и конкурсы значительно расширяют кругозор по многим теоретическим и практическим вопросам современных технологий и профессий. Активное участие в мероприятиях «АгроНТИ» позволяет по-новому взглянуть на вопросы ведения сельского хозяйства, на практике получить глубокие выводы и точные оценки сложившихся проблем аграрной отрасли и развивает стремление их решить разносторонними методами с помощью полученных знаний и компетенций. Можно заметить большой рост качества работ участников от этапа к этапу, во многом за счет самостоятельной работы и консультаций с учителями и преподавателями вузов-кураторов. Участники отмечают, что благодаря конкурсу они по-новому взглянули на профессии в сельскохозяйственной отрасли, и полученные знания им пригодятся в будущем. В перспективе, полученные в рамках конкурса компетенции, смогут напрямую влиять на эффективность решений, принимаемых при проведении агротехнических мероприятий, и способствовать повышению производительности труда, позволяя в оперативном режиме доставлять необходимую информацию для решения задач в сельском хозяйстве. Также необходимо отметить важность взаимодействия и обмена опытом участников конкурса на всех уровнях: представителей компаний-организаторов, преподавателей аграрных вузов, школьных учителей и самих учеников. Подобная консолидация дает основу успешному достижению целей программы Цифровой экономики.

### Библиографический список

1. *План мероприятий («Дорожная карта») «Кружковое движение» Национальной технологической инициативы. Приложение к протоколу заседания президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России от 18.07.2017 г. № 3. 92 с.*
2. *Положение по проведению региональных и финальных этапов Всероссийского конкурса «АгроНТИ-2020»: утв. Ген. Дир. Фонда содействиям инновациям, Ген. Дир. НО «Ассоциация образовательных учреждений АПК и рыболовства». 20.02.2020 г.*
3. *Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение / Абдрахманова Г. И. [и др.] // XX Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. 82 с.*

И.И. Гайнуллин<sup>1</sup>, Б.М.Усманов<sup>2</sup>, gainullis@gmail.com

<sup>1</sup>АНО «НИЦ «Страна городов», г. Казань, Россия

<sup>2</sup>Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ

В статье представлены некоторые результаты использования современных геодезических методов, при решении актуального вопроса сохранения объектов археологического наследия. Одной из причины разрушения памятников при хозяйственной деятельности является отсутствие установленных границ объектов археологического наследия и их регистрации в Едином государственном реестре недвижимости. Использование беспилотных летательных аппаратов позволяет быстро подготовить и внести сведения о границах территории объекта археологического наследия в реестре недвижимости.

*Ключевые слова:* кадастровый учет, объекты археологического наследия, БПЛА, охранная зона, ДДЗ.

I. Gainullin<sup>1</sup>, B. Usmanov<sup>2</sup>, gainullis@gmail.com

<sup>1</sup>Research Centre "Country of Cities", Kazan, Russia

<sup>2</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia

## DETERMINING THE BOUNDARIES OF ARCHEOLOGICAL HERITAGE OBJECTS BY MODERN METHODS

This article presents some results of the use of modern geodetic techniques in solving the urgent problem of archaeological heritage objects protection. The main reason for monuments destruction during economic activity is the absence of established boundaries of archaeological heritage objects as well as registration in the Unified State Register of Immovable Property. The use of UAVs allows to quickly prepare and enter information about the archaeological heritage site boundaries in the Register of Immovable Property.

*Keywords:* cadastral registration, archaeological heritage sites, UAV, preservation zone, remote sensing.

**Введение.** В современных реалиях интенсивного хозяйственного освоения различных территорий особенно остро встает вопрос сохранения объектов археологического наследия Российской Федерации.

Требования к охране таких объектов установлены как федеральными законами и подзаконными нормативными актами, так и региональным законодательством. Понятие объекта археологического наследия раскрывается в Федеральном законе от 25 июня 2002 г. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», как частично или полностью скрытые в земле или под водой следы существования человека в прошлых эпохах (включая все связанные с такими следами археологические предметы и культурные слои), основным или одним из основных источников информации о которых являются археологические раскопки или находки.

Границы земельных участков, занятых объектами археологического наследия,

должны быть установлены и закреплены в соответствии с государственными требованиями к землеустройству, межеванию и кадастровому учету. В противном случае правовой статус данной категории земельных участков и расположенных в их границах объектов археологии остается не определенным [2].

Установление зон охраны объекта культурного наследия является эффективной мерой предотвращения негативного воздействия человека и окружающей среды на такие объекты. При этом в исторической среде объекта культурного наследия могут быть установлены следующие зоны охраны:

- охранная зона;
- зона регулирования застройки и хозяйственной деятельности;
- зона охраняемого природного ландшафта.

*Законодательная база.* В настоящее время практически во всех субъектах РФ отсутствует землеустроительная доку-

ментация с четко обозначенными границами и кадастровыми координатами земельных участков, занятых объектами археологического наследия, нет закрепленных, юридически оформленных земель историко-культурного назначения. Статья 34 Закона №73-ФЗ об объектах культурного наследия определяет, что в целях обеспечения сохранности указанных объектов в их исторической среде на сопряженной с ними территории устанавливаются охранная зона, зона регулирования застройки и хозяйственной деятельности, зона охраняемого природного ландшафта. Объекты культурного наследия, в том числе объекты археологического наследия, относятся к землям историко-культурного назначения в составе категории земель «Земли особо охраняемых территорий и объектов».

Таким образом остро стоит задача по оформлению земельных участков, занимаемых археологическими объектами, в соответствии с требованиями земельного законодательства. На все земли с выявленными объектами археологического наследия должна быть сформирована охранный зона, сведения о которой вносятся в реестр границ Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН). Для этого уполномоченные органы охраны объектов культурного наследия должны направлять в орган кадастрового учета документы о сформированных границах территорий и характеристиках охранной зоны выявленного объекта культурного наследия. Перечень необходимых для внесения в ЕГРН сведений о границах объектов культурного наследия установлен ст. 10 федерального закона от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости». Так, пунктом 1 указанной статьи установлено, что в реестр границ вносятся следующие сведения о территориях объектов культурного наследия:

1. индивидуальные обозначения таких территорий (вид, тип, номер, индекс и другие обозначения);
2. описание местоположения границ территорий;
3. наименования органов государственной власти или органов местного самоуправления, принявших решения о создании таких территорий;
4. реквизиты решений органов государственной власти или органов местного самоуправления о создании или об изменении таких территорий и источники официального опубликования этих решений;
5. содержание ограничений использо-

вания объектов недвижимости в пределах таких территорий объектов культурного наследия.

Объекты культурного наследия, включенные в реестр, подлежат государственной охране, которая включает разработку, согласование и утверждение проектов зон охраны объектов культурного наследия, а также установление требований к осуществлению деятельности и требований к градостроительным регламентам в границах территории достопримечательного места.

Согласно статье 2 Федерального закона от 13 июля 2015 года № 252-ФЗ «О внесении изменений в Земельный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации», вступившего в силу с 1 января 2016 года, зоны с особыми условиями использования территорий исключены из объектов землеустройства. Одновременно Земельным кодексом Российской Федерации установлено, что обязательным приложением к решению об установлении такой зоны являются сведения о границах зоны, которые должны содержать текстовое и графическое описание местоположения границ зоны, перечень координат характерных точек этих границ в системе координат, установленной для ведения государственного кадастра недвижимости. При этом законодательством Российской Федерации не предусмотрены разработка и утверждение формы документа, содержащего указанные сведения о границах зон.

**Методы и материалы.** Использование и анализ ДДЗ являются неотъемлемой частью неразрушающих методов, наряду с геофизическими исследованиями, используемых в изучении памятников археологии и направленных на выявление объектов и минимизацию разрушения, наносимого облику памятника археологическими раскопками [3].

В последнее время в археологии широкое применение получили мультироторные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [1]. Аппараты используют для получения высокодетальных аэрофотоснимков, которые позволяют изготовить на их основе ортофотоплан местности и цифровые модели рельефа (ЦМР), создать реконструкцию объектов археологии на основе трехмерного моделирования с помощью фотограмметрии. При использовании БПЛА широко используются глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) для обоснования координат назем-

ных реперов, более точного позиционирования и взаимной ориентации фотоснимков, на основе которых строятся модели археологических объектов.

В исследованиях 2018–2019 гг. авторами были проведены работы по определению границ памятников археологии на территории Республики Татарстан (РТ) в рамках проводимой паспортизации объектов археологического наследия Министерством культуры РТ.

Для этого была проведена низковысотная аэрофотосъемка с использованием квадрокоптера DJI Phantom 4. Управление БПЛА и съемка производится в автоматическом режиме, что позволяет добиться наилучшего результата с сохранением заданного перекрытия снимков. Автоматический режим представляет собой указание в специализированном ПО для управления БПЛА территории съемки, процента продольного и поперечного перекрытия, высоты съемки от точки взлета. С помощью БПЛА проводилась площадная съемка, с перекрытием снимков 60–80%, высота аэрофотосъемки составила 70 м.

Результаты съемки были обработаны в программе Agisoft PhotoScan. Снимки предварительно выравнивались, далее проводилась коррекция географической привязки снимков многократной съемки на основе данных спутниковой съемки опорных маркеров.

В результате фотограмметрической обработки были построены плотное облако точек, трехмерная полигональная модель и ортофотоплан. Для создания цифровой модели рельефа была проведена классификация древесной и кустарниковой растительности.

В общем, методика использования БПЛА для реконструкции рельефа городищ включала 6 этапов:

1. Расстановка опорных точек;
2. Загрузка полетного задания в контроллер БПЛА;
3. Съемки с БПЛА;
4. Редактирование полученных снимков, выравнивание;
5. Создание плотного облака точек, его классификация;
6. Создание ЦМР, ортофотоплана.

Каждый из этапов имеет свои нюансы в зависимости от решаемых задач и заявленной точности исследования.

**Результаты.** Проведенные инструментальные исследования и низковы-

сотная аэрофотосъемка на городищах периода Волжской Булгарии (X–XIII вв.), с использованием высокоточных методов топографической съемки позволили в короткие сроки провести натурную съемку на объектах, обработать и проанализировать результаты и определить границы памятников, в том числе уже практически или полностью разрушенных в ходе их хозяйственного освоения (рис.1).

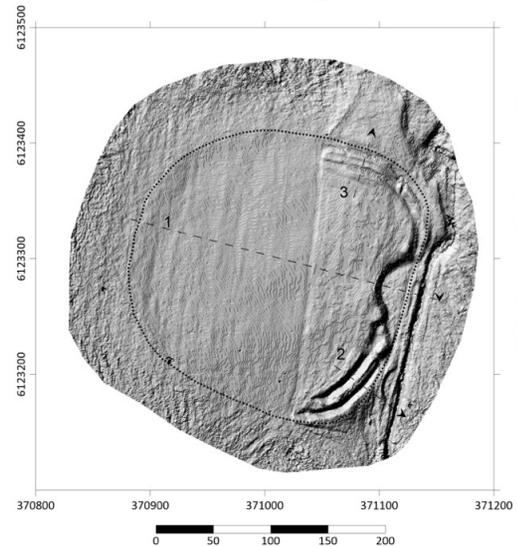


Рис. 1. Большекляринское городище

Кроме того, при анализе результатов съемки БПЛА на Чуру-Барышевском городище, были выявлены оборонительные сооружения, практически неразличимые на спутниковом снимке. На цифровой модели исследуемой территории достаточно четко видно наличие никаким образом не выявляемых при натурном обследовании памятника одинарного дугообразного вала, отсекающего мыс с южной, напольной части городища, и небольшого вала, отсекающего языкообразный выступ с севера (рис. 2).

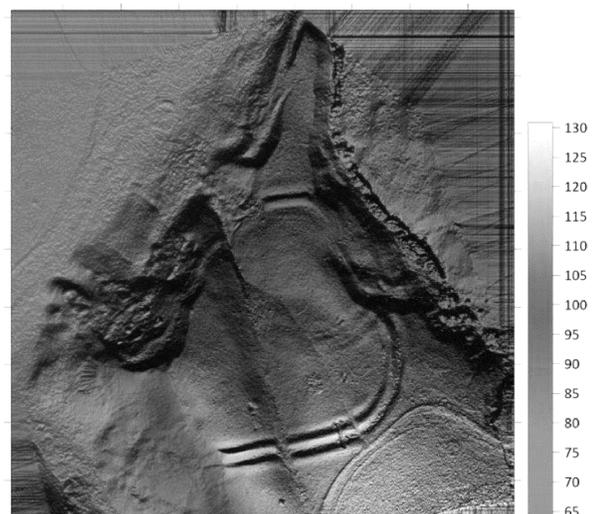


Рис. 2. Чуру-Барышевское городище

**Заключение.** Использование современных геодезических методов и использование БПЛА в определении границ объектов археологического наследия позволяет с требуемой точностью в короткие сроки обосновать границы и охранных зон, что особенно актуально в регионах с большой плотностью размещения памятников археологии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-09-40114 Древности. «Страна городов» – комплексное изучение городищ Волжской Булгарии современными методами.*

### Библиографический список

1. Жуковский М.О. Использование мультиспектральных БПЛА и фотограмметрических технологий обработки аэрофотосъемки в современных археологических исследованиях // Виртуальная археология (эффективность методов): материалы Второй Международной конференции (Санкт-Петербург, 1–3 июня 2015 г.). СПб.: Изд-во Гос. Эрмитажа. 2015. С. 69–80.
2. Зайцева Е.А., Кениг А.В., Соболенкова Т.Н. Археологический мониторинг как фактор сохранности объектов культурного наследия (по материалам работ 2010–2012 годов в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре) // Вестник НГУ. Серия: История, филология. Новосибирск. 2013. Т.12. Вып. 3: Археология и этнография. С. 86–92.
3. Усманов Б.М., Гайнуллин И.И., Хомяков П.В. Комплексная оценка современного состояния территории Болгарского городища (Татарстан, Россия) // Поволжская археология. Казань. 2018. Вып. 24. С. 326–341.

УДК 551.4: 504.064.2: 551.4.044-528.854.2: 502.2.08: 519.876.5

Я.О. Георгиева, П.М. Мазуркин, [yanageorgieva2017@yandex.ru](mailto:yanageorgieva2017@yandex.ru)  
 Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Россия

### ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ГЕОМОРФОЛОГИИ МАЛОЙ РЕЧНОЙ СЕТИ

Идентификация закономерностей в геоморфологии было выведено с помощью общего вейвлет-уравнения. Эти уравнения были получены из асимметричных вейвлетов изменения координат, а именно высоты, широты и долготы на примере русла малой реки Ировка из 290 точек, которые распределялись вдоль русла реки от ее истока до устья. После чего получено 12 членов наподобие асимметричных вейвлетов с переменным периодом и амплитудой колебаний.

*Ключевые слова:* геоморфология, закономерности, речная сеть.

Y. Georgieva, P. Mazurkin, [yanageorgieva2017@yandex.ru](mailto:yanageorgieva2017@yandex.ru)  
 Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia

### IDENTIFICATION OF REGULARITIES IN THE GEOMORPHOLOGY OF A SMALL RIVER NET

The identification of patterns in geomorphology was deduced using the general wavelet equation. These equations were obtained from asymmetric wavelets of changing coordinates, namely, altitude, latitude and longitude, using the example of the channel of the small river Irovka from 290 points that were distributed along the river channel from its source to its mouth. After that, 12 members were obtained, like asymmetric wavelets with a variable period and amplitude of oscillations.

*Keywords:* geomorphology, patterns, river network.

Геоморфолого-математическое моделирование сопровождающееся эрозией ландшафтов с использованием геоинформационной среды и спутниковых снимков высокого разрешения позволяет возможность продемонстрировать основные характеристики ландшафтов в реальном времени и применить их как базу для экспериментальных и теоретических исследований геоморфолого-экологических процессов. Таким образом, мы получим современный инструмент для изучения процессов, позволяющие определить степень и состояние развития ландшафтов [8].

Русловый поток, ее продольный профиль постоянно имеет волнообразные пологие изгибы, которые не вызывают разрыва неотрывности в виде порогов и водопадов. Большинство исследователей отмечалась ступенчатая особенность русловых потоков [5]. Таких волновых уравнений до настоящего времени не получено до сих пор.

Работа посвящена идентификации закономерностей в геоморфологии малой речной системы с помощью вейвлетов размещения высоты, также влияние долготы и широты реки Ировка по 290 точкам, которые были выделены по стрежню реки.

Координаты долготы, широты и высоты были измерены по спутниковым снимкам по предложениям [6].

По течению стрежня малой реки отбираются определенные точки от истока реки до устья по явным изменениям продольного профиля реки, к примеру, 10–15° в плане, если выявится поворот русла. Для моделирования идентификации устойчивых закономерностей по итогам измерений составляется определенная таблица данных [7].

Один из важных свойств геоморфологии является гипсометрическая характеристика. По степени возвышенности поверхности суши над уровнем океана выделяют низменный, абсолютная высота которой от 0 до 200 м, рельеф [4, с. 24–25]. К низменному уровню относится и река Ировка. В истоке высота достигает 148 м над уровнем Балтийского моря, а в устье она равна 89 м [1; 3].

Колебания, т.е. вейвлет сигналы записываются волновой формулой [7] вида

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}), \quad (1)$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}), \quad p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}},$$

где  $y$  – показатель (зависимый фак-

тор),  $i$  – номер составляющей модели (1),  $m$  – количество членов в общей модели (1),  $x$  – объясняющая переменная (влияющий фактор),  $a_1 \dots a_8$  – параметры модели (1), принимающие различные числовые значения в процессе структурно-параметрической идентификации в программной среде CurveExpert-1.40,  $A_i$  – амплитуда (половина) вейвлета (ось  $y$ ),  $p_i$  – полупериод колебания (ось  $x$ ).

Процесс идентификации устойчивых закономерностей представляется как процесс решения задачи статистического (вероятностного) моделирования асимметричными вейвлет-сигналами по динамическим и иным рядам измерений. Показана методология идентификации устойчивых законов детерминированной и/или адаптивной динамики любого процесса, включая и экономические, волновыми функциями с переменными амплитудой и частотой колебания. В учебном пособии [8] модель (1) дана как решение 23-ой проблемы Гильберта одним-единственным универсальным алгебраическим волновым уравнением в общей форме, предложенной автором, и тем самым доказана гипотеза и известная концепция Декарта.

Идентификация по данным (табличной модели) включает следующие этапы:

1) *эвристическая идентификация* сути изучаемого явления или процесса по результатам измерений и анализа табличной модели (априорная информация) и осмысления в ходе выявления конструкции у статистической однофакторной закономерности по её аддитивным составляющим (апостериорная информация);

2) *структурная идентификация* каждой однофакторной математической функции в общей модели в виде суммы инвариантов из асимметричных вейвлет-сигналов;

3) *параметрическая идентификация* наращиваемой по отдельным инвариантам структуры каждой устойчивой закономерности в программной среде CurveExpert-1.40.

Физико-математический подход предполагает понимание смысла *динамического ряда* как отражения какого-то составного процесса или же множества реальных последовательно и параллельно происходящих природных и/или природно-антропогенных процессов.

Впервые удалось получать модели многих типов рядов динамики (10–79, 85–90) на концепции аддитивного разложения любого динамического ряда на множество сигналов.

Сигнал – это материальный носитель информации. А информация нами понимается как *мера взаимодействия*. Сигнал может генерироваться. Так, например, ряд простых чисел известен несколько тысяч лет, но суть его как множества сигналов до сих пор не была раскрыта. Аналогично многие природные явления и процессы на эвристическом уровне науке давно понятны, но количественно они до сих пор не расшифрованы.

По данным [3, с. 81–82] всего же, по состоянию на середину 1980-х годов, выявлено 1380 разновидностей экономических циклов продолжительностью от 20 часов до 700 лет. Поэтому мы считаем, что все они являются частными случаями экономических колебаний с переменной частотой или в уравнении (2.4) с переменным полупериодом. Если полвека назад еще можно было на какой-то короткий промежуток времени говорить о колебаниях с постоянным периодом и пытаться классифицировать их, то в начале XXI века периодичность колебаний поведения социально-экономических систем стала сильноизменчивой.

Экономические колебания возникают, по крайней мере, из-за трех основных причин:

- 1) колебательная адаптация к окружающей среде является важнейшим свойством любой природы (живого и косного вещества по В.И. Вернадскому);
- 2) субъективизация любых природных и природно-техногенных объектов (техникой как поведенческой структурой владеют не только люди), как правило, приводит к неосознанному поведению лиц принимающих решения, что сильно увеличивает риск возрастания амплитуды и снижения периода колебательной адаптации управляемой этими лицами социально-экономической системы к своему окружению;
- 3) с ростом численности человечества возрастает и количество социально-экономических систем и их поведенческих

структур, поэтому неосознанное колебание каждого из них приводит к наложению с колебаниями других, что приводит к возникновению глобальных экономических кризисов.

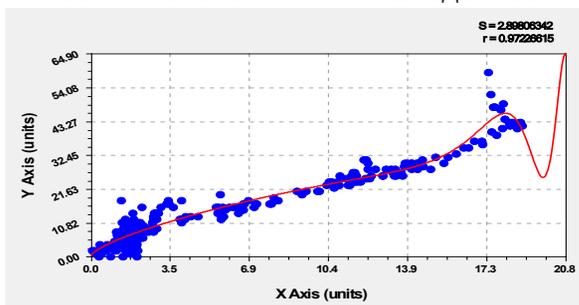
Сигналом может быть любой физический процесс или его часть. Получается, что изменение множества неизвестных сигналов давно известно. Очень много неосознаваемых сигналов из-за отсутствия статистического текущего моделирования экономического собственного поведения внутри каждой социально-экономической системы или её составной части (элемента-института структуры).

По формуле (2.5) с двумя *фундаментальными физическими постоянными*  $e$  (число Непера или число времени) и  $\pi$  (число Архимеда или число пространства) образуется изнутри изучаемого явления и/или процесса *квантованный вейвлет-сигнал*. Тогда для конкретной экономической системы встает двоякая задача: выявить закономерности собственного поведения; затем выявить поведение внешней среды и уточнить на будущее сценарий собственного поведения.

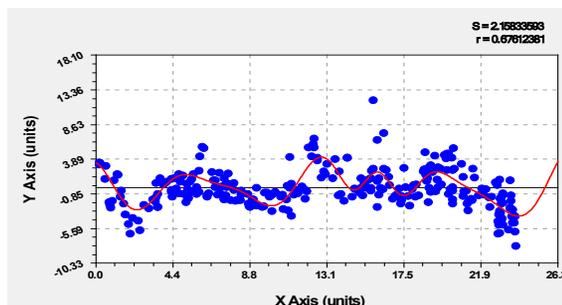
Понятие вейвлет-сигнала позволяет абстрагироваться от физического смысла самих рядов (в общем случае не только динамических) и рассматривать их аддитивное разложение.

По гипсометрическому изображению малая река Ировка протекает в прямоугольнике 23.89 минут длиной (Север-Юг по широте) и 18.89 минут шириной (по долготе). Явные изменения сгиба русла на плане по 290 точкам дают волновые уравнения по данным таблиц влияния широты и долготы от истока до устья на высоту Ировки.

Дополнительно влияние широты на высоту по третьему члену происходит по закону экспоненциального роста. Из-за этого спад высоты возникает в основном из-за уменьшения местной долготы. Это зависит от восточного склона Вятского увала.



Влияние местной долготы



Дополнительно влияние местной широты

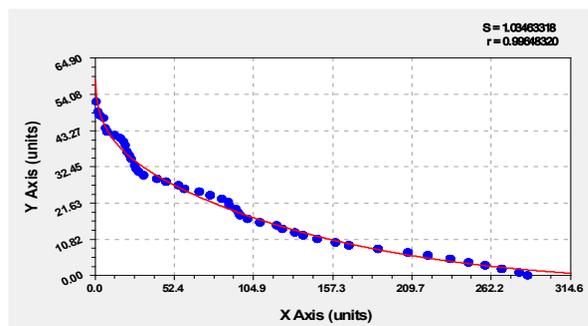
Рис. 1. Влияние долготы и широты от истока до устья на высоту русла реки Ировка

Третий член из таблицы 1 является законом Лапласа (в математике), Мандельброта (в физике), Ципфа-Перла (в биологии) и Парето (в эконометрике). У закона  $a_{4i} = 1$ .

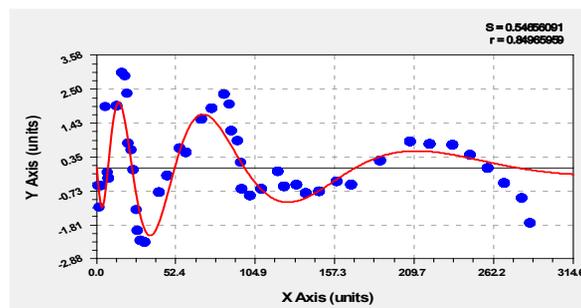
После идентификации общей модели (1) получено 12 вейвлетов рангового распределения высоты (рис. 2).

Первые три вейвлета дали коэффициент корреляции 0.9993 с помощью программной среды CurveExpert-1.40. Первый

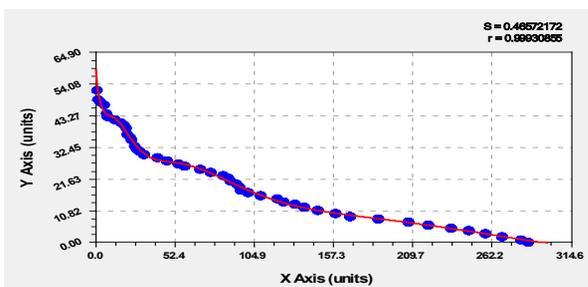
член это и есть модифицированный нами закон Лапласа или Мандельброта [7] при условии  $a_{4i} \neq 1$ . Он показывает экспоненциальное снижение средней высоты двух берегов русла реки. Второй член показывает снижение высоты по биотехническому закону [7] примерно к середине длины реки. В среднем два первых члена составляют тренд изменения линии водной поверхности малой реки (рис. 2). Успокоение рельефа от истока показывают два первых колебания.



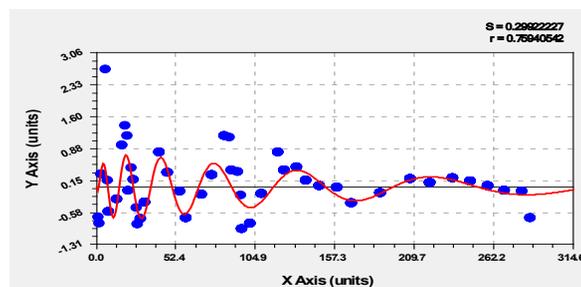
Двухчленный тренд



Колебание



Двухчленный тренд и колебание



Четвертая составляющая

Рис. 2. Графики тренда и двух колебаний рангового распределения высоты реки Ировка

Моделирование расположений приведенной к малой реке высоты разрешило принять 12 вейвлетов с расположением 95.52% точек при погрешности моделирования до 5%. Первый член формулы расположения погрешностей в 290 точках русла реки составляет законом Лапласа экспоненциального спада. Модель (1) для широ-

ты выявило 25 членов, для долготы 18, а для высоты 12 членов.

Первые три члена модели высоты дали коэффициент корреляции 0.9993, уровень адекватности более 0.9. В итоге высота как фактор проявляет определенность в квантовании.

### Библиографический список

1. Георгиева Я.О., Мазуркин П.М. Изменение кривизны русла малой реки Ировка по космическим снимкам // Электронный периодический рецензируемый научный журнал «SCI-ARTICLE.RU». 2019. №75. С. 93–95.
2. Мазуркин П.М. Экономико-статистическое моделирование: учеб. пособие с грифом УМО РАЕ. Йошкар-Ола: Поволжский ГТУ, 2016. 276 с.
3. Мазуркин П.М., Георгиева Я.О. Взмерение координат по спутниковым снимкам вдоль русла малой реки Ировка в Республике Марий Эл // Успехи современного естествознания. 2019. № 12(2). С. 294–300. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37304> (дата обращения: 24.01.2020).

4. *Levers G.I.* Geomorphology. Textbook for academic undergraduate. M.: Yurayt, 2018. 396 p.
5. *Makkaveev N.I.* River bed and erosion in its basin. M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1955. 346 p.
6. Maps of heights, slopes. URL: <http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l> (date of treatment: 02.10.2019).
7. *Mazurkin P.M.* Wavelet Analysis Statistical Data. Advances in Sciences and Humanities. 2015. Vol. 1. №2. P. 30–44.
8. *Rulev A.S., Yuferev V.G.* Mathematical and geomorphological modeling of the erosion landscapes // *Geomorphology RAS*. 2016. №3. P. 36–45.

УДК 528.854

А.П. Герасимов<sup>1</sup>, А.В. Наговицын<sup>2</sup>, alexgeras79@mail.ru

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Филиал ФГБУ «Федеральная кадастровая палата Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии» по Пермскому краю, г. Пермь, Россия

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗЕМЕЛЬНОГО НАДЗОРА

В статье рассматриваются возможности применения данных лидарной съемки для повышения эффективности выявления самовольно занятых земельных участков в целях государственного земельного надзора. Предложен алгоритм автоматического определения нарушений путем обработки плотного облака точек лазерного сканирования с последующей векторизацией и сопоставлением с данными Единого государственного реестра недвижимости.

*Ключевые слова:* лидарная съемка, лазерное сканирование, государственный земельный надзор, геоинформационные технологии, самозахват.

A. Gerasimov<sup>1</sup>, A. Nagovitsyn<sup>2</sup>, alexgeras79@mail.ru

<sup>1</sup>Perm state University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Branch of the Federal cadastral chamber of the Federal service for state registration, cadastre and cartography in the Perm region, Perm, Russia

### USE OF AIR LASER SCAN TECHNOLOGY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF STATE LAND MONITORING

The article discusses the possibilities of using lidar survey data to increase the efficiency of identifying unauthorized land plots for state land supervision. An algorithm is proposed for automatic detection of violations by processing a dense cloud of laser scanning points with subsequent vectorization and comparison with the data of the Unified State Register of Real Estate.

*Keywords:* lidar survey, laser scanning, state land supervision, geoinformation technologies, self-capture, squatting.

Динамичное развитие рынка недвижимости в Российской Федерации предъявляет все большие требования не только к точности определения границ земельных участков и объектов капитального строительства и их визуализации, но и к соблюдению точности их закрепления на местности, что в некоторых случаях может привести к неумышленному захвату территории и в крайних случаях к самозахватам.

Самовольное занятие земельных участков является одним из распространенных нарушений земельного законо-

дательства и затрагивает интересы как государства, так и смежных землепользователей.

Выявление самовольного захвата земель осуществляется при проведении государственного земельного надзора Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр). Контроль за использованием земель с 2016–2017 гг. сотрудники территориальных отделов Росреестра осуществляют при помощи автоматизированной информационной системы «Госземнадзор», особенностью которого стало возможность

использования имеющихся актуальных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), выявлять несоответствия фактических границ земельных участков границам, сведения о которых содержатся в Едином государственном реестре недвижимости (ЕГРН), фиксировать факты самовольного занятия, нецелевого использования или неиспользования земельных участков [5].

Выявление фактов нарушения земельного законодательства проводится должностными лицами, уполномоченными на осуществление государственного земельного надзора в ручном режиме после трансформации данных ДЗЗ и сведениях о границах объектов недвижимости в ЕГРН.

Работа с имеющимися изображениями земной поверхности позволяет зафиксировать исследуемый объект с выявленными нарушениями путём взаимосвязанной обработки космического (спутникового) изображения и картографического материала ЕГРН [6].

К недостаткам такой методики можно отнести малую автоматизацию процесса, повышенную зависимость от субъективного фактора – квалификация сотрудника, его физического и психического состояния. В качестве материалов для анализа используют преимущественно аэрокосмические снимки детального разрешения, но практически все они архивные и актуальность их не соответствует времени изучения. Если использовать материалы аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), то их непосредственному изучению должна предшествовать продолжительная фотограмметрическая обработка. Все описанное, несомненно, сказывается на общей скорости и уровне проработанности анализируемой территории.

В качестве альтернативы такому «умозрительному» выявлению нарушений можно выделить методы, основанные на технологии получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления поглощения и рассеяния света в оптически прозрачных средах или лидарной лазерной съемки [7]. Современный лидар позволяет производить лазерную аэросъемку или воздушное лазерное сканирование (ВЛС) с борта БПЛА оснащенного высокоточными датчиками систем глобального позиционирования и получать 3D пикеты отраженных от объектов ситуации с геодезической точ-

ностью. Обработка сырых лазерных данных, полетных линий, не занимает много времени, а полученное облако точек сразу готово к автоматическому извлечению необходимой информации.

Суть нашего метода состоит в автоматическом выделении из облака лазерных точек тех, которые относятся к слою (уровню) ограждения, здания и сооружения, компьютерному распознаванию линейных объектов и замыкания их до полигонов, автоматическое определение их площади, сравнение площади полученного полигона с полигоном из ЕГРН, и если отклонение больше допустимого, то «подсвечивание» спорного участка на электронной карте (рис. 1).

На начальном этапе желательно (но не обязательно) произвести фильтрацию шумов в виде изолированных друг от друга точек. После чего материал проходит обязательное прореживание (Блок А), во время которого удаляются точки относящиеся к классу земли и классу объектов, находящихся выше уровня ограждений. Такую подчистку лучше делать по матрице ячеек заданного оператором размера или способом «плавающего окна». В ячейке ищется самая «низкая» по отметке точки и далее, по определенному буферу (заданному пользователем), отфильтровываются только значимые.

На следующем этапе (Блок Б) производится определение вертикальных плоскостей путем построения нормалей к каждой точке или любым другим доступным методом. После выделения плоскостей производится построение полигональных 2D моделей с автоматическим расчетом площади. На этом этапе для облегчения поиска граней полигональных структур может использоваться слой полигонов из ЕГРН в качестве маски, а так же в качестве базового контура при замыкании полигонов, особенно в тех случаях, когда физически отсутствует какая-то сторона ограждения.

На последнем этапе (Блок С) производится сопоставление полученных полигонов с эталоном из ЕГРН с расчетом расхождения площадей и визуализацией цветом проблемных площадей.

Задача оператора в такой работе сводится к проверке выделенного компьютером участка по материалам, полученным вместе с лидарной съемкой, а именно аэрофотоснимкам или ортофотопланам изучаемой территории (рис. 2).

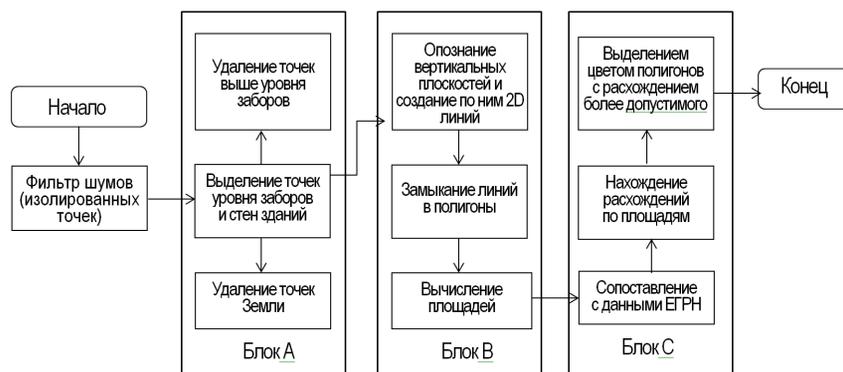


Рис. 1. Блок-схема алгоритма последовательности обработки и анализа данных

Задача оператора в такой работе сводится к проверке выделенного компьютером участка по материалам, полученным вместе с лидарной съемкой, а именно аэрофотоснимкам или ортофотопланам изучаемой территории (рис. 2).

Реализация представленного алгоритма возможна целиком на базе программного обеспечения (ПО) с открытым кодом (например, QGIS), либо каждый блок может обрабатываться отдельно в специальном ПО. Трансформация облака точек и его распознавание может производиться в ПО от производителей лазерных сканеров, таких как Leica, FARO, Riegel, Trimble, либо это могут быть интегрированные в существующие САПР решения, либо самостоятельные разработки [3]. Окончательная же обработка, сопоставление и визуализация может производиться в ГИС программах, таких как ArcGIS, Mapinfo и пр.

Лазерное сканирование является универсальным инструментом получения данных для моделирования объемных величин объекта [2]. Увеличение сведений об объекте недвижимости не только позволяет более оперативно и эффективно выявлять и исправлять имеющиеся реестровые ошибки, но и предоставлять дополнительные возможности для использования информации.

Лазерное сканирование может являться средством решения различных задач [1], в частности при исправлении реестровых ошибок в ЕГРН как в отношении координат земельных участков, так и в отношении координат объектов капитального строительства (далее – ОКС).

Лазерное сканирование обеспечивает

упрощение достижения нормативной точности и удешевление процесса получения данных, увеличение нормативной точности при сохранении издержек. Каждый потребитель сведений ЕГРН заинтересован в высокой точности и достоверности данных.

Воздушное лазерное сканирование позволяет получать данные [4]:

- 1) высокой степени точности (5–15 см);
- 2) с широким охватом местности;
- 3) с возможностью зафиксировать наземные объекты, в том числе сложной формы, на заданной местности;
- 4) в краткие сроки с непродолжительным периодом обработки и на значительные территории. Так один БПЛА со сканирующей аппаратурой на борту способен за один 25-минутный вылет покрывать площадь в 100 га, а в день таких вылетов можно осуществить до 10.

Таким образом, воздушное лазерное сканирование является наиболее быстрым методом получения точной геометрии больших территорий, включая сложные рельефы и районы с густой растительностью. Результатами 3D-съемки является облако точек земной поверхности в сочетании с координатами, что дает возможность построения точной виртуальной 3D-модели местности, включая ОКСы.

Применение вышеназванных технологий в кадастровой деятельности РФ позволит повысить качество и точность предоставляемой информации, а также создать современную систему кадастрового учета и интеграции информации на единой геопространственной основе.

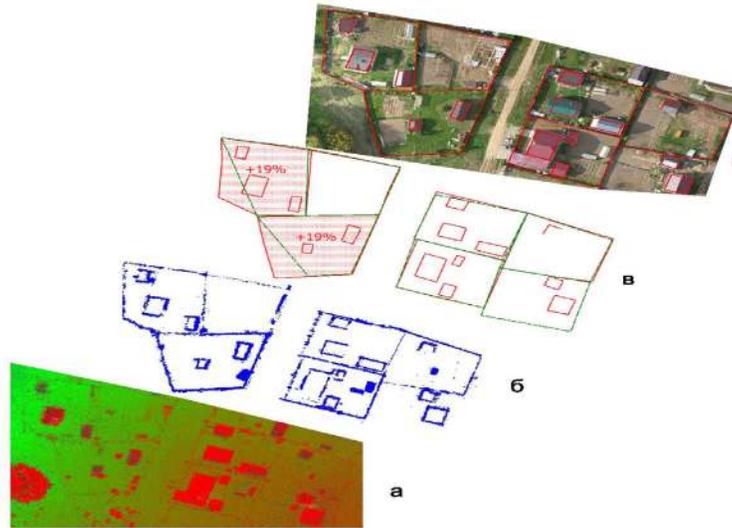


Рис. 2. а) плотное облако; б) прореженное облако;  
в) расхождение выделенных полигонов по площади с полигонами из ЕГРН;  
г) проверка качества выделения полигонов по ортофотоплану

### Библиографический список

1. Карник А.П., Ветошкин Д.Н., Архипенко О.П. Анализ современного состояния государственного кадастра недвижимости в России // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. научн. конгр.: сб. молодых ученых СГГА (Новосибирск, 10–20 апреля 2012г.). Новосибирск: СГГА. 2012. С. 3–11.
2. Малыгина О.И. Трехмерный кадастр – основа развития современного мегаполиса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. научн. конгр.: Междунар. научн. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012г.). Новосибирск: СГГА. 2012. Т.1. С. 129–133.
3. Медведев В.И., Райкова Л.С. Программы для обработки данных лазерного сканирования местности // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2017. № 2(9). С. 10–31.
4. Середович В.А., Алтынцев М.А. Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов //Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. научн. конгр.: Междунар. научн. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013г.). Новосибирск: СГГА. 2013. Т.3. С. 134–143.
5. Смирнов М.С. Современные методы надзора за соблюдением земельного законодательства // Земельный вестник Московской области. 2016. №11. URL: <http://zemvest.ru/jurnal/arhiv-jurnala/11-2016/06/> (дата обращения: 28.02.2020).
6. Шумаева К.В. Внедрение модуля данных ДЗЗ в ФГИС ЕГРН // Молодежь и наука XXI века: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. 13 декабря 2018 г. Ульяновск: УлГАУ. 2018. Том I. С. 420–423.
7. Якуба Д. Ю., Мамелин Ю. В., Чепрасова А. С. Значение лазерного сканирования для контроля окружающей среды // Молодой ученый. 2017. №23. С. 97–100. URL: <https://moluch.ru/archive/157/44267/> (дата обращения: 28.02.2020).

Е.В. Глухова, Е.И. Голубева, Н.Н. Луговой, evglukhova@gmail.com  
 Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

## НАЗЕМНЫЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ

В статье рассматриваются современные процессы восстановления растительности на побережье Терского берега Белого моря в устье Варзуги на основе полевых и дистанционных методов исследования. В основу анализа положены результаты исследования восстановления растительного покрова деградированных прибрежных экосистем, связанные преимущественно с длительной историей освоения региона и различными видами природопользования и их интенсивностью. При полевых исследованиях состояния формирующихся на месте песчаных массивов сосновых лесов использованы различные географические методы – фитоценотические, морфометрические, биохимические и дистанционные, полученные с БПЛА. Результаты исследования позволили выбрать наиболее информативные показатели состояния формирующихся с 1980-х годов сосновых лесов. В совокупности с использованием результатов съемки с беспилотных летательных аппаратов удастся получать оперативную и достоверную информацию и проводить оценку состояния насаждений и мониторинг процесса фитомелиорации.

*Ключевые слова:* нарушенные экосистемы, фитомелиорация, песчаные массивы, данные беспилотной съемки.

E. Glukhova, E. Golubeva, N. Lugovoy, evglukhova@gmail.com  
 Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## GROUND AND REMOTE METHODS IN THE STUDY OF VEGETATION RESTORATION ON THE TERSK COAST OF THE WHITE SEA

The article deals with the current processes of vegetation restoration on the coast of the Tersky coast of the White sea at the mouth of the Varzuga river on the basis of field and remote research methods. The analysis is based on the results of a study of restoration of vegetation cover of degraded coastal ecosystems, mainly related to the long history of development of the region and various types of nature use and their intensity. Various geographical methods – phytocenotic, morphometric, biochemical and remote methods obtained from unmanned aerial vehicles were used in field studies of the state of pine forests formed on the site of sand massifs. The results of the study allowed us to select the most informative indicators of the state of pine forests that have been forming since the 1980s. Together with the use of survey results from unmanned aerial vehicles, it is possible to obtain prompt and reliable information and assess the state of plantings and monitor the process of phytomelioration.

*Keywords:* disturbed ecosystems, phytomelioration, sands, unmanned aerial vehicles.

Деградация земель в районах с экстремальными природными условиями происходит вследствие различных факторов, включая изменения климата и нерациональную антропогенную деятельность. Надо отметить, что этот процесс опустынивания наблюдается не только в аридных районах, где захватывают огромные территории, но и на побережьях северных морей. Изучение деградации земель в условиях Крайнего Севера имеет особое значение, поскольку экосистемы здесь легко уязвимы, а процессы естественного восстановления затягиваются на многие десятилетия. Настоящее исследование посвящено изучению современных процессов восстановления растительного

покрова деградированных прибрежных экосистем Терского берега Белого моря с помощью полевых и дистанционных методов.

Фитомелиорация подвижных песков на побережье Белого моря началась в начале 1980 - х годов Полярно-альпийским ботаническим садом-институтом КНЦ РАН и Терским лесхозом. За восьмилетний период экспериментальных работ было заложено 110 пробных площадей. На площади 5,8 га высажено около 50 тысяч саженцев древесных пород, испытаны различные виды растений – фитомелиорантов [4]. На песках Терского побережья основной лесобразующей культурой при фитомелиорации был выбран вид местной флоры

- сосна обыкновенная лапландская (*Pinus sylvestris* L.), степень приживаемости которой оказалась самой высокой по сравнению с другими видами [1].

С помощью наземных исследований нам удалось:

1. Изучить особенности микроклимата, характер рельефа и содержание элементов минерального питания в почве разновозрастных насаждениях *Pinus sylvestris* L.

2. Описать структуру и флористическое разнообразие сформировавшихся разновозрастных сообществ из сосны *Pinus sylvestris* L.

3. Выявить наиболее информативные показатели эффективности фитомелиорации и стадии восстановления сосновых лесов.

В качестве дистанционного метода исследования динамики процессов восстановления растительности и оценки современного состояния растительного покрова применяется аэрофотосъёмка с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Такая аэрофотосъёмка даёт возможность получить данные в нескольких видах: перспективные фотоизображения, дающие возможность визуальной оценки состояния ландшафта с нужного ракурса; ортофотопланы, на основе которых составляются карты состояний компонентов экосистем; цифровые модели местности (ЦММ) позволяющие проводить морфометрические измерения форм рельефа и древесной растительности [2].

Результаты исследований показывают хороший рост и продолжающееся активное восстановление растительности на дегра-

дированных землях.

Анализ рассмотренных показателей состояния формирующихся сосновых лесов позволил выбрать наиболее информативные, на основе которых можно проводить оценку состояния насаждений и мониторинг процесса фитомелиорации: морфометрические (высота деревьев, диаметр ствола на высоте 1,3 м, ежегодный прирост), фитоценоотические (экобиоморфный состав и флористическое разнообразие), биохимические (соотношение пигментов) [3].

Наиболее заметные изменения в ходе роста происходят у деревьев старше 15 лет, у деревьев, растущих в группе (рис. 1). Как видно, важное значение имеет положение растений в рельефе. Изменения показателей, характеризующих состояние и развитие растительных сообществ при фитомелиорации на Терском побережье Белого моря, позволили выделить три стадии формирования сосновых лесов:

первая стадия – приживание сосновых насаждений (примерно до 5 летнего возраста);

вторая – усиленный рост и формирование сообществ (с 5-летнего до 10–15 летнего возраста);

третья – формирование сообществ, близких к естественным (с 15–20-летнего возраста), которые, даже в экстремальных условиях Севера приближаются к естественным.

Результаты наземных исследований по эффективности фитомелиорации были дополнены данными, полученными с применением аэрофотосъёмки с БПЛА в 2017–2018 гг.



Деревья, растущие в группа (10 лет)



Деревья в межбугристых понижениях (10 лет)



Ортофотоплан с БПЛА

Рис. 1. Структура сосновых насаждений на деградированных землях

Для дальнейшего мониторинга динамики деградационных процессов, состояния и роста сосновых насаждений на Терском берегу Белого моря необходимо использовать комплекс данных наземных и дистанционных исследований.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ (проект 18-05-60221).*

### **Библиографический список**

1. Казаков Л.А. Кузоменские пески. Мурманск: Изд-во Гос-комитета по охране окр. среды Мурманской обл., 2000. 120 с.
2. Новые исследования Терского берега Белого моря: геохронология, стратиграфия, палеосейсмология, история развития побережья в позднем плейстоцене и голоцене / Н.Е. Зарецкая [и др.] // Материалы Всероссийской научной конференции «Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология»: сборник статей. «КДУ», «Университетская книга». Москва. 2018.
3. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на крайнем севере / В.К. Жиров [и др.]. М.: Наука, 2007. 166 с.
4. Федорков А.Л. Адаптация хвойных к стрессовым условиям Крайнего Севера. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 100 с.

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ АОТ ПО ДАННЫМ VIIRS, ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСПУТНИКОВ

ПО «СКАНЭКС Терминал» интегрирует алгоритмы обработки данных со спутников метеорологического назначения, получает на их основе космические изображения и имеет возможность публиковать их на веб-сервисах в режиме близком к реальному времени. На базе архивных данных со спутника Suomi NPP за 2014–2018 гг. из набора EDR был проанализирован продукт восстановления аэрозольной оптической толщины. Выполнено сравнение полученных значений с измерениями на двух станциях AERONET. Полученный результат позволяет рекомендовать использовать данный тематический продукт для оперативного экомониторинга с учетом ряда ограничений.

*Ключевые слова:* аэрозольная оптическая толщина (АОТ), аэрозольные частицы  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , тематические изображения, оперативный мониторинг, ПО «СКАНЭКС Терминал».

O. Gosudareva, gosudareva@scanex.ru  
SCANEX, Moscow, Russia

## RETRIEVAL OF AOT USING VIIRS DATA, REAL-TIME MONITORING BY MEANS OF THEMATIC PRODUCTS BASED ON DATA FROM METEOROLOGICAL SATELLITES

«SCANEX Terminal» software integrates the algorithms to process data from meteorological satellites, generates satellite imagery based on these data and offers to publish them on web-sites in near real-time mode. In the study, the spatial variability of aerosol optical thickness (AOT) was evaluated on the basis of Suomi NPP historical data for 2014–2018. The obtained values have been compared to the measurements of two AERONET stations. The result suggests that this thematic product can be recommended for real-time environmental monitoring, subject to a number of restrictions.

*Keywords:* Aerosol optical thickness (AOT),  $PM_{2,5}/PM_{10}$  aerosol particles, thematic data, real-time monitoring, «SCANEX Terminal» software.

В рамках внедрения в оперативный мониторинг суши, акватории и атмосферы тематических продуктов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) были проведены исследования восстановления аэрозольной оптической толщины (АОТ) по данным радиометра VIIRS, установленного на борту космического аппарата (КА) Suomi NPP. Данные уровня обработки L2 (тематические продукты) являются набором данных EDR (environmental data record): восстановление аэрозольной оптической толщины, параметр Ангстрема, который качественно характеризует распределение частиц по размерам и концентрацию взвешенных в воздухе веществ. Пространственное разрешение – 6х6 км (включает 8х8 пикселей с пространственным разрешением 750 м). Аэрозольная оптическая толщина напрямую восстанавливается на длине волны 550 нм (AOT550), используя ожидаемое отношение между отражательной способностью поверхности в синем и красном каналах. Отметим, что точность

восстановления АОТ существенно зависит от используемых оценок отражательных свойств подстилающей поверхности. При сравнении данных для пригородной и городской территорий (выборка осуществлялась по данным «СКАНЭКС» за период 2014–2018 гг.) значения АОТ оценивались завышенными над городской территорией на величину 0,2 +/-0,05. Однако, с учетом данной поправки, над мегаполисом удавалось наблюдать «аэрозольный купол»: значения АОТ фиксировались до 0,6–0,7 преимущественно в юго-восточной части города [1]. Точность восстановления АОТ VIIRS контролировалась по наземным данным фотометра CIMEL на двух станциях AERONET: метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) (55,707 с. ш., 37,522 в. д.) и станции Звенигород (55,695 с. ш., 36,775 в. д.). В алгоритме восстановления АОТ VIIRS существуют дополнительные неопределенности, связанные с выбором аэрозольной модели. Наибольшие ошибки в определении АОТ наблюдаются при

выборе алгоритма VIIRS модели пылевого аэрозоля [1].

Алгоритм восстановления АОТ имеет ряд ограничений: АОТ не восстанавливается над водной поверхностью, над территорией с высокой отражательной способностью (пустынные, заснеженные), в условиях облачности.

Аэрозольные частицы оказывают значительное влияние на качество приземного воздуха: частицы малого размера, меньше 2,5 мкм, попадая в дыхательные пути, оказывают отрицательное влияние на здоровье человека, обводненные аэрозольные частицы препятствуют выпадению дождей и др. Учитывая важность данного параметра, организованы наземные регулярные наблюдения в городах за приземной концентрацией частиц с диаметром меньше 2,5 мкм и 10 мкм ( $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ). Отмечается, что распределение  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в нижних слоях атмосферы характеризуется высокой изменчивостью в связи с более высокой чувствительностью этих характеристик к приземным эмиссиям по сравнению с АОТ, определяемой для всего атмосферного столба. Большое число

исследований посвящено анализу связи между АОТ и концентрациями  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ . На территории Москвы в теплый период года при активном конвективном перемешивании связь между АОТ и  $PM_{2,5}$  тесная и статистически значимая.

Одна из задач включения тематических продуктов в мониторинг территорий – выявление возможности использования спутниковых данных для оценки пространственно-временного распределения объектов и процессов, оказывающих влияние на окружающую среду: аэрозоля в атмосфере, взвесей и фитопланктона в прибрежных акваториях, состояния растительности, степень загрязнения снежного покрова, очаги пожаров на суше и пр.

Программное обеспечение «СКАНЭКС Терминал», обрабатывая получаемые данные с КА метеорологического назначения принятые на свою сеть наземных станций, выполняет генерацию изображений по продуктам стандартного и тематического уровня обработки, формирует точки пожаров и пр. в режиме близком к реальному времени; осуществляет их публикацию на веб-сервисах или передачу по FTP.

### Библиографический список

1. Государева О.И., Жданова Е.Ю. О возможностях применения данных метеорологических спутников для исследования атмосферы // Земля из Космоса. 2019. №26. С. 30–34.
2. Жданова Е.Ю., Чубарова Н.Е. Пространственная изменчивость аэрозольной оптической толщины на территории Московского региона по спутниковым и наземным данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т.15. №7. С. 236–248.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (КВАДРОКОПТЕРА) С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В статье рассматриваются преимущества и методика использования беспилотного летательного аппарата (квадрокоптера) при составлении цифровых ортофотопланов, текстурированной 3d-модели местности и цифровых карт высот. Приведены примеры использования квадрокоптера при изучении русловых размывов на территории Удмуртии.

*Ключевые слова:* квадрокоптер, цифровые технологии, Удмуртская Республика.

I. Grigoriev, I. Rysin, ivanrig@yandex.ru

*Udmurt State University, Izhevsk, Russia*

## USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE (QUADROCOPTER) USING DIGITAL TECHNOLOGIES IN GEOGRAPHICAL RESEARCH

The article discusses the advantages and methods of using an unmanned aerial vehicle (quadrocopter) in the preparation of digital orthophotos, textured 3d terrain models and digital elevation maps. Examples of the use of a quadrocopter in the study of riverbed washouts on the territory of Udmurtia are given.

*Keywords:* quadrocopter, digital technologies, Udmurt Republic.

Использование геоинформационных технологий для получения планового и высотного положения различных объектов, как природного, так и антропогенного происхождения, позволяет получить точность, соизмеримую с наземными методами. В последние годы в географических исследованиях все чаще используются космические снимки и аэрофотоматериалы. Снимки, полученные с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в отличие от космических, имеют сверхвысокое пространственное разрешение и высокую оперативность, но при этом покрывают съемкой относительно малые площади. Высотой полета и фокусным расстоянием камеры определяется масштаб получаемого снимка. При этом необходимо отметить, что доступность БПЛА и возросшее качество цифровых камер привели к резкой активизации их использования для проведения различных географических исследований. Конечным продуктом использования БПЛА является трехмерное облако точек, производными которого являются цифровые модели местности (ЦММ), рельефа (ЦМР) и ортофотопланы в мировой системе координат [1].

Анализ применения данных с БПЛА в отраслевой структуре географической науки по публикациям выявил, что наи-

более часто БПЛА используется при исследованиях биогеографической направленности. Они нашли широкое применение в изучении почвенно-растительного покрова, особенно при проведении работ по преципитатному (точному) земледелию. Кроме того, среди множества направлений использования БПЛА можно отметить кадастровые и картографо-геодезические работы, лесопаталогические и лесотаксационные исследования, гидрологические изыскания. Проведенные исследования показывают, что результаты аэрофотосъемки, полученные с использованием недорогих БПЛА, если не лучше, то не хуже или сопоставимы по качеству с данными традиционных пилотируемых бортовых камер. Подобные работы основываются на использовании глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), чаще всего GPS. Точное позиционирование результатов фотограмметрической обработки аэрофотоснимков позволяет выполнять работы по мониторингу объемных и пространственных изменений любого изучаемого объекта, включая рельеф местности. Применение беспилотных устройств наиболее актуально для тех отраслей, где необходима как мобильность, так и высокое качество информации. Для решения этих задач используются специализированные аэрофотосъемочные комплексы (АФК).

Существует несколько методов геопривязки аэрофотоснимков. Первым и наименее трудозатратным является использование встроенных в БПЛА модулей GPS. Однако погрешность позиционирования в данном случае может достигать 2–3 метров. Вторым способом является позиционирование с помощью специальных марок, координаты которых получены с помощью RTK-GPS приемников. Третий способ представляет собой модификацию второго, здесь в качестве источника получения координат марок берется тахеометрия. В таком случае достигается миллиметровая точность позиционирования, но требуется проведение дополнительных работ по геодезическому обоснованию, что является слишком трудозатратным, особенно на больших территориях.

Кроме плановой аэрофотосъемки, где угол между главной оптической осью камеры и отвесной прямой менее  $3^\circ$ , может осуществляться и перспективная аэрофотосъемка с углами больше  $3^\circ$ . Применение для картографических целей перспективных снимков не допускается из-за существенных искажений в геометрии сцены, что затрудняет или делает невозможным точные измерения. Тем не менее, и перспективные снимки имеют географическую ценность: позволяя рассматривать объекты под определенным углом по ним довольно легко можно визуально распознать и идентифицировать объекты [2]. Проведение такой съемки уменьшает долю мертвой зоны, которая получается на кадрах при съемке в надири и способствует лучшему пониманию особенностей рельефа.

В Удмуртском государственном университете (УдГУ) БПЛА (DJI Phantom 4) появился сравнительно недавно, но, тем не менее, уже активно используется в ряде исследований. В частности, это создание картографической основы для проведения кадастровых и геодезических работ, исследование размыва береговой линии Воткинского водохранилища, изучение овражной эрозии и русловых размывов, оползневых процессов, использование в природоохранной деятельности и т.д.

Данный квадрокоптер позволяет производить съемочные работы на высоте до 500 м, при этом скорость его полета достигает 72 км/ч. На борту установлена камера с сенсором на 12,4 Мп, позволяющая производить фотографирование с разрешением 4000x3000 пикселей. Квадрокоптер оснащен роботизированным подвесом камеры, который также снабжен амортиза-

торами для устранения вибрации камеры при съемке во время полета. Оснащается встроенными модулями GPS и ГЛОНАСС. Управление квадрокоптером производилось в автономном режиме путем загрузки полетного задания в контроллер дрона. В качестве контроллера можно использовать любой смартфон или планшет с операционными системами «Android» или «iOS» с предустановленными программами управления квадрокоптером. В нашем случае полетное задание задавалось с помощью приложения DroneDeploy американской компании DroneDeploy. Преимущество данного приложения состоит в том, что оно работает на всех современных мобильных платформах, при этом создание полетного задания не вызывает проблем даже при первом запуске.

Методика обрабатывалась на базе биогеоэкологической станции «Фертики» УдГУ в Воткинском районе Удмуртской Республики в теплый период 2019 г. Настройки полетов в большинстве случаев были следующими: полет на высоте 60 м, продольное перекрытие снимков – 80%, поперечное – 70%, угол наклона камеры  $90^\circ$ , скорость полета 15 м/с, а площадь облета – около 7,5 га. В результате облета по маршруту получается в среднем около 150 фотоснимков, разрешением 12 Мп. В качестве опорных точек, помимо реперных пунктов, были использованы координаты элементов ситуации существующей цифровой модели местности – углы построек и столбы линий электропередач.

По умолчанию квадрокоптер фиксирует местоположение каждого снимка в системе координат WGS-84 с точностью порядка 2–3 метра. Понятно, что подобное значение точности является неудовлетворительным. Можно осуществлять привязку, скалывая координаты с объектов ситуации существующих карт и планов, но и в этом случае точность не поднимается выше 30–40 см. Нами также были проанализированы возможности точной привязки снимков и ортофотопланов к региональным местным системам координат, в частности МСК-18. Наилучшим способом на данный момент является привязка по наземным маркерам, хорошо читающимся со снимков, координаты которых получены путем использования ГНСС-приемников. В данном случае точность местоположения снимков достигает 0,5–1,0 см.

По итогам проведенных полевых работ и последующей камеральной обработки определены оптимальные условия выполнения съемочных работ с помощью ква-

дроптера DJI Phantom 4: высота залета 50–100 м, продольное перекрытие снимков - не менее 80%, поперечное – не менее 70%. Наземные марки должны располагаться на расстоянии не более 100 метров друг от друга. При выполнении данных условий качество итогового ортофотоплана масштаба 1:500 – 1:1000 будет оптимальным.

Не менее важным этапом является камеральная обработка полученных фотоснимков. Создание ортофотопланов и карт высот объектов осуществляется с помощью программы Agisoft Photoscan Professional 1.4. Обработка в данной программе проводится в полуавтоматическом режиме (за исключением привязки снимков к наземным маркам).

На начальном этапе обработки проводится выравнивание фотографий друг относительно друга. Выравнивание проводилось с использованием Exif-данных фотографий, в которых содержалась информация о координатах центра снимка в системе координат WGS-84. Далее необходимо выделить на снимках опорные точки (в случае их наличия) с указанием координат их центров. После этого рассчитывается классифицированное плотное облако точек, которое содержит в себе данные о точках, принадлежащих к различным классам, например, «поверхность», «средняя растительность», «низкая растительность», «шум» и т.д. Так, для построения цифровой модели рельефа необходим

только набор точек класса «поверхность», прочие точки исключаются из выборки. В нашем случае остаются все классы точек. На их основе создается «карта высот» объекта. Конечным результатом обработки является цифровой ортофотоплан (рис. 1). Результатом обработки является цифровая карта высот (рис. 2), текстурированная полигональная 3d-модель местности (рис. 3) и ортофотоплан с возможностью их дальнейшего экспорта в различные форматы ГИС и САПР (MapInfo, Панорама, ArcGis, AutoCad, Credo и др.).

В дальнейшем планируется использование квадрокоптера для точного определения линейных и площадных скоростей роста оврагов и боковых размывов рек. В частности, летом 2019 г. проведено исследование возможностей данной технологии на примере ключевого участка на р. Сива по определению русловых размывов. В итоге наглядно выявляются нюансы фиксирования береговой линии при проведении тахеометрической съемки – спрямление, приводящее в итоге к неточностям в подсчете линейного и площадного размывов в сторону их уменьшения на 10–20%. Проведение разновременных залетов позволит с высокой точностью отслеживать динамику различных геолого-геоморфологических и гидрологических явлений, ландшафтов и антропогенных объектов.



Рис. 1. Ортофотоплан биогеоэкологической станции «Фертики»

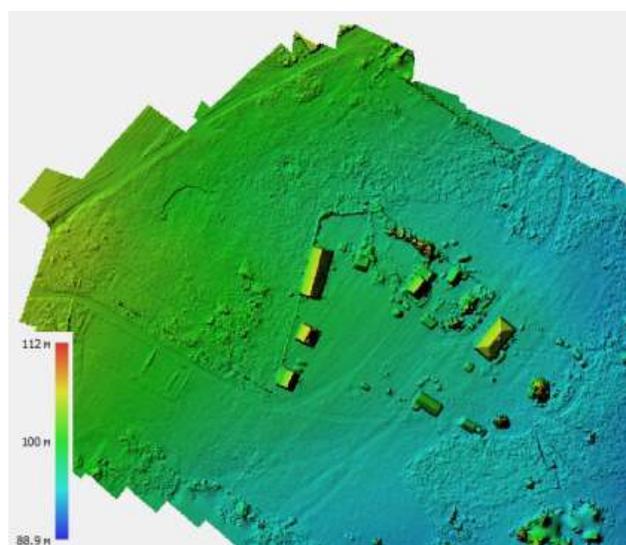


Рис. 2. Цифровая модель рельефа (карта высот)



Рис. 3. Текстурированная цифровая модель местности

### Библиографический список

1. Гафуров А.М. Возможности использования беспилотного летательного аппарата для оценки почвенной и овражной эрозии // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2017. Т.159, кн. 4. С. 654–667.
2. Михайлов А.П., Чибуничев А.Г. Фотограмметрия. М: МИИГАиК, 2016. 294 с.

УДК 551.435.744: 528.854: 528.2/5: 528.71

Б.О. Гуржапов, Б.З. Цыдыпов, bair.gurzhapov@yandex.ru

*Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН, г. Улан-Удэ, Россия*

### ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ДЕФЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В УБУР-ДЗОКОЙСКОЙ КОТЛОВИНЕ СЕЛЕНГИНСКОГО СРЕДНЕГОРЬЯ

Представлены результаты исследований динамики подвижных незакрепленных эоловых форм рельефа. Оценка выполнена дистанционными методами с использованием данных спутниковой съемки Landsat. На ключевом участке (Убур-Дзокоейская котловина, центральная часть Селенгинского среднегорья) в период с 2014 г. по настоящее время в полевых условиях проведены наблюдения за трансформацией отдельных форм эолового рельефа с использованием тахеометра, беспилотного летательного аппарата и лазерной сканирующей станции. Получены высокоточные цифровые модели рельефа, позволяющие установить скорость и направленность изменений в эоловом рельефе отдельных территорий.

*Ключевые слова:* дюны, барханы, эоловые процессы, Селенгинское среднегорье, цифровая модель рельефа, беспилотный летательный аппарат.

B. Gurzhapov, B. Tsydyпов, bair.gurzhapov@yandex.ru

*Baikal Institute of Nature Management of Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Ulan-Ude, Russia*

### ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF DEFLATION PROCESSES IN THE UBUR-DZOKOI HOLLOW OF THE SELENGA MIDDLE MOUNTAIN

Results of investigations on the dynamics of moving, unfixed aeolian relief forms are presented. The assessment was carried out by remote sensing data (Landsat imagery). From 2014 to the present time field observations of the transformation of stand-alone aeolian relief forms were carried out using tacheometer, unmanned aerial vehicle and laser scanning station at the key site in the Ubur-Dzokoi hollow in the central part of the Selenga middle mountains. High-precision digital elevation models have been obtained, which make it possible to determine the speed and direction of changes in the aeolian relief of certain areas.

*Keywords:* dunes, barkhans, aeolian processes, Selenga middle mountain, digital elevation model, unmanned aerial vehicle.

Золовые процессы в Прибайкалье и Забайкалье наиболее активно протекают на развееваемых песках, встречающихся по долинам рек Селенги, Чикоя, Уды, Худуна, Кижинги, Тугнуя [4; 7]. Образование и развитие дефляционных и аккумулятивных форм эолового рельефа различных песчано-аккумулятивных образований обусловлено, в первую очередь, природными факторами, такими как легкий механический состав грунтов, ветры, особенности увлажнения. Вместе с тем, активное влияние на интенсификацию эоловых процессов оказывают антропогенные факторы – уничтожение лесов вырубками и пожарами, перевыпас скота, распашка земель с распространением песчаных отложений.

Изучение подвижных песков и эоловых процессов в Селенгинском среднегорье началось еще в XVIII в. Так, П.С. Паллас в своих трудах по изучению Российской империи описывает «летучие» пески по долинам крупных рек [8]. Данные по пескам приводятся в отчетах Кяхтинско-Троицко-савского отделения Русского географического общества. Схемы распространения песчаных отложений с выделением участков интенсивной дефляции составлены В.А. Обручевым для обширной территории, включающей российскую часть Селенгинского среднегорья [6]. В XX в. исследования эоловых процессов на территории носили системный характер. Связано это было с освоением целинных и залежных земель. В трудах А.Д. Иванова приведены наиболее подробные для этого времени описания эоловых песков Селенгинского среднегорья [4]. Многочисленные работы по данной тематике во второй половине XX в., выполнявшиеся как научными коллективами, так и профильными ведомствами, были направлены на изучение динамики и возможностей закрепления подвижных песков на сельскохозяйственных землях. В новейший период большинство работ по пескам Селенгинского среднегорья посвящены исследованию динамики эолового рельефа, особенностям закрепления растительностью, современному состоянию отдельных песчаных массивов и участков песков с локальным антропогенным опустыниванием. Широко известны работы иркутских ученых О.И. Баженовой [1] и Д.В. Кобылкина [5]. В последние годы для изучения эоловых процессов все более активно стали применяться дистанционные методы исследования.

В работе представлены результаты изучения отдельных очагов развития эолового рельефа и эоловых процессов в

Убур-Дзокойской котловине Селенгинского среднегорья, в районе с выраженным барханно-дюнным рельефом. Применяемый подход отличается широким использованием дистанционных методов и современного высокоточного оборудования.

Исследование для разработки комплексной методики оценки интенсивности эоловых процессов проводится с 2014 г. Данные дистанционного зондирования Земли дополняются наземными полевыми измерениями. На первом этапе по серии разновременных спутниковых снимков и картографических данных изучены ландшафты котловины, выделены основные участки развития эоловых процессов. Для выявления ареалов распространения незакрепленных растительностью подвижных песков Убур-Дзокойской котловины загружен космоснимок сверхвысокого пространственного разрешения в композите «натуральные цвета» из бесплатного картографического Интернет-ресурса SAS.Планета. Ареалы песков получены в результате автоматизированного дешифрирования изображения с помощью алгоритма неконтролируемой классификации ISODATA. Суммарная площадь песчаных образований по данным анализа снимков составила 2,3 км<sup>2</sup>. В результате предварительного изучения выбран ключевой участок для дальнейших исследований эоловой миграции.

Указанный участок с подвижными эоловыми образованиями находится в межгорном понижении на второй надпойменной террасе р. Селенги. Представляет собой песчаную грядку длиной 2,5 км, ориентированную с ССЗ на ЮЮВ (азимут 357°). Южная часть гряды упирается в лесополосу из ив, высаженных на барханных песках в 1972–1979 гг. [2]. Изучаемый бархан расположен в 1,2 км к юго-востоку от с. Дзэбэн. Его площадь составляет 6570 м<sup>2</sup>, длина – 180 м, ширина – 86 м, максимальная высота – 17 м. В плане он W-образен, представляет собой две сросшиеся параболические дюны, образованные пассатным типом ветра. От соотношения направлений дефляционно-опасных ветров зависит характер перемещения песчаных и пылеватых наносов, а также параметры и динамика образуемых форм. Скорость и направление ветра оказывают значительное влияние на перемещение эоловых форм рельефа. По данным ближайшей метеостанции Новоселенгинск рассчитаны среднемесячные скорости и направления ветров. Повышенные скорости ветра отмечены в весенний и осенний периоды. В

это время преобладают ветры северо-западного направления.

В ходе полевых наблюдений описаны характерные комплексы форм рельефа, уточнены ландшафтные карты. На первом этапе границы и площади смещения передней части подошвы одиночного бархана определены тахеометрической съемкой. При обработке полученных результатов на основе разновременных высокоточных цифровых моделей рельефа (ЦМР) одиночных барханов, полученных с помощью съемки с борта беспилотного летательного аппарата (БПЛА) построены балансовые модели динамики песчаных образований. Для съемки с БПЛА и геодезическими методами были заложены контрольные точки для наблюдения за динамикой песчаных образований ключевых участков.

Съемка с использованием тахеометра, лазерной сканирующей станции и БПЛА проводилась регулярно в теплое время года, начиная с 2014 г. Для определения динамики границы «подошвы» одиночных барханов применен метод повторной тахеометрической съемки с постоянно за-

крепленных позиций. Обработка данных проведена в ПО CREDO ТОПОПЛАН. В ПО Agisoft PhotoScan созданы ЦМР одиночных барханов. В ПО GNU Octave рассчитаны объемы песка бархана на основе полученных моделей рельефа. Объемы песка определены методом дискретного интегрирования значений высоты относительно подошвы бархана с последующим умножением на размерность пиксела (ЦМР получены в узлах регулярной сетки).

В результате обработки полученных материалов установлено, что за год отдельные барханы в Убур-Дзокойской котловине перемещаются в среднем на 1 м. Установлено, что данные по динамике подвижных форм эолового рельефа, полученные с использованием современного прецизионного оборудования, отличаются более высокой точностью, по сравнению с теми, что получены традиционными линейными методами измерений. Предложенная в работе комплексная методика оценки интенсивности эоловых процессов позволяет быстро и точно анализировать динамику эоловых форм и может эффективно использоваться при изучении миграции и на других территориях.

*Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН и при поддержке гранта РФФИ № 19-55-53026.*

### Библиографический список

1. Баженова О.И., Кобылкин Д.В. Динамика процессов деградации почв в бассейне Селенги в земледельческий период // География и природные ресурсы. 2013. №3. С. 33–40.
2. Будаев Х.Р., Дамбиев Э.Ц. Закрепление подвижных песков в Бурятии // География и природные ресурсы. 1981. №2. С. 146–149.
3. Выркин В.Б. Эоловое рельефообразование в Прибайкалье и Забайкалье // География и природные ресурсы. 2010. №3. С. 25–32.
4. Иванов А.Д. Эоловые пески Западного Забайкалья и Прибайкалья. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. 232 с.
5. Кобылкин Д.В., Голубцов В.А., Батоцыренов Э.А. Динамика эолового рельефообразования в центральной части Селенгинского среднегорья // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2017. Т. 20. С. 43–52.
6. Обручев В.А. Сыпучие пески Селенгинской Даурии и необходимость их скорейшего изучения (1905) // Избранные работы по географии Азии. М.: Географгиз, 1951. С. 161–171.
7. Олюнин В.Н. Происхождение рельефа возрожденных гор. М.: Наука, 1978. 276 с.
8. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российского государства. Часть 3, половина 1. Санкт-Петербург: Императорская академия наук, 1778. 655 с.

## ПЛИТОЧНЫЕ КАРТОИДЫ: PRO ET CONTRA

В статье рассматривается возникновение и сущность нового популярного направления визуализации географических данных – так называемые «плиточные карты». Такие карты состоят из фигур одинакового размера и формы – квадратов или шестиугольников – располагаемые в соответствии с относительным географическим положением реальных территорий.

*Ключевые слова:* плиточные карты, картоиды, карты-анаморфозы, геоинфографика.

A. Elatskov, elatskov@mail.ru

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

## TILE GRID MAPS: PRO ET CONTRA

The article deals with the development of a new popular thematic direction in the visualization of geographic data, known as “Tile Grid Maps”. In tile maps, map spaces are given the same size and shape – a square or a hexagon – and they are arranged to approximate their geographical position in the real world.

*Keywords:* tile map, telegram, cartogram, schematic map, geographic visualization.

*Введение.* В современном мире объем информационных потоков необработанных данных превышает возможности отдельного человека по их анализу. Один из способов преодоления проблемы – использование картографического метода исследования. Всё большую роль играют автоматизированное картографирование и ГИС. Они позволяют отображать информацию в новых визуальных формах. С начала 2010-х гг. за рубежом получили популярность так называемые «плиточные карты» или *Tile Grid Maps*. Их активно используют СМИ. Отечественные профессиональные географы воспринимают их пока со скепсисом, что не удивительно. Ведь регионы, отображаемые на таких «картах», теряют географическую форму и позицию. Русское название таких изображений пока не устоялось. Лучше всего в данном случае подойдет, видимо, понятие «(гео)картоид», введенное Б.Б. Родоманом [2]. В более широком современном контексте можно говорить и о разновидности (гео)инфографики.

*Tile grid maps: новый подход?* Несколько десятилетий назад сложилась практика применения так называемых *анаморфоз* или *анаморфированных карт* (*cartograms*<sup>1</sup>), где площади районов искажаются в зави-

симости от некоторого показателя<sup>2</sup>. Анаморфозы – это еще не картоиды, поскольку математически трансформируются из географических карт (как бы дополняя географическую проекцию) [2]. Но у них есть существенный недостаток: показатель, выраженный таким способом, невозможно адекватно измерить, путаясь в причудливых анаморфированных формах. Так, на эквидемической (пропорциональной населению) анаморфированной карте мира Россия изображается узкой длинной полоской непонятной площади. Малые же страны вообще исчезают. В специальной заметке сотрудник редакции *New York Times* объяснял, почему издание отказалось от идеи показать голосование за Brexit анаморфозой вместо классической картосхемы [4]. Он назвал пять причин, одна из которых – запутанность для читателей, не знакомых с географией.

Способ решения проблемы – отказ от анаморфированных форм и переход к масштабируемым фигурам. Каждая страна становится, например, кругом соответствующей площади (картоид Дорлинга / *Dorling cartogram*). Только вот построить такую анаморфозу, не нарушая принципа сохранения смежности, можно лишь для нескольких соседних регионов. Еще одна

1 В английском языке термин *cartogram* обычно подразумевает как раз изменение форм и размеров (*value-by-area map*). В русском же такое значение не является основным.

2 В некоторых зарубежных публикациях видом анаморфоз называются и геокарты с локально увеличенным масштабом. Но это спорный подход.

проблема, иногда ключевая, – это визуальная несопоставимость серии анаморфоз. Если мы меняем показатель, то перекоординируется вся схема, регионы оказываются в других местах. Также размером трудно показывать нулевые значения.

Но есть еще один вариант – «плиточный» картоид (ПК). Он же – «географизированная» таблица. Главная идея в его реализации – приведение всех исследуемых территориальных единиц (стран, провинций) к одной форме неизменного размера (tiles) и их плотное размещение в строго регулярном порядке в ячейках воображаемой сетки (grid) при максимальном сохранении узнаваемой общей формы. ПК за рубежом иногда называют одним из видов cartograms (напр. [5]), хотя это спорно.

ПК синтезируют в себе свойства картографических изображений разных типов. Так, их можно считать производными от мозаичных анаморфоз (mosaic cartograms), где все регионы складываются из одинаковых элементов мозаики (квадратов или шестиугольников), пропорционально картируемой величине. Например, 1 элемент = 10 тыс. чел. Вероятна преемственность ПК и от древовидных диаграмм (treemaps), в которых данные изображаются прямоугольниками разных размеров внутри одного большого. Картоид Демерса (Demers cartogram) составляется из плотно упакованных квадратов, размеры которых соответствуют картируемому данным. Это развитие кругового картоида Дорлинга. Вырожденные случаи всех трех названных типов оказываются аналогами ПК.

Обобщенное место ПК среди других типов картографических изображений представлено на рисунке 1. Типы выделены по основным информационным свойствам. По способам изображения они будут другими.

*Использование.* Теперь все регионы имеют одинаковые размер и форму. Последние больше не оказывают влияния ни на видимость мелких территорий, ни на психологическое восприятие содержательной информации. И видим мы этот картоид уже не в блоге энтузиаста-любителя, а на страницах, например, Washington Post или Bloomberg. Собственно говоря, крупные американские информационные и деловые издания как раз и вывели в начале 2010-х гг. ПК из тени, пробудив к ним интерес читателей и авторов. Для них это был новый шаг в развитии инфографики. Американским СМИ оказалось удобно создавать целые серии ПК по выбранному

графическому шаблону (layout).

Далее новый подход стал применяться и в других странах. Так, бразильские авторы, подбирая вариант для набора тематических карт страны, остановились на ПК, как на оптимально отвечающем задачам инфографики (рис. 2) [5]. Появились и модификации ПК. Например, китайские авторы экспериментировали, на наш взгляд не очень удачно, с картированием точечных объектов (городов), построив разреженные картоиды из «цепочек» плиток («point grid map») [6]. Постепенно «мода» на новый способ визуализации добралась и до России [1]. В 2017 г. был проведен интернет-конкурс на лучший ПК страны. Победивший проект был благосклонно воспринят СМИ. А в 2019 г. сразу три проекта с ПК (от ТАСС и РИА) вошли в шорт- или лонг-лист международного конкурса «Kantar Information Is Beautiful Awards».

В таком формате можно анализировать большие серии разнородных данных, ментально (в первом приближении) учитывая и географическое положение территорий. Можно публиковать материалы в газете даже для тех читателей, которые не помнят точного размещения регионов. Все элементы подписаны. В ячейках или на «плитках» можно размещать табличные данные или унифицированные диаграммы и схемы, причем на интернет-страницах они могут быть интерактивными. Плюс к этому равенство размеров позволяет использовать цветовые/оттеночные шкалы для показа абсолютных значений. В классической картографии оттенком рекомендуется указывать лишь относительные величины, поскольку неравенство площадей искажает восприятие абсолютных значений. На анаморфозах, кроме того, нежелателен показ оттенком и величин, рассчитанных относительно площади. С плитками подобных проблем нет.

*Противоречия и их оценка.* Но за удобство приходится платить географическими искажениями. Прежде всего, неизбежен отказ от принципа обязательного сохранения соседства. Нарушаются и направления. В результате, составители руководствуются принципом *приблизительного* размещения элементов. Поэтому конфигурация картоида получается очень авторской. Впрочем, некоторые искажения не критичны, поскольку «картоиды предназначены для использования не вместо классических геокарт, а в дополнение к ним» [2]. Географы правы, утверждая, что ПК – не карта и даже не анаморфоза. Однако он уже и не простая таблица. Он – нечто

среднее. И в этой промежуточной нише он оказался, благодаря специфическому набору свойств, востребован как авторами,

так и читателями. Сравнительная оценка некоторых свойств ПК представлена в таблице 1.



Рис. 1. Место плиточного картоида среди типов картографических изображений -

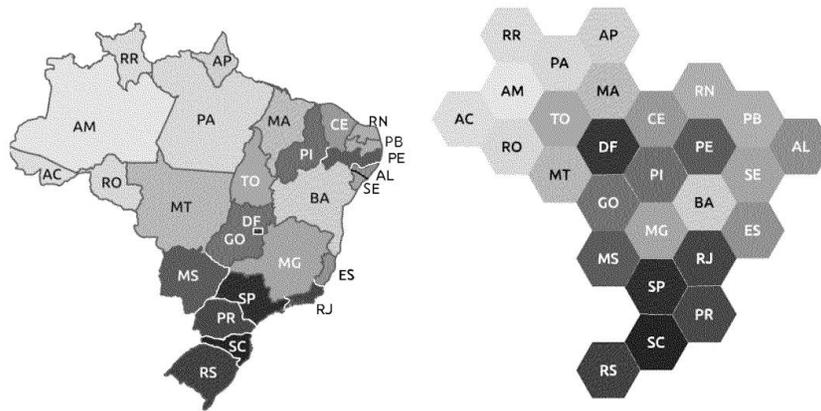


Рис. 2. Картограмма и плиточный картоид АТД Бразилии [5]

Поскольку конфигурации ПК для каждой страны многовариантны, то для их сравнительной оценки используются количественные меры. Среди расчетных показателей: компактность общей формы, доля ошибочных соседств, доля сохраненных соседств, правильность абсолютных и относительных направлений, расхождение позиций регионов с картой-основой. Мы предлагаем вариант оценки через индекс, учитывающий топологические дистанции (степени соседства) [1]. Для «то-

чечных» же ПК их авторы отдали явное предпочтение оценке направлений [6].

#### Область применения

ПК применяются, прежде всего, в сфере общественной географии, поскольку изучаемые регионы часто рассматриваются как статистически равноправные объекты. Возможно, ПК могут отображать не только площадные, но также и линейные (трассы), и точечные (города [6]) объекты. ПК могут использоваться и для показа природных данных по единицам АТД

(погода и т.п.). Кроме того, давно известны картограммы, построенные по километровой сеткам. Удаление признаков геокарты (реальных границ и т.п.) [3] делает их аналогом ПК или мозаичных анаморфоз.

В отличие от анаморфоз, ПК можно, в принципе, использовать не только в научно-популярных и иллюстративных, но

также и в научных, и в научно-образовательных целях. В этом случае надо иметь в виду, что ПК должен использоваться как вспомогательное средство, как удобная альтернатива алфавитным таблицам. Но тогда одного лишь цветового кодирования явно недостаточно.

Таблица 1. Сравнительная оценка некоторых свойств картографических изображений [1]

Свойства	Плиточный картоид (оттенками)	Анаморфоза (диффузная)	Картоид Дорлинга
Микрорегионы и нулевые значения	●●●	●	●●
Показ абсол. знач. оттенками цветов	●●●	●	●
Сохранение графич. позиции (серийность)	●●●	●	●●
Равное внимание к регионам	●●●	●	●●
Поиск региона (при знании карты)	●	●●	●/○
Показ множества (сотен) регионов	●	●●●	●●●
Точность соседств (смежности)	●	●●●	●
Сохранение формы элемента (региона)	○	●●	○

Кроме того, даже простые пользователи, не имеющие доступа к «большим» ГИС, могут создавать и автоматизировать ПК в Excel и других электронных таблицах

(авторскую реализацию см. в [1]). Это также расширяет их потенциальную область применения.

### Библиографический список

1. Елацков А.Б. «Плиточные» картоиды и их применение в России // Псковский региональный журнал. 2020. №1.
2. Родман Б.Б. Научные географические картоиды // Географический вестник. 2010. №2. С. 88–92.
3. Adamska E., Juśkiewicz W. Visualisation of the influence of habitat on lichen occurrence, Toruń, Poland // Journal of Maps. Vol. 14, 2018, №1. P. 9–16.
4. Aisch G. Why we didn't use a cartogram in the Brexit referendum map. Jun 24, 2016. [Electronic resource] URL: <https://www.vis4.net/blog/2016/06/to-cartogram-or-not-to-cartogram-the-brexit/>.
5. Barreto M.C., Esperança C., Kosminsky D. Hexagonal hierarchical cartogram: Towards a thematic map of Brazil // Brazilian Journal of Information Design. 2018. V. 15. N 1, P. 45–62.
6. Zhou M., Tian J., Xiong F., Wang R. Point grid map: a new type of thematic map for statistical data associated with geographic points // Cartography and Geographic Information Science. Vol. 44. 2017. N 5. P. 374–389.

О.П. Ермолаев, С.С. Мухарамова, oyermol@gmail.com  
 Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

## ЦИФРОВАЯ ГЕОГРАФИЯ РОССИИ В МОЗАИКЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ: ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

В статье рассматривается реализация бассейнового подхода к картографо-геоинформационному анализу антропогенных нагрузок на бассейновые геосистемы малых рек европейской части России.

*Ключевые слова:* бассейны рек, ГИС, антропогенная нагрузка.

O. Yermolaev, S. Mukharamova, oyermol@gmail.com  
 Kazan Federal University, Kazan, Russia

## DIGITAL GEOGRAPHY OF RUSSIA IN THE MOSAIC OF RIVER BASIN: ANTHROPOGENIC IMPACT ASSESSMENT

The article discusses the implementation of the basin approach to the cartographic and GIS analysis of anthropogenic assessment on basin geosystems of small rivers in the European part of Russia.

*Keywords:* river basins, GIS, anthropogenic impact assessment.

Для крупной территории России – ее Европейской части (ЕЧР) – на региональном уровне генерализации на основе разработанной методики создана электронная векторная карта бассейнов малых рек. Полигональные объекты слоя бассейнов топологически согласованы с объектами карты гидрографической сети М 1:1000000. Общее количество выделенных пространственных объектов (бассейнов) – 53865. Сформирована геоинформационная система «Речные бассейны Европейской части России», интегрирующая природно-антропогенную геоинформацию. Атрибутика объектов основных слоев ГИС - слоя бассейнов рек, а также слоя поверхностных водосборов гидропостов рек (1892 бассейна) – включает: идентификатор бассейна; площадь бассейна (кв.км); преобладающий тип почвы в бассейне; преобладающий тип почвообразующей породы; преобладающий класс дочетвертичных отложений; преобладающий тип ландшафта; преобладающий подтип ландшафта; лесистость бассейна (в %); распаханность (в %); залуженность (в %); кустарники (в %); заболоченность (в %); озерность (в %); средняя высота в бассейне (м); минимальная высота в бассейне (м); максимальная высота в бассейне (м); разброс высот в бассейне (м); средняя крутизна склонов в бассейне (град.); средняя экспозиция склонов в бассейне (от «холодных» -1 к «теплым» 1); эрозионный потенциал рельефа в бассейне; длины линий тока в бассейне (м); средняя годовая температура воздуха в бассейне (град. С); средняя температура воздуха в январе; средняя температура воздуха в июле; среднее многолетнее макси-

мумов температуры за год; среднее многолетнее минимумов температуры за год; среднее многолетнее амплитуды температуры за год; среднее квадратическое отклонение температуры воздуха за год; среднее многолетнее число дней с температурой ниже +8 град.; повторяемость (в %) сильных морозов; сумма активных температур воздуха в бассейне (град. С); среднее годовое количество осадков в бассейне (мм); среднее количество осадков в мае-августе; среднее количество осадков за холодный период года; среднее количество осадков за теплый период года; коэффициент вариации годового количества осадков (%); среднее значение гидротермического коэффициента в бассейне; плотность населения в бассейне (чел. на кв.км); оценка антропогенной нагрузки на бассейн (балл); модельное значение модуля стока воды в бассейне (куб.м в сек с кв.км); модельное значение годового слоя стока воды в бассейн (мм); модельное значение модуля стока взвешенных наносов в бассейне (т в год с кв.км). На основе этой геобазы данных создан интернет геопортал открытого доступа «Речные бассейны Европейской части России» [1–3].

Имеющаяся в геобазе данных цифровая информация позволила провести оценку антропогенных нагрузок на геосистемы малых рек ЕЧР. Нами рассматривались различные методы такой оценки. Они весьма разнообразны по подходам как с точки зрения набора показателей, так и выбора операционно-территориальных единиц анализа. Одним из вариантов является использование отдельных, индикаторных, показателей, анализ которых

позволяет косвенно судить о состоянии геосистемы в целом. Чаще всего используются характеристики чувствительных к воздействию компонентов (растительный и почвенный покров). Весьма популярны оценки, определяющие превышение над природным фоном как отдельных поллютантов, так и суммарного загрязнения компонентов геосистем, сравнение с фоновыми природными системами, существующими вне антропогенной нагрузки. Показатель нарушенности может основываться на соотношении площадей, относящихся к различным функциональным типам использования территории. С точки зрения обработки и анализа данных для получения количественных оценок используются самые разнообразные методы: статистические, приемы теории информации, теории множеств, методы алгебры и геометрии, математической логики и т.д. Наиболее распространенным вариантом количественных методов можно считать линейные оценки. В рамках разрабатываемой методики оценка геоэкологического состояния бассейновых геосистем выполняется на основе количественной оценки антропогенной нагрузки на бассейны.

Под антропогенной нагрузкой нами понималась степень прямого и косвенного воздействия людей и их хозяйственной деятельности на природу в целом или на ее дельные компоненты (бассейны рек, ландшафты и т.д.). В качестве показателей, которые прямо или косвенно отражают антропогенное воздействие, нами использовались: плотность населения в бассейне, густота дорожной сети (с учетом типа дорог), сельскохозяйственная освоенность территории бассейна. Плотность населения была выбрана для оценки антропогенной нагрузки как опосредованная интегральная характеристика, косвенно отражающая степень и направленность хозяйственной освоенности территории. Плотность населения в бассейнах оценивалась по информации о численности населения в населенных пунктах территории исследования и их пространственной приуроченности к бассейнам. Первичная оценка численности населения взята с цифровой карты населенных пунктов, после чего для городов и других крупных населенных пунктов (в том числе посёлков городского типа и сельских населённых пунктов с населением более 10 тысяч жителей) она уточнялась и актуализировалась по данным Всероссийской переписи населения 2010 г. Затем данные по численности населения были переведены в значения плотности, рассчитанные для каждого бассейна. Еще один показатель, на наш взгляд, характеризующий степень антропогенных нагрузок на территорию, густота дорожной сети. Для расчета густоты дорожной сети в бассейнах использо-

вался слой дорог масштаба 1:500000, при этом отдельно обрабатывались дороги разных категорий (ж/д, автодороги, с покрытием, без покрытия, лесные, полевые, и пр.). Значимым показателем антропогенной нагрузки, может выступать его сельскохозяйственная освоенность. Она оценивалась по накопленным в ГИС данным о распаханности бассейнов. Для указанных переменных анализировались их пространственное поведение, статистические распределения, мультиколлинеарность, после чего они приводились к единой шкале с использованием преобразований, нормировки, обезразмеривания. Для обобщения частных переменных опробовались разные методы (классификация, главные компоненты, взвешенные баллы). В результате мы остановились на наиболее простой оценке: итоговый показатель антропогенной нагрузки был получен как линейная комбинация частных переменных с весовыми коэффициентами, значения которых подобраны экспертным методом с учетом проведенного анализа и после опробования различных вариантов.

Полученный итоговый показатель приведен к пяти категориям: очень слабая, слабая, умеренная, сильная, очень сильная антропогенная нагрузка. В результате к первой категории отнесены бассейны, где нет населенных пунктов, дорожной сети и пахотных земель. Бассейны со слабой антропогенной нагрузкой характеризуются невысокой плотностью населения (в среднем 1 чел. на кв.км), дороги в основном лесные, полевые и проселочные грунтовые, густота которых в среднем 0.08 км на кв.км, а густота автодорог с покрытием в среднем 0.01 км на кв.км, процент распаханности в среднем около 1.5%. Умеренная антропогенная нагрузка получена для бассейнов, где в среднем густота проселочных дорог, автодорог с покрытием и распаханность выше (0.2 км на кв.км, 0.1 км на кв.км, 15%, соответственно), а средняя плотность населения - 15 чел. на кв.км. Для бассейнов, отнесенных к категории с сильной нагрузкой, характерны высокий процент распаханности земель, большая густота автодорог и автомагистралей, плотность населения в среднем около 100 чел. на кв.км. Бассейны с очень сильной нагрузкой расположены в основном на урбанизированных территориях (плотность населения более 1000 чел. на кв.км), с высокой густотой автомагистралей и ширококолейных железных дорог. С использованием описанного подхода и подготовленных геоданных проведено районирование территории ЕЧР по степени антропогенной нагрузки на речные бассейны (геоэкологическое районирование). Построенная карта нашла свое отражение на нашем геопортале.

Работа выполнена за счет гранта РНФ (проекты № 19-17-00064; №15-17-10008).

### Библиографический список

1. Ermolaev O.P., Mal'tsev K.A., Ivanov M.A. Automated Construction of the Boundaries of Basin Geosystems for the Volga Federal District // Geography and Natural Resources. 2014. Vol. 35. N3, P. 222–228.
2. Ermolaev O.P., Mal'tsev K.A., Mukharamova S.S., Kharchenko S.V., Vedeneeva E.A. Cartographic model of river basins of European Russia // Geography and Natural Resources. 2017. N 38 (2). P. 131–138.
3. Geographic Information System and Geoportal River basins of the European Russia / O.P. Yermolaev, S.S. Mukharamova, K.A. Maltsev, M.A. Ivanov, P.O. Ermolaeva, A.I. Gayazov, V.V. Mozzherin, S.V. Kharchenko, O.A. Marinina, F.N. Lisetskii // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 107 (1). 012108.

УДК 581.55:528.88

М.А. Жарникова, Ж.Б. Алымбаева, rita\_zharnikova@mail.ru  
Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

### ОПЫТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В работе рассмотрен опыт создания геоботанической карты степных сообществ с применением данных дистанционного зондирования. Приведены сведения о пространственном распределении растительных сообществ. На основе градиентного анализа рассмотрена взаимосвязь растительности с условиями среды.

*Ключевые слова:* картографирование, степи, пространственная структура, ординация.

M. Zharnikova, Zh. Alymbaeva, rita\_zharnikova@mail.ru  
Baikal institute of nature management SB RAS, Ulan-Ude, Russia

### EXPERIENCE OF CARTOGRAPHY OF VEGETABLE COVER ON THE BASIS OF DATA OF REMOTE SENSING OF THE EARTH

The paper considers the experience of creating a geobotanical map of steppe communities using remote sensing data. Information is given on the spatial distribution of plant communities. Based on gradient analysis, the relationship of vegetation with environmental conditions is considered.

*Keywords:* mapping, steppe, spatial structure, ordination.

В настоящее время потребность в картографических сведениях о растительном покрове возрастает в связи с повышенным интересом к оценке трансформации природной среды в условиях изменения климата и антропогенного пресса. Одним из способов оперативного получения данных для картографирования растительности, активно применяемым и развиваемым в настоящее время, является использование данных дистанционного зондирования.

Для изучения пространственно-структурной организации разнообразия растительного покрова был выбран ключевой

участок, расположенный в аридной зоне. На основе собранных данных с 2014 по 2019 гг., полученной классификации степных сообществ и анализа их экотопической приуроченности построена картографическая модель ключевого участка. Для анализа и раскрытия пространственной структуры степных сообществ использованы характеристики элементов рельефа (высоты местности над уровнем моря, экспозиции и крутизны склона), полученные на основе цифровой модели рельефа (ЦМР) SRTM GDEM v. 4. Кроме того, выполнено моделирование рельефа ключевого участка по ЦМР, полученной съемкой с борта

БПЛА. Пространственная неоднородность растительности выявлялась с помощью эколого-геоботанических профилей. Линии профилей и номера описаний наносились на космоснимок, на основе которого в последующем была составлена подробная карта растительности и разработана легенда к ней. Представленная картографическая модель экосистем относится к категории сопряженных тематических карт [2].

Интерпретация взаимосвязи растительных сообществ с условиями среды осуществлялась как с помощью ординации методом прямого многофакторного градиентного анализа, реализованного в пакете PAST, с предварительной обработкой описаний ценозов в IBIS [1] так и непрямой ординацией по методу DCA (detrended correspondence analysis) – бестрендовый анализ соответствия или метод взаимного усреднения [3]. Установленные синтаксоны дифференцированы в пространстве двух осей ординации, представляющих главные экологические факторы, лимитирующие развитие степной растительности. При анализе учитывались фитоценотические, экологические и географические особенности растительных сообществ. Полученные в результате проведенного анализа данные позволили выявить некоторые присущие степным сообществам закономерности, а также связь распределения растительности в со-

ответствии с природными особенностями территории.

Таким образом, в результате комплексного анализа выявлена пространственная структура и особенности распределения фитоценотического разнообразия ключевого участка, расположенного в степных сообществах аридной зоны. В одних случаях, на одних и тех же формах рельефа развиваются сообщества разных формаций, в других - на разных формах рельефа формируются сообщества, относящиеся к одной группе формаций, т.к. мощная средообразующая роль пустынно-степных сообществ нивелирует индикационную роль мезорельефа. На изучаемой территории в условиях засушливого климата отмечен низкий видовой состав, выпадение ряда представителей степного разнотравья, и, в то же время, появление более ксерофитных видов. Травостой становится более разреженным и низкорослым. Отмечены изменения в составе жизненных форм и эдификаторов-ценозообразователей, выражающиеся в сокращении, а затем и в полном выпадении роли дерновинных злаков. В результате исследования сообществ отмечено, что с увеличением пастбищной нагрузки и усилением аридности климата происходит снижение фитоценотического разнообразия, замещение коренных и внедрение инвазивных видов, приводящие к трансформации растительных сообществ.

*Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН и при поддержке гранта РФФИ № 19-55-53026.*

### Библиографический список

1. *Зверев А.А.* Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск, 2007. 304 с.
2. *Сочава В.Б.* Растительный покров на тематических картах. Н: Наука, Сиб. отд-ние, 1979. 188 с.
3. *Hill M.O.* TWINSpan – a FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two Way Table by Classification of the Individuals and the Attributes // Ecology and Systematic. Ithaca: Cornell Univ. Press, 1979. P. 48.

В.В. Занозин<sup>1</sup>, А.Н. Бармин<sup>1</sup>, С.А. Ямашкин<sup>2</sup>, А.А. Ямашкин<sup>2</sup>, victor\_z94@mail.ru

<sup>1</sup>Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия

<sup>2</sup>Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва, г. Саранск, Россия

## КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЛАНДШАФТА ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГА

В статье кратко рассмотрены этапы исследования природных территориальных комплексов центральной части ландшафта дельты реки Волга. Каждый из этапов основывался на применении ГИС-технологий, анализе данных дистанционного зондирования Земли.

*Ключевые слова:* дельта Волга, картография, ландшафтный геоинформационный анализ.

V. Zanozin<sup>1</sup>, A. Barmin<sup>1</sup>, S. Yamashkin<sup>2</sup>, A. Yamashkin<sup>2</sup>, victor\_z94@mail.ru

<sup>1</sup>Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

<sup>2</sup>N.P. Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

## GIS IN COMPLEX LANDSCAPE ANALYSIS OF THE CENTRAL PART OF THE VOLGA RIVER DELTA

Stages of study of natural territorial complexes in the central part of the Volga Delta landscape are briefly described in the article. Each stage was based on application of geo-information systems, analysis of remote sensing data.

*Keywords:* the Volga Delta, cartography, landscape analysis.

Исследование закономерностей развития природных систем в быстро меняющихся природных и антропогенных условиях представляют собой одну из важнейших задач в современной географии. Антропогенное влияние чаще всего негативно сказывается на внутриландшафтной структуре территории, приводя к нарушению не только отдельных компонентов геосистем, но и довольно крупных ландшафтных единиц в целом. Дельта Волги, являясь особым интразональным ландшафтом, на протяжении столетий подвергается антропогенному воздействию, вследствие чего происходит существенное преобразование коренных природных территориальных комплексов (ПТК). Наиболее сильно антропогенной преобразованности подвержены ПТК центральной части ландшафта дельты реки Волга. В связи с этим было проведено комплексное исследование геосистем с применением ГИС-технологий и анализа данных дистанционного зондирования Земли, реализованное в нескольких этапах.

Первый этап заключался в комплексном изучении природных территориальных комплексов центральной части ландшафта дельты реки Волга, их картографирования. Актуальным методом моделирования ПТК остаётся метод векторно-слоевого ландшафтного картографирования [4], а также или геоинформационный подход к синтетическому

ландшафтному картированию [2; 6], основанный на принципах оверлея данных. При данном методе в среде ГИС анализировались межкомпонентные связи ПТК центральной части ландшафта дельты реки Волга, в результате чего происходило векторное отображение пространственного распределения основных выделенных природных территориальных комплексов. Полигональная дифференциация природных территориальных комплексов происходила на основе соотношения и взаимосвязи пространственной информации, полученной входе симбиоза данных от разных источников.

Второй этап характеризовался математико-картографическим моделированием ландшафтного разнообразия (ЛР) исследуемого региона. Методика моделирования основывалась на традиционном методе изучения ландшафтного разнообразия при геосистемном подходе – картографическом, а сам анализ ЛР проводился на уровне именно коренных урочищ (морфологический аспект). В ходе подготовительных работ по оценке ЛР центральной части ландшафта дельты реки Волги общей площадью 3899,44 км<sup>2</sup> было выделено 2712 ландшафтных выделов (ландшафтных контуров). Далее, используя информацию о простых ландшафтных показателях исследуемой территории (их количество, площади), был рассчитан ряд сложных показателей

оценки ЛР, хорошо зарекомендовавших себя при исследовании ландшафтного разнообразия других регионов [1; 3; 5], а именно: ландшафтная дробность, ландшафтная сложность, ландшафтная раздробленность, ландшафтное разнообразие по индексу Менхиника, ландшафтная мозаичность, ландшафтное относительное богатство. В данном исследовании была апробирована регулярная сетка шестиугольников-гексагонов, полностью покрывающая регион исследования. Регулярные сетки используются по многим причинам, в частности для уменьшения неоднородности полигонов неправильной формы (какими по своей сущности и являются природные территориальные комплексы).

Проведённый анализ исследований, посвящённых факторам антропогенных изменений, позволил выявить их в исследуемой части ландшафта дельты Волги, что нашло отражение в различных типах использования ПТК. К ним относятся следующие: сенокосы, выпас скота; сельскохозяйственные территории (залежные земли, возделываемые земли, рисовые чеки); карьеры, дороги, искусственные водные объекты (пруды); промышленные постройки; кладбища; застройка сельская и прилегающие территории; застройка городская и прилегающие территории. Выявление основных факторов антропогенного преобразования геосистем по данным ДЗЗ, как третий этап исследования, выполнялось в следующем порядке:

- выделение по космическому снимку границ различных типов хозяйственного воздействия;
- идентификация видов хозяйственного использования в пределах границ естественных геосистем (в данном случае урочищ);
- суммирование площадных показателей ареалов хозяйственного использования ПТК с учетом числового коэффициента степени антропогенной преобразованности модификаций ПТК и его соотношение с пло-

щадью естественного ПТК (урочища). После выявления основных факторов антропогенного преобразования ПТК была составлена картосхема степени антропогенной преобразованности ПТК центральной части ландшафта дельты реки Волга.

В настоящее время особую актуальность приобретает реализация принципа устойчивого развития регионов, стратегии особого эколого-экономического баланса между природой и человеком. По результатам, полученных в предыдущих этапах, была произведена разработка рекомендаций по рациональному использованию геосистем исследуемого региона. Разработка проводилась с учётом морфологической структуры центральной части ландшафта дельты Волги, а в качестве основной операционной единицы выступали природно-территориальные комплексы ранга урочище, целесообразность использования которых доказана многочисленными ландшафтными исследованиями. На основании результатов исследования были составлены картосхемы опорных урочищ-элементов экологического каркаса центральной части ландшафта дельты реки Волга. Особого внимания заслуживает стиль картографического изображения. Он заключается в модификации точек Вурмана [7; 8]. Вместо стандартного использования окружности, в данном подходе были использованы многоугольники-гексагоны.

Изучение ПТК на основе современных ГИС-технологий, выявление степени антропогенной нарушенности (трансформации) геосистем, разработка способов её оценки, планирование рекультивации нарушенных ПТК – актуальная задача современных ландшафтных исследований. Результаты настоящей работы могут быть использованы для формирования управленческих решений в сфере сельского хозяйства, управления государственным имуществом, при организации мероприятий по охране окружающей среды.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70055.*

### Библиографический список

1. Ганзей К.С., Иванов А.Н. Ландшафтное разнообразие Курильских островов // География и природные ресурсы. 2012. №2. С. 87–94.
2. Исаченко А.Г. Физико-географическое картирование. Л.: Изд-во ЛГУ, 1961. Т.3. 268 с.
3. Позаченюк Е.А., Агиенко А.А. Оценка ландшафтного разнообразия Алуштинского амфитеатра // Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. Т. 3 (69). № 2. 2017 г. С. 102–116.
4. Старожилов В.Т. Метод векторно-слоевого ландшафтного картографирования и районирования // Проблемы региональной экологии. 2018. №2. С. 134–138.

5. Чепурнов Р.Р., Прокашев А.М., Мокрушин С.Л., Матушкин С.А. Морфометрические и ландшафтно-эстетические особенности Атарского экотона в долине реки Вятки // *Advanced science*. 2017. №2.
6. Ямашкин С.А., Ямашкин А.А. Моделирование синтетической ландшафтной карты // *Перспективы развития информационных технологий*. 2016. №32. С. 68–74.
7. Amoroso N. *The Exposed City: Mapping the Urban Invisibles*. 1st ed. New York: Routledge, 2010. 192 p.
8. Katz J. *Designing Information: Human Factors and Common Sense in Information Design*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012. 224 p.

УДК 55:004.78 (470.53)

А.С. Зарипов, artemiy790@yandex.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

В статье рассматриваются возможности и перспективы использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга полигонов твердых коммунальных отходов.

*Ключевые слова:* дрон, БПЛА, ДЗЗ, экология.

A. Zaripov, artemiy790@yandex.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## **APPLICATION OF UNMANNED AIRCRAFT FOR SOLVING THE TASKS OF ECOLOGICAL MONITORING**

The article discusses the possibilities and prospects of using UAVs for monitoring rubbish dump.

*Keywords:* drone, UAV, remote sensing, ecology.

Дистанционное зондирование в настоящее время является одним из основных источников данных для экологического мониторинга. Однако существует целый комплекс задач, которые невозможно по тем или иным причинам решить с помощью спутниковых сенсоров. Это обусловлено некоторыми особенностями получения данных с космического аппарата. Например, тем, что съемка интересующей территории проводится в строго определенное время, возможность проведения съемки определяются метеорологическими условиями, минимальная площадь заказа съемки 25 км<sup>2</sup> и так далее. Также причиной отказа от использования космической съемки могут служить жесткие требования заказчика к дате съемки или специфические характеристики самого объекта наблюдения, как, например, узкая полоса трубопровода или небольшой размер интересующего объекта.

В качестве объектов исследования

выступают главным образом полигоны твердых бытовых отходов (ТБО), или как их сейчас называют твердые коммунальные отходы (ТКО). Для обеспечения нормальной эксплуатации эти инженерные сооружения постоянно нуждаются в обслуживании и мониторинге их состояния. Основным методом исследования стала съемка с БПЛА.

Похожее исследование проводили в 2017 году ученые из Пермского национального исследовательского политехнического университета, когда выполняли визуальные обследования объектов захоронения отходов при помощи беспилотных летательных аппаратов. В работе описана методология использования дронов для наблюдения за местами складывания мусора, причем как санкционированных полигонов, так и стихийных нелегальных свалок [1].

Целью данной работы является изучение возможностей и особенностей при-

менения и обработки данных с беспилотных летательных аппаратов для решения спектра задач экологической направленности, в частности мониторинга объектов захоронения ТКО.

Процесс проведения исследования включал в себя следующие шаги:

- Запуск и полет беспилотных летательных аппаратов конструкции мультикоптер. Их преимуществами перед самолетами является возможность зависать над интересующей территорией, а также отсутствие необходимости во взлетной полосе. Кроме того, квадрокоптеры – это наиболее популярный вид БПЛА, что обуславливает широкий выбор съемочной аппаратуры, которая может быть использована для изучения объекта или явления.

- Результатом съемки с воздуха являются фотографии, а также информация об их географической привязке. Как прави-

ло, снимки подвергаются цветовой коррекции с целью улучшения их качества. Затем при помощи специализированного программного обеспечения для цифровой фотограмметрии Agisoft Photoscan все изображения трансформируются в одно бесшовное, также именуемое ортофотопланом. Помимо его создания формируется растр, содержащий информацию об абсолютных высотах снятой территории, который принято называть цифровой моделью местности (ЦММ) или карта высот.

- Последним этапом работы является изучение возможностей применения полученных данных в качестве исходных для моделирования полигонов твердых коммунальных отходов. На основе ортофотоплана были воссозданы подробные трехмерные изображения поверхности, а цифровая модель местности помогла провести расчеты объема.



Рис. 1. Ортофотоплан полигона ТКО

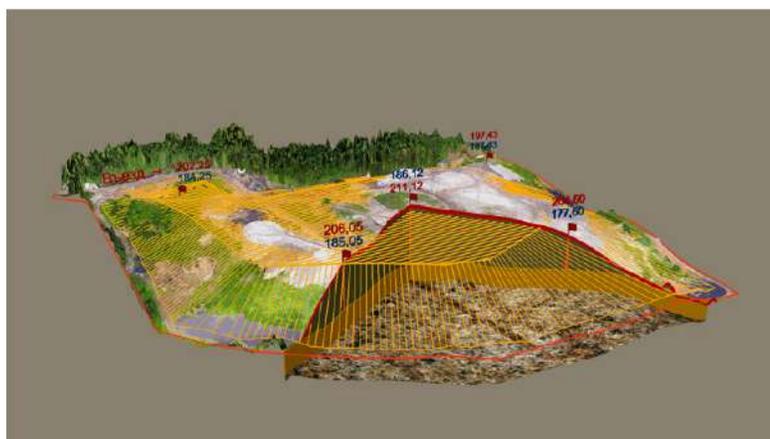


Рис. 2. Трехмерная модель полигона ТКО

В июле 2017 года было проведено измерение объемов и проектирование двух полигонов твердых бытовых отходов в Пермском крае, которое стало возможно благодаря созданию объемной модели объекта реальности. Также была реализована наглядная трехмерная визуализация всего полигона с необходимой поясняющей графикой для наилучшего восприятия, в том числе с использованием анимации. В качестве основного программного обеспечения был использован пакет ArcGis, а именно продукты ArcMap и ArcScene.

В результате проделанной работы был в деталях изучен процесс дистанционного мониторинга объектов захоронения твердых бытовых отходов. Рассмотрены возможности применения данного метода

для построения детальных трехмерных моделей полигонов, а также измерения их объема. Для этого необходимо иметь данные о высотах за ранние периоды, либо интерполировать поверхность исходя из текущих высот в точках, находящихся поблизости от объекта. Таким образом получается две поверхности: одна – отражающая ситуацию на текущий момент и вторая – либо отражающая ситуацию за более ранние периоды, либо условная поверхность. При помощи инструмента пространственного анализа можно вычислить объем путем расчета разницы высот между двумя поверхностями.

№	Value	Count	VOLUME	AREA
1	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
2	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
3	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
4	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
5	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
6	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
7	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
8	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
9	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
10	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
11	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
12	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
13	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
14	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
15	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
16	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
17	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
18	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
19	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
20	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
21	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
22	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
23	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
24	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
25	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
26	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
27	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
28	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
29	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
30	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
31	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
32	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
33	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
34	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
35	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
36	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
37	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
38	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
39	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
40	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
41	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
42	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
43	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000
44	0.000000000000	1	0.000000000000	0.0000

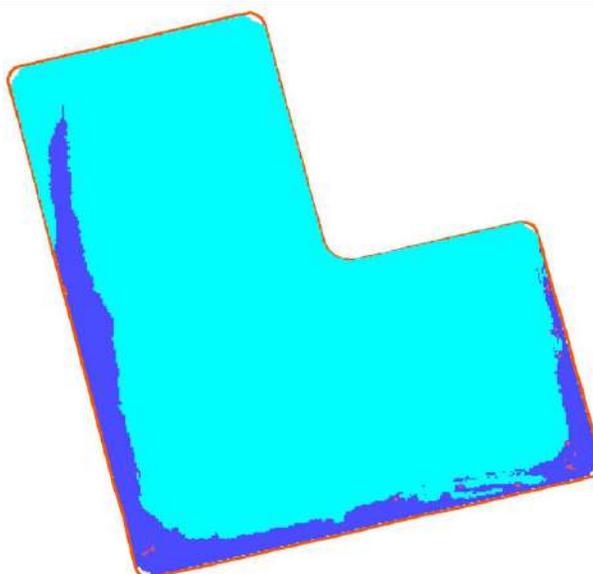


Рис. 3. Растр измерения объема

В качестве вывода можно с уверенностью утверждать, что всё более широкое распространение беспилотных летательных аппаратов является свидетельством технологического прогресса, в результате которого появляется всё новые способы и методы дистанционного получения пространственной информации. Также повышается и качество исходных данных, что открывает новые перспективы и возможности для применения их в решении как научных экологических, так и реальных производственных задач, которые ранее казались трудновыполнимыми или вовсе невозможными.

Важность использования данных аэрофотосъемки подтверждается прежде всего необходимостью детального изучения относительно небольших объектов или явлений. То есть таких субъектов, исчерпывающую информацию о которых не получится получить при помощи спут-

никовой съемки, а проведение полевых измерений будет затруднено или вовсе невозможно. Так, например, настолько детальное изображение полигонов твердых бытовых отходов на данный момент не получится получить никаким другим способом, кроме аэрофотосъемки. В то же время, проблема правильной эксплуатации ПТБО и захоронения отходов сейчас стоит крайне остро. Мониторинг таких объектов поможет снизить возможные негативные последствия для окружающей среды, а также соблюсти все необходимые нормы. К ним относятся, например, СНИП 11-01-95 «О порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство зданий, предприятий и сооружений» и СанПин 2.1.7.1038-01 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых бытовых отходов».

### Библиографический список

1. Слюсарь Н.Н., Коротяев В.Н., Куликова Ю.В. Визуальное обследование объектов захоронения отходов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 41. С. 25–36.

М.А. Иванов, С.С. Мухарамова, О.П. Ермолаев, maximko-87@mail.ru  
 Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

## ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИЮ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА С ПРИМЕНЕНИЕМ БАСЕЙНОВОГО ПОДХОДА

В статье представлены результаты оценки антропогенной нагрузки на речные бассейны Приволжского федерального округа. В качестве показателей, которые прямо или косвенно отражают антропогенное воздействие, использовались: плотность населения в бассейнах, густота дорожной сети, распаханность территории бассейнов. Анализировалось пространственное и статистическое распределение показателей, выполнялось приведение показателей к единой шкале (преобразование, нормирование). Итоговый показатель антропогенной нагрузки получен как линейная комбинация частных переменных и ранжирован на 6 категорий: «отсутствует», «очень слабая», «слабая», «умеренная», «сильная», «очень сильная».

*Ключевые слова:* антропогенная нагрузка, Приволжский федеральный округ, бассейновые геосистемы.

M. Ivanov, S. Mukharamova, O. Yermolaev, maximko-87@mail.ru  
 Kazan Federal University, Kazan, Russia

## ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC PRESSURE ON THE VOLGA FEDERAL DISTRICT TERRITORY USING RIVER BASIN APPROACH

The paper presents results of assessment of anthropogenic pressure on the river basins of the Volga Federal District. As indicators that directly or indirectly reflect the anthropogenic impact, the following were used: population density in the basin; density of the road network; percentage of cropland in the basin territory. The spatial and statistical distribution of indicators was analyzed, indicators were normalized and transformed to a unified scale. The integral indicator of anthropogenic pressure calculated as a linear combination of particular variables was ranked to six categories: "absent", "very low", "low", "moderate", "high", "very high".

*Keywords:* anthropogenic pressure, Volga Federal District, basin geosystems.

При оценке антропогенной нагрузки очень важен выбор операционно-территориальной единицы. Целесообразность бассейнового подхода обусловлена тем, речной бассейн, представляющий собой единый природно-территориальный комплекс, имеющий естественные границы в виде орографических водоразделов, в пределах которых происходит накопление, трансформация и перемещение твердого и жидкого веществ является пространственной единицей, позволяющей наиболее объективно характеризовать территорию. Кроме того, есть еще ряд плюсов использования бассейнового подхода: относительная простота выделения границ; возможность использования четкой классификации, например, классификации Стралера-Философова [1] и т.д.

Основными данными для расчёта антропогенной нагрузки послужили векторный слой речных бассейнов Приволжского федерального округа [5], данные OpenStreetMap (OSM) [2], топографические карты России масштабов 1:1000000 и 1:500000, растровый слой пахотных зе-

мель, полученный по результатам дешифрирования многолетних рядов вегетационных индексов MODIS [4].

В качестве показателей, которые прямо или косвенно отражают антропогенное воздействие, использовались: плотность населения в бассейне; густота дорожной сети (с учетом типа дорог); сельскохозяйственная освоенность территории бассейна, выраженная через его распаханность.

В соответствии с применяемой методикой, все переменные, используемые для расчета интегрального показателя антропогенной нагрузки, необходимо преобразовать в единую числовую шкалу. В исследованиях, посвященных оценке комплексных антропогенных нагрузок используются логарифмические преобразования вида  $\log(x+1)$  для отдельных показателей воздействия, чтобы избежать появления экстремальных значений на интегральной карте. Кроме того, логарифмическая трансформация корректирует типично перекошенные частотные распределения каждого показателя [3; 6].

Чтобы обеспечить сопоставимость различных показателей проводится их нормирование на диапазон между 0 (нулевое или минимальное наблюдаемое значение) и 1 (максимальное наблюдаемое значение) по формуле [6]:

$$\frac{(x_i - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \quad (1)$$

Плотность населения в бассейнах оценивалась по информации о численности населения в населенных пунктах ПФО и их пространственной приуроченности к бассейнам. В качестве основного источника исходной информации использована топографическая карта России масштаба 1:1000000. Было оцифровано 2 слоя населенных пунктов (точечный и полигональный). Численность населения уточнялась и актуализировалась по данным Всероссийской переписи населения 2010 г. Для уточнения геометрии населенных пунктов были использованы свободно распространяемые данные OSM (2016 г.), более крупного масштаба и высокой детальности. Таким образом, для исследуемой территории были получены данные по 8440 точечным и 4618 площадным населенным пунктам. Поскольку много населенных пунктов лежит в пределах сразу нескольких речных бассейнов, площадные населенные пункты были разрезаны границами бассейновых геосистем. Численность населения для каждого полученного фрагмента вычислялась пропорционально доле его площади от общей площади населенного пункта. Итоговая численность населения в бассейне рассчитывалась как сумма населения всех попадающих в него точечных и площадных населенных пунктов. Плотность населения рассчитывалась как отношение численности к площади бассейна в км<sup>2</sup>.

Рассчитанный показатель имеет ненормальное распределение. Для приведения показателя к шкале от 0 до 1, бассейнам с плотностью населения  $\geq 1000$  чел./км<sup>2</sup> было присвоено максимальное значение 1. Для остальных бассейнов показатель нормировался по формуле:

$$\log(P_{dens} + 1) / \log(1000 + 1), \quad (2)$$

где  $P_{dens}$  – плотность населения (чел./км<sup>2</sup>).

Густота дорожной сети характеризуется не только освоенностью территории, но и, являясь частью инфраструктуры, косвенно отражает степень промышленного развития. Для расчета густоты дорожной сети в бассейнах использовались 2 источника данных. Первый – слой дорог, оцифрованный с топографических карт мас-

штаба 1:500000. Второй – данные OSM. При этом обрабатывались как автомобильные, так и железные дороги. Использование информации из двух источников обусловлено рядом причин. С одной стороны, данные на топографических картах являются устаревшими. Кроме того, данные OSM детальнее ввиду более крупного масштаба. С другой стороны, данные OSM могут быть неполными, поскольку они создаются открытым сообществом, и работа над проектом еще не закончена.

Для дорог, в зависимости от их типа, были экспертно присвоены баллы, характеризующие оказываемую нагрузку (от 1 до 5 по мере увеличения). Слои автодорог и железных дорог OSM были объединены в один. Таким образом, было получено 2 слоя дорог: оцифрованный с топографических карт масштаба 1:500000 и слой дорог по данным OSM. По каждому из слоев рассчитаны суммарные длины дорог с одинаковым баллом внутри каждого бассейна. В результате в базу атрибутивной информации бассейновых геосистем ПФО добавлено 10 полей: суммарные длины дорог с баллами от 1 до 5 по двум слоям дорожной сети. Итоговая протяженность дорог каждой категории вычислялась как максимальное значение из 2-х колонок.

Густота дорог каждой категории в бассейне рассчитывалась как отношение протяженности к площади бассейна (км/км<sup>2</sup>). Общий показатель ( $R_{press}$ ) для оценки влияния густоты дорог рассчитывался по следующей формуле:

$$R_{press} = R_1 + 2 * R_2 + 3 * R_3 + 4 * R_4 + 5 * R_5, \quad (3)$$

где  $R_1$  – густота дорог с баллом антропогенного воздействия равным 1,  $R_2$  – с баллом воздействия 2 и т.д.

Показатель был нормирован с учетом статистики. Поскольку 95% бассейнов имеют значение показателя густоты дорожной сети  $< 6$ , для бассейнов превышающих это значение был присвоено максимальное значение 1. Для остальных бассейнов показатель нормировался по формуле:

$$R_{press} / 6 \quad (4)$$

Сельскохозяйственная освоенность территории может выступать значимым показателем антропогенной нагрузки. Для характеристики сельскохозяйственной освоенности была использована распаханность бассейнов, рассчитанная как отношение площади пашни к общей площади бассейна, на основе результатов дешифрирования пахотных земель по данным вегетационных индексов MODIS.

*Антропогенная нагрузка.* Для обобщения частных показателей опробовались разные методы (классификация, главные компоненты, взвешенные баллы). В результате использована наиболее простая линейная оценка: итоговый показатель антропогенной нагрузки был получен как

среднее значение из трех вышеописанных показателей.

Полученный итоговый показатель ранжирован на 6 категорий: отсутствует, очень слабая, слабая, умеренная, сильная, очень сильная антропогенная нагрузка (табл. 1).

Таблица 1. Категории антропогенной нагрузки

Антропо-генная нагрузка	Интервал	Распаханность, %			Густота дорог, км/км <sup>2</sup>					Плотность населения, чел/км <sup>2</sup>			
					Road1	Road2	Road3	Road4	Road5				
		Мин.	Ср.	Макс.	Ср.	Ср.	Ср.	Ср.	Ср.	Мин.	Ср.	Макс.	
Нет	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Очень слабая	0-0,2	0	4,77	60,5	0,23	0,24	0,06	0,017	0,008	0	0,49	59	
Слабая	0,2-0,4	0	35,1	100	0,27	0,45	0,16	0,088	0,055	0	15,26	997	
Средняя	0,4-0,6	0	44,09	100	0,35	0,73	0,25	0,16	0,104	0	62,41	973	
Сильная	0,6-0,8	0	31,77	100	0,49	1,87	0,42	0,27	0,34	0	301,61	999,6	
Очень сильная	>0,8	0	6,97	86,5	0,59	3,51	0,63	0,33	0,77	142,1	2078,38	47862,2	

В результате к первой категории отнесены бассейны, где нет населенных пунктов, дорожной сети и пахотных земель. Бассейны с очень слабой антропогенной нагрузкой характеризуются крайне низкой плотностью населения (в среднем 0,5 чел/км<sup>2</sup>), дороги в основном лесные, полевые и проселочные грунтовые, густота которых в среднем 0,24 км/км<sup>2</sup>, а густота автодорог с покрытием в среднем 0,01 км/км<sup>2</sup>, процент пашни в среднем около 5%. Умеренная антропогенная нагрузка получена для бассейнов, где в среднем густота проселочных дорог, автодорог с покрытием и распаханность выше (0,54 км/км<sup>2</sup>, 0,17 км/км<sup>2</sup>, 44%, соответственно), а средняя

плотность населения - 62 чел/км<sup>2</sup>. Для бассейнов, отнесенных к категории с сильной нагрузкой, характерны высокий процент распаханности земель, большая густота автодорог и автомагистралей, плотность населения в среднем около 300 чел/км<sup>2</sup>. Бассейны с очень сильной нагрузкой расположены в основном на урбанизированных территориях (плотность населения более 1000 чел/км<sup>2</sup>), с высокой густотой автомагистралей и ширококолейных железных дорог.

Так же рассчитано соотношение суммарной площади и количества бассейнов, принадлежащих каждой категории (табл. 2).

Таблица 2. Соотношение бассейнов по степени антропогенной нагрузки

Антропогенная нагрузка	Интервал	Количество бассейнов, шт.	Доля от общего количества, %	Площадь, км <sup>2</sup>	Доля от общей площади, %
Нет	0	15051	21,9	61181,42	5,9
Очень слабая	0-0,2	30866	44,9	425594,75	41,4
Слабая	0,2-0,4	15834	23,0	392451,32	38,2
Средняя	0,4-0,6	5245	7,6	121273,88	11,8
Сильная	0,6-0,8	1250	1,8	21330,34	2,1
Очень сильная	>0,8	541	0,8	6175,77	0,6

Территориально, бассейны, попадающие в категории с сильной и очень сильной нагрузкой, сконцентрированы вокруг крупных городов. Их количество, как и площадь, суммарно составляют менее 3%. Большинство бассейнов со слабой и средней антропогенной нагрузкой располагаются на территории лесостепной и степной зон с максимальной сельскохозяйственной освоенностью. На эти ка-

тегории приходится чуть более 30% бассейнов, охватывающих 50% исследуемой территории. Бассейны с нулевой и очень слабой нагрузкой лежат на севере исследуемой территории, в лесной зоне, и на южном Урале. Однако, несмотря на большое количество (почти 22%), бассейны, не испытывающие нагрузки, занимают менее 6% площади ПФО.

*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект №19-17-00064).*

#### Библиографический список

1. Мухарамова С.С., Иванов М.А. Распознавание используемых пахотных земель по многолетним рядам вегетационных индексов MODIS // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем». Казань. 2017. С. 103–111.
2. Ermolaev O.P., Mal'tsev K.A., Ivanov M.A. Automated construction of the boundaries of basin geosystems for the Volga Federal District // Geography and Natural Resources. 2014. Vol. 35. N 3. P. 222–228.
3. Global map of human impact on marine ecosystems / B.S. Halpern [et al.] // Science. 2008. Vol. 319 (5865). P. 948–952.
4. Haklay M., Weber P. Openstreetmap: User-generated Street Maps // IEEE Pervasive Computing. 2008. Vol. 7 (4). P. 12–18.
5. Joint analysis of stressors and ecosystem services to enhance restoration effectiveness / J.D. Allan [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2013. Vol. 110 (1). P. 372–377.
6. Stenis J., Romanov M., Hogland W. Analysis and classification of modern methods of ecological normalization of anthropogenic load: Russia vs. the West // The Open Environmental Engineering Journal. 2011. Vol. 411 (181). P. 181–189.

## **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

Лесные пожары – это стихийные бедствия, которые создают значительный риск для общества, проживающего вблизи лесных ландшафтов. Чтобы минимизировать риск лесных пожаров для устойчивости городского общества и лесных экосистем, мы предложили новую систему среднесрочного (т.е. четырехдневного) прогнозирования опасности лесных пожаров на основе дистанционного зондирования (FFDFS), основанную на существующей структуре, и применили эту систему в лесных районах северной Альберты, Канада.

*Ключевые слова:* пожароопасная обстановка, антропогенный источник возгорания, температура поверхности земли, дистанционное зондирование.

M. Ignatieva, mariyaignatieva@mail.ru

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

## **PRESENTATION OF TECHNOLOGY BASED ON REMOTE SENSING FOR FORECASTING AND ANALYSIS OF FOREST FIRES**

Forest fires are natural disasters that pose a significant risk to a society living near forest landscapes. In order to minimize the risk of forest fires for the sustainability of urban society and forest ecosystems, we proposed a new medium-term (i.e. four-day) remote sensing forest fire hazard prediction (FFDFS) system based on the existing structure and applied this system in forest regions of the north Alberta, Canada.

*Keywords:* fire hazardous situation, anthropogenic source of ignition, surface temperature of the earth, remote sensing.

Лесные пожары являются естественными нарушениями во многих лесных экосистемах по всему миру, в том числе в лесных районах Канады. В канадском лесном ландшафте в среднем происходит около 8600 лесных пожаров в год, которые с 1990 года ежегодно уничтожают в среднем 2,5 миллиона гектаров леса [4]. Стоит отметить, что бореальные леса занимают около 35% общей площади суши и 77% лесных ландшафтов в Канаде, где периодически возникают пожары, при которых 97% сожженных площадей в год вызваны крупными пожарами, что составляет более 200 га [5]. Такая страна, как Канада тратит в среднем от 500 до 1 миллиарда долларов каждый год на тушение пожаров в течение последнего десятилетия. Таким образом, крайне важно изучить возможности возникновения пожаров, т.е. условий пожарной опасности, что является неотъемлемой частью интегрированной системы управления лесными пожарами [6].

В мире действуют различные национальные FFDFS, включая Соединенные Штаты Америки, Канаду, Австралию и Россию.

Мы рассматривали лесные районы се-

верной части Альберты, Канада, в качестве зоны исследования, расположенной между 52–60 северной широты и 110–120° западной долготы. Мы рассмотрели экологические субрегионы, включающие лесную растительность (т.е. как вечнозеленые, так и лиственные широколиственные и игольчатые леса [3]. С точки зрения климата, среднегодовая температура колеблется от -3,6 до 1,1°C, а количество осадков в районе исследования составляет 377–535 мм. Район известен своим коротким летом и продолжительной холодной зимой, а высота над уровнем моря колеблется от 162 до 3596 м [3].

В этом исследовании мы использовали три различных продукта, приобретенных Terra MODIS, включая: дневную поверхностную отражательную способность; суточная температура поверхности суши; и карта земельного покрова Альберты. Ежегодно мы получали ежедневные данные с 30 марта по 29 сентября. Кроме того, мы использовали пространственную базу данных исторических пожаров и два векторных слоя (т.е. сеть дорог и географическая граница), которые были необходимы для исследования.

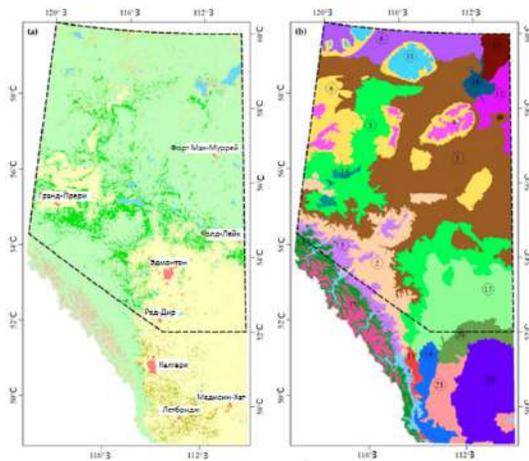


Рис. 1(а). Карта, показывающая земной покров Альберты

После получения полученных из MODIS изображений суточного поверхностного отражения (т.е. MOD09GA) мы генерировали суточные изображения NDVI и NDWI, используя следующие комбинации спектральных полос:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_r}{\rho_{nir} + \rho_r}, \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{swir}}{\rho_{nir} + \rho_{swir}}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – значения отражательной способности для спектральной полосы, и  $r$ ,  $nir$ , и  $swir$  – представляют спектральные полосы с центрами на длинах волн 0,65, 0,86 и 2,13 мкм соответственно.

Затем мы рассмотрели динамику NDVI, NDWI и  $T_s$  за предыдущие четыре дня, то есть от  $i-1$  до  $i-4$  дней, для создания переменных четырехдневных композитов.

В составе композитов NDVI и NDWI мы взяли максимальные значения для каждого пикселя на изображениях в течение периода  $j-1$ , состоящего из  $i-1$  -  $i-4$  дней. В случае композита  $T_s$ , мы рассчитали его значение при  $j-1$  периоде, учитывая только безоблачные пиксели. Затем мы пересчитали составное изображение  $T_s$  с 1 км до 500 м, чтобы оно соответствовало другим композитам как NDVI, так и NDWI. Наконец, мы повторили вышеупомянутые шаги для создания четырехдневных композитов за все пожарные сезоны в период 2015–2017 гг.

После генерации композитов ( $NDVI_{j-1}$ ,  $NDWI_{j-1}$  и  $T_{s,j-1}$ ) в предыдущем подразделе мы вычислили среднее значение для каждой области исследования каждой из переменных. Затем мы вычислили два класса ПО (то есть, высокий и низкий) для

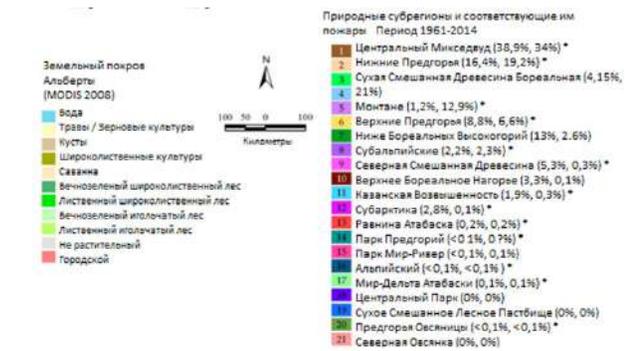


Рис. 1(б). Динамика пожаров в различных субрегионах, где звездочкой отмечены субрегионы, расположенные в районе исследования

каждого из композитов в лесных областях для сравнения мгновенных значений в данном пикселе с их соответствующими средними значениями, вычисленными на предыдущем шаге. Обратите внимание, что в процессе мы использовали продукт MODIS растительного покрова 2008 года (MCD12Q1) для идентификации лесных площадей. Тем не менее, при создании двух классов ПО для каждой из переменных мы предполагали, что величины переменных по отношению к их значениям, относящимся к конкретной области исследования, могут поддерживать возникновение пожара. На следующем шаге мы объединили три карты входных переменных условий опасности, чтобы создать интегрированную карту ПО на следующие четыре дня (т.е.  $j$  период). Эта интегрированная карта ПО была разделена на четыре различных класса ПО (то есть, очень высокий, высокий, средний и низкий) на основе общего числа переменных, которые наблюдались в классе высокой опасности. При интеграции зависящих от переменных условий ПО в модель мы предположили, что влияние переменных композитов  $NDVI_{j-1}$ ,  $NDWI_{j-1}$  и  $T_{s,j-1}$  будет постоянным в течение следующих четырех дней (т.е.  $j$  период). Кроме того, предполагалось, что облачные и теневые пиксели в композитах демонстрируют условия низкой пожароопасности.

Кроме того, мы включили в нашу интегрированную карту ПО статическую переменную, описывающую влияние дорожных сетей ПО [1]. Эта карта ПО имела два класса пожарной опасности: высокий и низкий. Класс высокой опасности включал лесные, расположенные в пределах 500 м буферной зоны, в то время как класс

низкой опасности представлял собой лесные участки, расположенные за пределами буферной зоны. При создании окончательной карты ПО, состоящей из четырех классов ПО (т.е. очень высокого, высокого, среднего и низкого), мы присвоили классы интегрированной карте ПО. Однако окончательный класс пожарной опасности останется неизменным, если карта ПО покажет класс низкой опасности. Обратите внимание, что, хотя случаи возникновения лесных пожаров можно было разделить на две категории в зависимости от их источника возгорания, то есть пожаров,

вызванных человеком и молнией, мы использовали только карту пожарной опасности источника возгорания, вызванного человеком. Это было связано с тем, что недавнее исследование [1] не обнаружило каких-либо существенных улучшений в обнаружении лесных пожаров с использованием источника возгорания, вызванного молнией, в том же географическом регионе. Кроме того, предполагалось, что вероятность возникновения лесных пожаров может быть высокой в пределах 500 м вблизи дорог из-за доступности людей к лесу возле дорог.

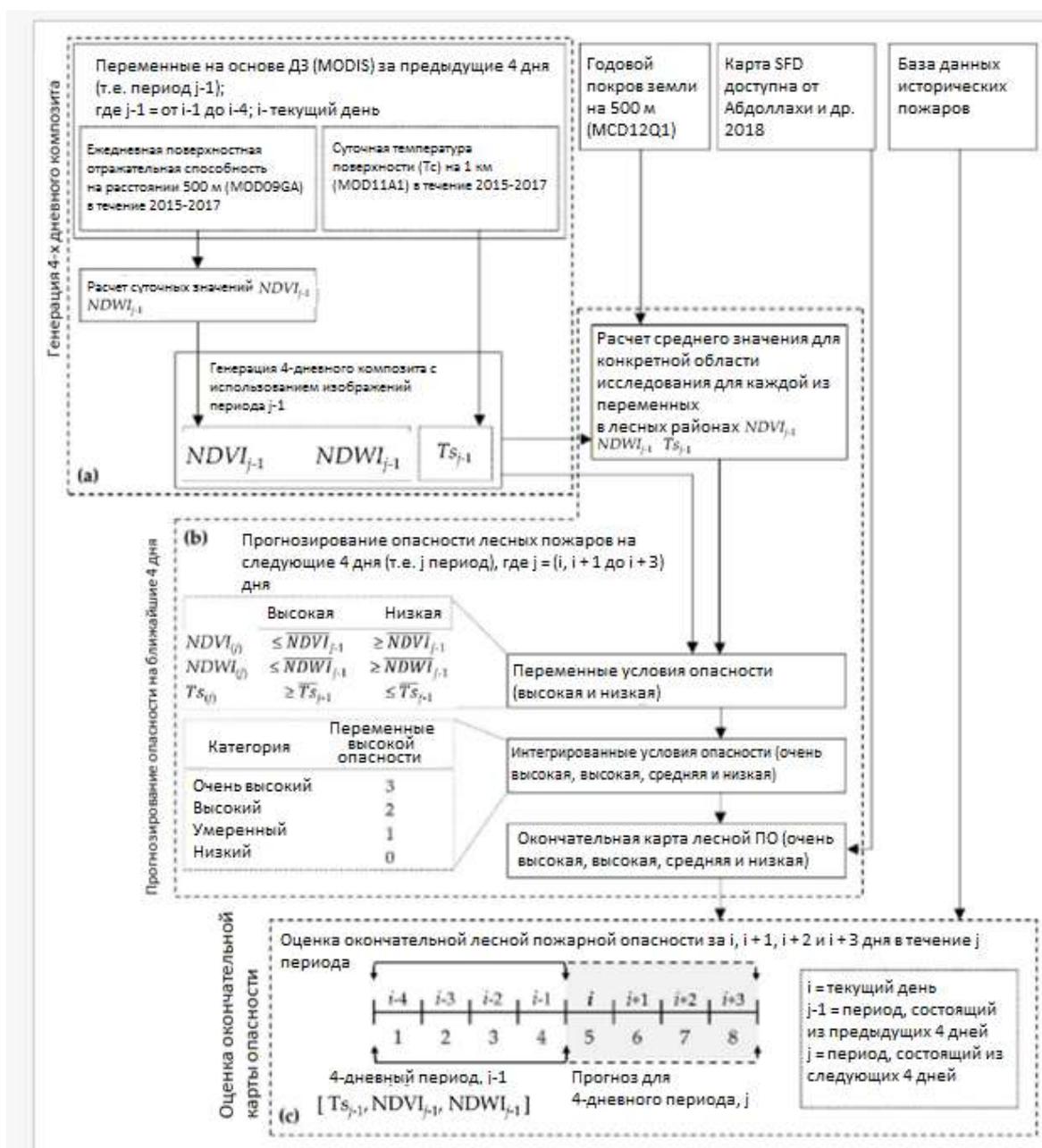


Рис. 2. Концептуальная модель для предлагаемой FFDFS на основе ДЗ в масштабе и ее проверка

Чтобы понять эффективность нашей недавно разработанной модели FFDFS, основанной главным образом на ДЗ, для прогнозирования условий опасности лесных пожаров в течение, мы оценили окончательные карты ПО (описанные в предыдущем подразделе) путем наложения наземных местоположений возникновения лесных пожаров в период 2015–2017 гг. В этом процессе мы рассчитали процентную долю обнаруженных случаев лесных пожаров, выявленных на окончательных картах ПО в течение прогнозируемых следующих четырех дней (т. е.  $j, i+1, i+2$  и  $i+3$  в течении периода  $j$ ;) на ежедневной основе (т. е.  $i$  - это ежедневный/текущий день, включенный в период  $j$ ). Мы дополнительно рассчитали занимаемую площадь каждого класса ПО в окончательных картах ПО за период 2015–2017 гг. Окончательные карты ПО показали, что лесные пожары в среднем на 75,1%, 74,9%, 74,5% и 74,2% произошли в прогнозируемый первый, второй, третий и четвертый день, соответственно, для категорий очень высокой и высокой пожарной опасности в течение периода 2015–2017 гг. Самое высокое совпадение (то есть 75,1%) с прогнозируемым первым днем, самое низкое совпадение (то есть 74,2%) за четвертый день и постепенное снижение с первого до четвертого дня. Однако разница между прогнозируемым первым и четвертым днем для очень высоких и высоких категорий не была значительной (то есть 0,9%). Такая низкая разница показала, что эта модель FFDFS будет подходящей для надежного прогнозирования условий лесных пожаров на срок до четырех дней с использованием нашей предложенной модели.

Среднее совпадение этих прогнозируемых четырех дней для классов очень высокой и высокой опасности в этом исследовании составило около 74,68%, что было выше, чем сообщенная точность (т.е. около 65,51%), достигнутая с помощью восьмидневной шкалы ДЗ на основе прогнозирования исследования [2]. Это было очевидно, потому что краткосрочные прогнозы (например, четыре дня) имеют меньшую неопределенность по сравнению со среднесрочными и долгосрочными прогнозами. Фактически, такая высокая точность при использовании справочных данных, вероятно, была достигнута, потому что эти исследования подтвердили прогнозируемые классы ПО с помощью изображений пятна пожара, полученных из MODIS, вместо использования наземных справочных данных. Обратите внимание, что полученные из MODIS изображения с пятнами пожара

имеют некоторые ограничения, например, они могут вызывать дополнительные ложные срабатывания на ярких / отражающих поверхностях, а значение достоверности продукта варьируется от 0 до 100%.

Получение меньшего охвата территории в наших прогнозируемых картах ПО также может быть связано с интеграцией антропогенной карты ПО в качестве дополнительной переменной в нашем исследовании. В этом случае некоторые из начальных классов умеренной опасности (полученных из переменных  $T_s$ , NDVI и NDWI) были переназначены на класс высокой опасности в окончательных картах ПО, где карта ПО, вызванная человеком, показала высокий класс опасности [1].

Несмотря на то, что наша FFDFS на основе ДЗ показала многообещающую эффективность обнаружения лесных пожаров, мы заметили, что небольшое количество пожаров (то есть 4,35%) было выявлено в категории малой пожарной опасности. Эту ситуацию можно улучшить, включив в эту модель другие переменные, связанные с лесными пожарами, такие как топографические параметры (например, уклон, высота и характер рельефа), которые могут влиять на условия растительности, метеорологические переменные (например, падающая солнечная радиация, осадки и ветер) и тип растительности для определения дефицита воды и наличия топлива для возникновения пожаров.

*Выводы.* В этой статье мы предложили простую, но эффективную шкалу FFDFS. В этой модели учитывались композитные переменные NDVI, NDWI и  $T_s$ , полученные из MODIS, за предыдущие четыре дня, а также переменная ПО на основе источника возгорания от человека, для прогнозирования условий опасности лесных пожаров на следующие четыре дня. Внедрение модели даст около 75% точности в отношении условий очень высокой и высокой опасности. Таким образом, с точки зрения эксплуатации заинтересованные стороны могут инициировать немедленные протоколы при подготовке и эвакуация для определения наиболее безопасных, наиболее эффективных и экономических стратегий для сосредоточения и предоставления доступных ресурсов для прогнозируемых районов с потенциально очень высокой и высокой лесной опасностью. Несмотря на то, что предлагаемая нами система FFDFS демонстрирует многообещающие результаты в бореальном лесу в Альберте, мы настоятельно рекомендуем, чтобы она была оценена для других мест в Канаде или где-либо еще в мире.

## Библиографический список

1. Абдоллахи, М., Ислам, Т., Гупта А., Хассан Q. Усовершенствованная система прогнозирования опасности лесных пожаров: интеграция дистанционного зондирования и исторических источников данных о зажигании. 2018.
2. Актер М.С, Хасан К.К. Дистанционное зондирование оценки пожароопасных условий в бореальном лесу.
3. Комитет природных регионов. Природные районы и субрегионы Альберты / Правительство Альберты. Эдмонтон: АВ, Канада, 2006.
4. Природные ресурсы Канады. Управление пожаром в дикой природе: баланс плохого и хорошего. URL: <http://www.nrcan.gc.ca/foresTc/fire-insecTc-disturbances/fire/13143> (дата обращения: 15.02.2020).
5. Природные ресурсы Канады. Канадская национальная пожарная база данных. URL: <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/ha/nПОб> (дата обращения: 16.02.2020).
6. Природные ресурсы Канады. Факты о лесных пожарах в Канаде. URL: <http://www.nrcan.gc.ca/foresTc/fire-insecTc-disturbances/fire/13143> (дата обращения: 17.02.2020).

УДК 528.94

М.В. Карманова, Е.В. Комиссарова, karmmv@yandex.ru  
Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Россия

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЧС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧС И ПРОИСШЕСТВИЙ

В статье рассмотрены основные блоки функциональной схемы цифровой системы картографического обеспечения (ЦСКО). Показан алгоритм сбора информации для формирования реляционной базы данных системы. Приведены примеры выявления угроз возникновения происшествий на территории города Барнаула в результате использования системы.

*Ключевые слова:* картографическое обеспечение, чрезвычайная ситуация, цифровая система, реляционная база данных.

M. Karmanova, E. Komissarova, karmmv@yandex.ru  
Siberian State University of Geosystems and Technologies,  
Novosibirsk, Russia

### DATA FROM THE DIGITAL MAPPING SYSTEM FOR EMERGENCY RESPONSE SERVICES

The article considers the main blocks of the functional scheme of the Digital Mapping System for emergency response services. An algorithm for collecting information for forming a relational database of the system is shown. Examples of identifying threats of accidents in the city of Barnaul as a result of using the system are given.

*Keywords:* mapping software, emergency, digital system, relational database.

Использование картографического и геоинформационного анализа в оперативной деятельности органов управления в чрезвычайных ситуациях (ЧС) позволяет выявлять сложные взаимосвязи между объектами геопространства чрезвычайной ситуации (ГЧС) [3], анализировать влияние антропогенного фактора на причины возникновения ЧС и происшествий, а также установить характерные законо-

мерности повторяющихся событий [1]. В ходе исследования и анализа ГЧС разрабатываются карты, используемые как самостоятельный информационный материал, так и как основа для оперативных документов дежурно-диспетчерских служб и оперативных групп.

Для своевременного обеспечения Муниципального казенного учреждения «Управление по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям г. Барнаула» (УГОЧС) необходимым картографическим материалом было необходимо разработать цифровую систему картографического обеспечения (ЦСКО), состоящую из пяти блоков.

1) *блок сбора данных*, состоящий из трех уровней: данные цифровой картографической основы, тематические данные органов управления в ЧС и оперативные данные, поступающие непосредственно с места ЧС;

2) *блок хранения информации*: база пространственных данных и база семантических данных;

3) *блок обработки информации*: инструментальные ГИС с библиотекой модулей для пространственного анализа информацией о ЧС и СУБД с библиотекой запросов;

4) *блок визуализации информации*, представленный макетами картографических документов, составляемых на основе классификаторов условных обозначений и объектов карты;

5) *блок визуализации информации*, обеспечивающий вывод электронных карт на мониторы автоматизированных рабочих мест, панели систем оповещения и мобильные устройства.

Прежде чем приступить к разработке второго и третьего блока, включающих в себя реляционную базу данных, был изучен опыт работы УГОЧС г. Барнаула на примере информации, содержащейся в текстовых и табличных документах, ежедневно обрабатываемых работниками единой дежурно-диспетчерской службы (ЕДДС) управления и оперативных групп, выезжающих на место ЧС и происшествий. единой дежурно-диспетчерской службы (ЕДДС) УГОЧС:

- оперативные донесения;
- суточные отчеты,
- донесения оперативных групп.

Всего было изучена информация о 4275 событиях, произошедших на территории городского округа в 2019 году. Все данные были разделены по группам, в со-

ответствии с видом ЧС или происшествий:

- происшествия на акваториях (гибель людей на водных объектах, аварии на объектах речного судоходства и т. д.);
- наводнения;
- аварии на объектах жилищно-коммунального хозяйства (порывы на трубопроводах, нарушение теплоснабжения и т. д.);
- аварии на автономных электростанциях с долговременным перерывом электроснабжения всех потребителей;
- техногенные пожары (в зданиях и сооружениях);
- ландшафтные (природные) пожары (лесные пожары, сельскохозяйственные палы);
- дорожно-транспортные происшествия;
- террористические угрозы;
- обрушения строительных конструкций (в зданиях, на путепроводах и т. д.);
- опасные метеорологические условия;
- заболевания людей.

Исходя из представленной в документах ЕДДС информации, для каждой группы были разработаны унифицированные формы, на основе которых в дальнейшем была разработана схема реляционной базы данных ЦСКО.

На стадии сбора информации использовались таблицы Microsoft Excel, в которых для каждого происшествия вводилась информация об уровне события (ЧС, происшествие, событие), дате, времени возникновения и времени ликвидации, районе города, адресе (населенный пункт, улица, дом) для привязки места к адресному плану города.

Далее для каждого вида событий были разработаны блоки:

- информация, свойственная данному виду;
- учет погибших и пострадавших;
- учет сил и средств, участвующих в ликвидации последствий события (ЧС или происшествия);
- блок метеоусловий, при которых возникло событие.

Каждое событие было нанесено на план г. Барнаула, что позволило выявить закономерности, не определенные при использовании иных методов анализа.

1) *Локализация мест, наиболее уязвимых для возникновения событий*. Например, более 52% техногенных пожаров (пожары, возникающие в техносфере [2]), отмечен-

ных за 2019 год на территории городского округа можно отнести к категории «возгорание мусора». Очагом возгорания может являться как мусорный контейнер, так и мусор, лежащий на открытой площадке. В карточках пожаротушения привязка к месту идет по адресу ближайшего здания. Ранее поиск в базе можно было проводить только по совпадению адресов. Если адреса соседних домов отличались не только номером дома, но и улицей, например, у домов на перекрестках дорог, то места очага пожара не идентифицировались как одна и та же локация. Не смотря на то, что подобный вид пожаров редко представляет угрозу, на его ликвидацию используются ресурсы пожарной охраны. Чаще всего возгорание в частном секторе связано с выбросом неостывшей золы из печей или окурков, поэтому наиболее эффективным средством профилактики является работа с местным населением. Тот же принцип позволяет выявить наиболее уязвимые места подтопления жилых домов талыми или грунтовыми водами и заранее провести ряд превентивных мероприятий (расчистка и вывоз снега, эвакуация населения и т. д.). Данный метод хорошо зарекомендовал себя и при выявлении аварийных участков теплотрасс и водопроводов, что позволит администрации контролировать деятельность тепло- и водоснабжающих организаций.

2) *Построение моделей повторяющихся событий.* Одним из наиболее уязвимых для весеннего половодья мест в Барнауле является микрорайон Затон, расположенный на правом берегу в пойме реки Оби. В 2014 году было затоплено более 80% его территории. Используя данные из ежедневных донесений оперативной группы управления, содержащих информацию об изменениях уровня воды в реке и количестве подтопленных зданий и приуса-

дебных участков, а также сравнивая их с донесениями прошлых лет, удалось уточнить и дополнить трехмерную модель подтопления. TIN-модель рельефа в ней была построена по топографическому плану масштаба 1:25 000 и обладала рядом недостатков: мелкий масштаб, отсутствие свежих данных о рельефе. На основе уточненной модели были созданы карты района ЧС, которые возможно использовать в работе спасателей.

3) *Иллюстрация связи погодных условий с возникновением событий.* Внесение в базу данных информации о погодных условиях, сопровождающих возникновение ЧС или происшествий, позволяет выявить и проиллюстрировать не только очевидные закономерности – увеличение пожаров в частном секторе при понижении температуры воздуха или подтопление домов талыми водами при ее повышении, но и менее заметные. Например, в январе 2019 года разница между дневными и ночными температурами воздуха составила в среднем 5–10°C. Так же для этого месяца было отмечено возросшее число возгораний легковых автомобилей. Нанесение на карту мест возгораний и анализ времени начала событий позволило выявить, что все случаи были отмечены на открытых парковках вблизи многоквартирных жилых массивов в ночное время. Это позволило предположить, что причиной увеличения числа пожаров данной категории стала необходимость прогрева двигателей автомобилей.

Приведенные примеры показывают, что создаваемая ЦСКО позволит не только обеспечить автоматизацию создания картографических документов, но и позволит применять методы картографического и геоинформационного анализа для выявления параметров возникновения ЧС и происшествий.

### Библиографический список

1. Бешенцев А.Н. Научные основы информационной концепции картографического метода исследования // Вестник СГУГиТ. 2018. Т. 23. №1. С. 85–110.
2. *Гражданская защита: энциклопедия* в 4 т. Т. IV (Т – Я) / под общ. ред. В.А. Пучкова, МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. 496 с.
3. Карпик А.П., Ким Э.Л., Дубровский А.В. Анализ природных и техногенных особенностей геопространства чрезвычайной ситуации // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). Новосибирск: СГГА. 2012. Т. 3. С. 171–177.

## СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ В КАРТОГРАФИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

В статье обосновываются и предлагаются методы и технологии сетевого анализа для геоинформационного анализа и картографирования энергосистем России. Приведены классические показатели для исследования сетей, а также альтернативные подходящие для исследования электрических сетей. Описаны возможные перспективы картографирования сетевых показателей.

*Ключевые слова:* геоинформационный анализ, пространственные структуры, уязвимость, электрические сети.

A. Karpachevskiy, karpach-am@yandex.ru

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

## NETWORK ANALYSIS IN POWER GRID SUSTAINABILITY MAPPING

The article substantiates and suggests methods and technologies of network analysis for geo-information analysis and mapping of power systems in Russia. Classical indicators for the study of networks, as well as alternative ones suitable for the study of electric networks, are given. Possible prospects for mapping network indicators are described.

*Keywords:* GIS-analysis, spatial structures, vulnerability, power grid.

Электроэнергетический рынок России неуклонно растёт уже много лет подряд. Так, за один только 2019 г. в Единой энергосистеме России было введено в эксплуатацию почти 3 000 МВт мощности, а потребление электроэнергии в объединённой энергосистеме Востока выросло на 18%. Введено 65 линий электропередач напряжением 220 кВ и выше, в т. ч. почти половина из них на территории объединённых энергосистем Сибири и Востока. Такая статистика говорит о темпах экономического освоения восточных регионов страны.

Наличие на территории России многочисленных изолированных энергосистем обуславливает необходимость интеграции путём строительства новых объектов электроэнергетики, которые позволят резервировать питание конечных потребителей, повышая надёжность и качество энергоснабжения. Практически полное отсутствие работ, посвящённых пространственному изучению границ и структуры изолированных энергосистем, не позволяет разрабатывать полноценную стратегию, которая бы предусматривала сценарии интеграции.

Заслуживают интереса и другие регионы страны. Так, неоднократно случались долговременные отключения электричества на обширных территориях (блэкау-

ты) в 2005 году (чагинская авария), в 2011 году (массовые отключения из-за ледяного дождя) и т.д. Таким образом, необходимость анализа структуры энергосистемы и её устойчивости к внешним воздействиям требует отдельного рассмотрения.

Картографические и геоинформационные методы играют ключевую роль в анализе пространственных особенностей размещения объектов электроэнергетики, диспропорций в надёжности их функционирования. Для получения представления о структуре энергосистемы, её эволюции и возможных будущих путях развития необходима тесная интеграция геоинформационного и картографического инструментария с методами анализа комплексных сетей.

Сетевой анализ предоставляет широкий набор инструментов [2; 4; 5; 8] которые позволяют извлекать и оценивать множество полезных и интересных свойств географических сетей. Тем не менее, очень редко в этих работах затрагиваются электрические сети, которые обладают рядом особенностей топологической структуры [1], требующих особых подходов для моделирования.

На данный момент множество работ отечественных и зарубежных учёных [3; 6; 7; 9] направлено на изучение электри-

ческих сетей как комплексных сетей – сетей, характеризующих нетривиальной топологической структурой. Тем не менее, в большинстве работ не стоит задача картографирования или геоинформационного анализа – в основном это использование схематических моделей графов без привязки к местности и учёта реальных пространственных конфигураций.

Обобщая исследования в рамках направления анализа комплексных сетей, можно перечислить следующие ключевые сетевые показатели:

- Коэффициент кластеризации (транзитивность) – показатель, характеризующий неравномерность топологической структуры, т.е. выявляющий своеобразные ядра кластеризации, где связь между пунктами наиболее сильная;

- Средняя длина кратчайших путей – один из индексов К. Канского ( $\eta$ ), характеризующий меру связности внутри сети, т.е. при высокой связности средняя длина пути будет относительно маленькой;

- Степень вершин – количество инцидентных рёбер, т.е. количество подключенных рёбер;

- Центральность по промежуточности – доля кратчайших маршрутов, проходящих через элемент сети, т.е. иллюстрирует нагрузку на узел или ребро.

В перспективных исследованиях на основе открытой библиотеки networkx языка программирования Python планируется разработать набор инструментов для расчёта структурных показателей. В предыдущих исследованиях [1] была обоснована применимость таких показателей как альтернативность, электросетевая центральность и топологическая удалённость – тогда их расчёт был реализован средствами библиотеки arcsu. По своей сути альтернативность – это аналог степени вершины (центральности по степени). Его отличие заключается в том, что в расчёт берутся только те рёбра, которые могут выступать в качестве питающих со стороны электростанции. Таким образом, если к пункту подключена тупиковая ЛЭП, то она не учитывается в альтернативности. В качестве меры удалённости от объектов генерации выступает топологическая удалённость, то есть количество промежуточных ЛЭП в кратчайшем пути энергоснабжения. Вместо центральности по промежуточности используется электросетевая центральность, которая учитывает только долю путей от потребителя к электростанции, а не между всеми вершинами.

Картографирование перечисленных показателей даёт возможность пространственно оценить особенности структуры энергосистем, под которой понимается связность отдельных элементов и дифференциация в нагрузке. Для магистральных сетей России была составлена карта, на которой количественным фоном показано сочетание топологической удалённости и альтернативности подстанции и окружающей её территории. Центральность ЛЭП показана толщиной линии, что явно символизирует её нагрузку. Фрагмент легенды показан на рисунке 1.

Этим примером не ограничиваются возможности использования сетевого анализа для картографирования структуры энергосистем. В дальнейшем планируется полностью перевести инструменты расчёта на библиотеку networkx, а также дополнить другими инструментами и показателями, например, эффективностью, другими видами центральности, транзитивностью, выявлением срезов графов [8]. По набору перечисленных показателей становится возможной оценка структуры сети с точки зрения критериев тесного мира и масштабно-инвариантной модели [7].

На основе сопоставления показателей за разные годы открываются возможности для исследования закономерностей пространственно-временной структуры электрических сетей. По разности показателей за разные годы можно строить карты динамики, а на основе многолетнего ряда – эволюционные особенности развития энергосистемы, её самоорганизации. Таким образом, сетевой анализ – новый широкий метод картографирования электрических сетей, позволяющий извлечь новые знания о пространственно-временной структуре энергосистем.

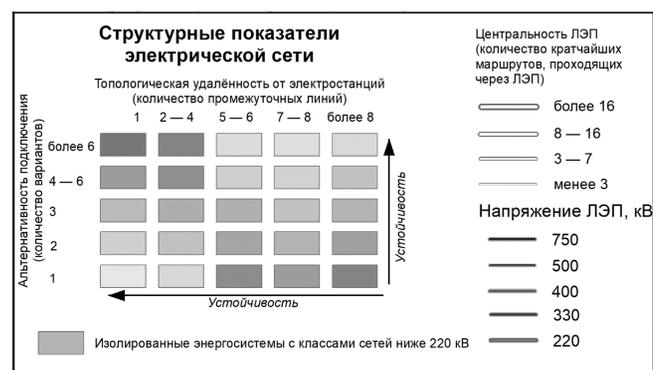


Рис. 1. Фрагмент легенды карты структурных особенностей магистральных электрических сетей России

### Библиографический список

1. Карпачевский А.М., Новаковский Б.А. Возможности использования инструментов ГИС-пакета arcgis для структурного анализа электрических сетей // Геоинформатика. 2019. №2. С. 4–11.
2. Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск – М.: Издательство «Универсум», 2005. 384 с.
3. Фаддеев А.М. Оценка уязвимости энергосистем России, стран Ближнего зарубежья и Европы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. №1. С. 46–53.
4. Barthelemy M. Morphogenesis of spatial networks. 2018. 331 p.
5. Kansky K.J. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // Chicago University, Department of geography, Research Paper. 1963. №84. 156 p.
6. Makrushin S. Analysis of Russian power transmission grid structure: small world phenomena detection. In: Kalyagin V., Nikolaev A., Pardalos P., Prokopyev O. (eds) // Models, Algorithms, and Technologies for Network Analysis. NET 2016. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, Springer, Cham. 2017. Vol. 197. P. 107–125.
7. Mei Sh., Zhang X., Cao M. Power grid complexity. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. p. 455.
8. Newman M. Networks. Oxford University Press, 2018. 780 p.
9. Pagani G.A., Aiello M. The Power Grid as a Complex Network: a Survey // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2013. Vol. 392. №11. P. 2688–2700.

УДК 910.26:528.77

М.А. Кондратьева, А.Н. Чашин, pochva@pgsha.ru  
 Пермский государственный аграрно-технологический университет  
 им. Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

#### ДЕТАЛЬНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Картографирование почвенно-растительного покрова отвалов Кизеловского бассейна выполнено на основе материалов полевого обследования и данных дистанционного зондирования. На карте растительности выделено две растительные группировки: луг разнотравно-злаковый и мелколиственный лес, а также участки пустоши. На почвенной карте выделены три типа техногенных почв: эмбриоземы инициальные, органо-аккумулятивные и гумусово-аккумулятивные.

*Ключевые слова:* техногенные ландшафты, угольные отвалы, самозарастание, данные дистанционного зондирования.

М. Kondrateva, A. Chashchin, pochva@pgsha.ru  
 Perm State Agro-Technological University name of D.N. Prjanishnikov, Perm, Russia

#### DETAILED MAPPING OF SOIL AND VEGETABLE COVER OF TECHNOGENIC LANDSCAPES OF THE KIZEL COAL BASIN

Mapping of the soil and vegetable cover of the coal mines dumps of Kizelovsky basin is based on field survey data and remote sensing data. On the vegetation map, two plant groupings are subdivided: a motley grass-grasses association and small-leaved forests, as well as areas of wasteland. Three types of technogenic soils were shown on the soil map: embryozems initial, organo-accumulative and humus-accumulative.

*Keywords:* technogenic landscapes, coal mines dumps, self-overgrowing, remote sensing data.

Горнопромышленные ландшафты, возникающие в районах добычи полезных ископаемых, представляют собой сильно нарушенные земли. Этому в значительной степени способствует комплексный характер воздействия на окружающую среду при добыче, сопровождающийся в том числе извлечением, перемещением и складированием значительных объемов горных пород. Эксплуатация Кизеловского угольного бассейна на территории Пермского края велась с 1797 по 1997 годы. За эти годы общая площадь техногенных ландшафтов, утративших природные характеристики под влиянием угледобычи, составила 456 га [8]. Нарушенные ландшафты на сегодняшний день предоставлены процессам естественного самовосстановления, которые сводятся к процессам самозарастания отвалов и формированию на их поверхности молодых почв. Процессы самозарастания изучены в работах [3; 6; 9]. Процессы почвообразования, свойства техногенных почв, вопросы их классификации рассмотрены в публикациях [1; 2; 5–7; 11].

Объектами исследования стали отвалы шахт «Крупская» и «1 Мая», расположенные на территории городского округа Губаха. Территория округа находится в подзоне южной тайги на западном склоне Среднего Урала. Отсыпка отвала шахты «1 Мая» была прекращена в 70-е годы прошлого века, отвала шахты «Крупская» в начале 90-х гг. Площади отвалов около 7,0 га, слагающие их породы состоят преимущественно из обломков кварцитов, кварцевых песчаников с включениями каменного угля. Присутствие угля определяет степень фитотоксичности отложений, обусловленную высоким содержанием серы 6–8% [8]. Отвал шахты «Крупская» располагается в пойме реки Косьва и представляет собой плосковершинный холм, южный, западный и восточный склоны которого имеют значительную крутизну. Отвал шахты «1 Мая» расположен на склоне Ладейного лога, поверхность его террасирована в направлении уклона. Поверхности отвалов осложнены микроповышениями и выемками. В настоящее время площади зарастания составляют 2,6 и 6,0 га для «Крупской» и «1 Мая» соответственно. Полевое почвенно-геоботаническое обследование отвалов производилось в период 2018–2019 гг.

Картографические материалы выполнены в детальном масштабе (1:2000) в геоинформационной системе с открытым кодом QGIS. Для создания карт раститель-

ности (рис. 1) были проведены наземные обследования по предварительно выделенным контурам растительных группировок. Выделение контуров растительности выполнено по высокодетальным снимкам (0,5 м) покрытия ESRI Satellite (ArcGIS/World\_Imagery), которые получены при помощи модуля Quick Map Services QGIS. Выделение контуров основано на проведении неконтролируемой классификации снимков по методу K-средних (k-means). При классификации, основываясь на полевых наблюдениях, задавалось 3 класса поверхностей: 1 класс – открытая поверхность отвала (пустошь), 2 класс – травянистая растительность и 3 класс – древесная растительность.

Почвенные карты построены на основе результатов полевого почвенного обследования по контурам растительных группировок. Согласно существующим нормативам почвенной съемки, в детальном масштабе, наименьший размер почвенного контура не должен превышать 4 м<sup>2</sup> [4]. Поэтому контуры почв, совпадающие с границами растительных группировок меньшей площади, были объединены с преобладающей почвой.

Классификационная принадлежность почв, формирующихся на поверхности отвалов, определялась по В.А. Андроханову с соавторами [1]. Молодые (15–40-летние) органо-аккумулятивные образования составляют эволюционный ряд почв, который начинается от эмбриоземов инициальных, которые в дальнейшем эволюционируют в эмбриоземы органо-аккумулятивные, затем в дерновые, и наконец, в гумусово-аккумулятивные. Диагностика горизонтов выполнена в соответствии с [10].

По результатам геоботанического обследования на поверхности отвалов было выделено несколько типов растительных группировок, соответствующих стадиям посттехногенной сукцессии [12]. Пионерные растительные группировки представлены мать-и-мачехой (*Tussilago farfara*), полынью обыкновенной (*Artemisia vulgaris*), метлицей полевой (*Apéraspíca vénti*), проростками березы (*Bétula*). Степень проективного покрытия не превышает 15–20 %. В составе более сложных группировок, представленных на карте растительности как луг разнотравно-злаковый, присутствуют лютик едкий (*Ranúnculus ácris*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), полынью обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), пырей ползучий (*Agropyron répens*), горошек мышиный (*Vícia crácca*),

подмаренник цепкий (*Galium aparine*), иванчай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*). Степень проективного покрытия таких сообществ может достигать 80%.

В группировках с древесной растительностью, представленных на картах как мелколиственный лес, ведущая роль принадлежит одновидовым сообществам березы (*Bétula pendula*). Сомкнутость древостоев может достигать 50–60%. Надпочвенный покров, как правило, разрежен, преобладают мхи и лишайники. Степень проективного покрытия редко превышает 25%, но в ряде случаев может достигать 60% и более.

По материалам полевого обследования на поверхности отвалов диагностированы три типа почв: эмбриоземы инициальные, органо-аккумулятивные и гумусово-аккумулятивные (рис. 2).

Эмбриоземы инициальные занимают значительные площади на отвале шахты «Крупская», приурочены как к склонам, так и горизонтальным поверхностям на вершине отвала. В меньшей степени они распространены на отвале шахты «1 Мая». Распространение эмбриозем инициальных соответствует пустошам. Рассмотрим профиль эмбриозем инициальных на примере разреза 22 (318), заложенного на плоской вершине отвала шахты «Крупская».

$R_1$  (0–5 см) – сильнокаменистая порода, содержание мелкозема не более 10% от массы, в составе наиболее крупных обломков присутствуют кварцевые сланцы, более мелкие обломки содержат включения угля, цвет черный, слегка уплотнен. Мелкозем имеет темно-серую окраску, супесчаный гранулометрический

состав, практически не агрегирован.

$R_2$  (5–25 см) – сильнокаменистая порода, сильно уплотнена, содержание мелкозема менее 5 %, петрографический состав аналогичен верхнему слою, но размеры обломков крупнее, окраска темно-серая. Мелкозем имеет легкосуглинистый состав.

Эмбриоземы органо-аккумулятивные формируются под березовым редколесьем со слабо развитым напочвенным покровом из мхов. Ведущим процессом является подстилкообразование. Строение профиля эмбриозем данного типа соответствует разрезу 21 (416). Разрез был заложен на вершине отвала шахты «Крупская». Растительность представлена березовым редколесьем, степень проектированного покрытия мохово-лишайниковой растительностью не более 25%. Почва: эмбриозем органо-аккумулятивный.

$A_0$  (0–2 см) – слой многолетней подстилки, состоящий из листового опада, не утратившего своего строения; в нижней части на контакте с породой степень разложения возрастает;

$W$  (2–5 см) – гумусово-слаборазвитый горизонт, наиболее темный в профиле, серо-бурый, имеет признаки агрегированности в виде неясно комковатой структуры, пронизан корнями, содержит мелкие обломки угля;

$R$  (5–25 см) – плотная порода, окраска неоднородная, в составе небольших обломков кварцевые сланцы и фрагменты углей. Породы имеют признаки окисленности в виде желтовато-бурой окраски. Содержание крупнозема 60%, мелкозем легкосуглинистый.

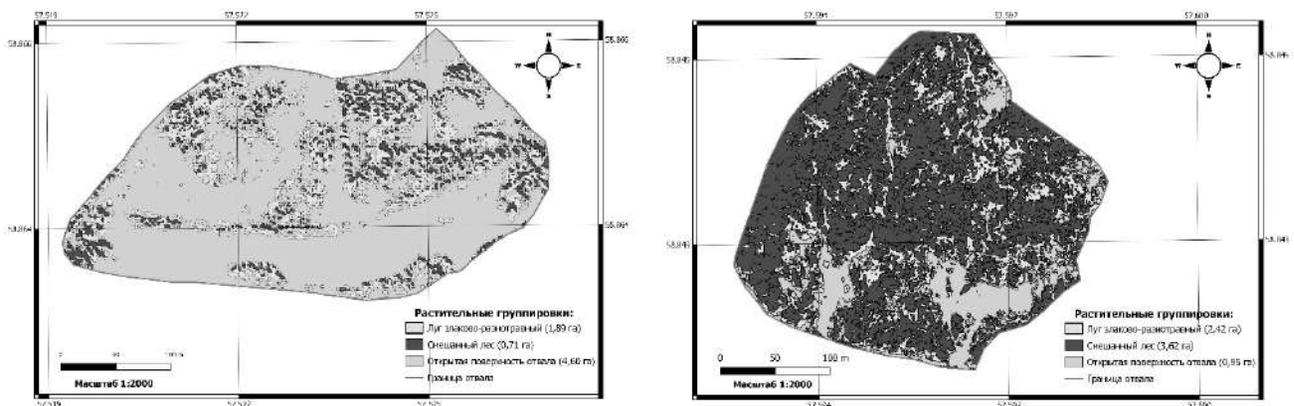


Рис. 1. Карты растительности отвалов шахт «Крупская» (а) и «1 Мая» (б)

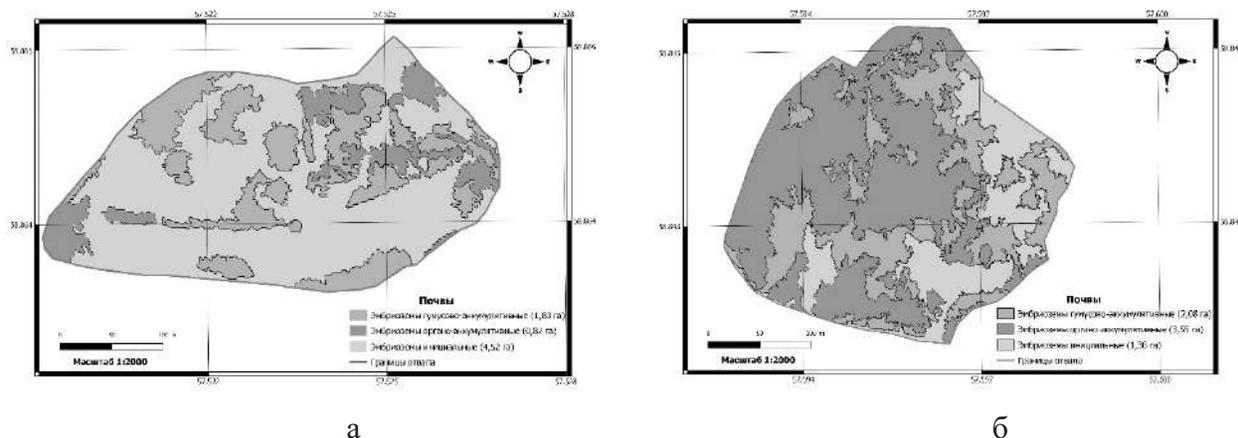


Рис. 2. Почвенные карты отвалов шахт «Крупская» (а) и «1 Мая» (б)

Эмбриоземы гумусово-аккумулятивные развиваются под плотным травянистым покровом и имеют ограниченное распространение. Строение профиля рассмотрим на примере разреза 17 (132), заложенного на вершине отвала шахты «Крупская». Растительность на месте закладки разреза разнотравно-злаковая: лютик едкий (*Ranunculus ácris*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), фиалка трехцветная (*Viola tricolor*), горошек мышиный (*Vicia cracca*), пырей ползучий (*Agropyron repens*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), метла (*Aperaspica venti*). Глубина разреза 35 см. Почва – эмбриозем грубогумусовый:

Ад (0–2 см) – темно-серая плотная дернина, густо переплетена корнями, содержит обломки пород, оплетенные

корнями и мелкозем темно-серого цвета и легкосуглинистого состава.

АО (2–17 см) – темно-бурый, состоит из смеси органического вещества и хорошо выветрелых мелких обломков кварцитовых сланцев и углей, густо пронизан корнями;

Р (17–35 см) каменистая, слегка дезинтегрированная порода с высоким содержанием угля, темно-серого, почти черного цвета. Содержание мелкозема около 20%, состав мелкозема легкосуглинистый.

Полученные детальные карты растительного и почвенного покрова дают наглядное представление о направлении и темпах восстановления нарушенных добычей угля ландшафтов.

### Библиографический список

1. Андроханов В.А., Куляпина, Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск, 2004. 151 с.
2. Брагина П.С., Герасимова М.И. Техногенные поверхностные образования на отвалах и хвостохранилищах в Кемеровской области: опыт классификации // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. № 89. С. 90–103.
3. Дубынина С.С. Сингенез и продуктивность естественной растительности на отвалах угольного бассейна Красноярского края // Международный журнал экспериментального образования. Лондон. 2015. № 11. С.143–145.
4. Евдокимова Т. И. Почвенная съемка: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1987. 271 с.
5. Кондратьева М.А. Почвообразование на угольных отвалах Кизеловского бассейна // Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах: материалы Международной научной конференции I Никитинские чтения» (19–22 ноября 2019). Пермь: ИПЦ «Прокрость». 2020. С. 249–252.
6. Кондрашин Е.Р. Сингенез и продуктивность естественной растительности и полукультурных фитоценозов на отвалах угольных разрезов Кузбасса // Почвообразование в техногенных ландшафтах. Новосибирск: Наука, 1979. С. 163–172.

7. Костенко И.В., Опанасенко Н.Е. Органическое вещество техногенных почв и субстратов на отвалах сульфидных шахтных пород (углистых аргиллитов) Западного Донбасса // Почвоведение. 2007. №3. С. 348–358.
8. Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения: монография. Пермь: Гос. нац. исслед. ун-т, 2018. 288 с.
9. Микрюкова Е.В. Динамика естественного зарастания отвалов угледобычи на Среднем Урале: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург, 2006. 25 с.
10. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 182 с.
11. Почвы на отвалах вскрышных пород в лесостепной и горно-таежной зонах Кузбасса / Брагина П.С. [и др.] // Почвоведение. 2014. №7. С. 878–889.
12. Чащин А.Н., Кондратьева М.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозарастания угольных отвалов Кизеловского бассейна // Географический вестник. 2019. №2. С. 135–147.

УДК 550.814:911.5

С.В. Копытов, Н.Н. Назаров, kopytov@psu.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет г. Пермь, Россия*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ В ИЗУЧЕНИИ ДРЕВНИХ РУСЛОВЫХ СИСТЕМ

Процесс установления следов руслового воздействия на поверхности озерной террасы включал поиск комбинаций каналов, наилучшим образом выявляющих контуры эрозионных систем. Исследования показали, что высокими поисковыми качествами для индикации песчаных валов и грив характеризуются комбинации ближнего ИК (7–6–5). Комбинация ближнего, коротковолнового ИК и красного видимого каналов (5–6–4) является основной при индикации видового состава растительности и степени увлажнённости пойменных и болотных (торфяных) геосистем.

*Ключевые слова:* Кельтминская ложбина, дешифрирование, комбинация каналов, плейстоцен, русловая система.

S.V. Kopytov, N.N. Nazarov, nazarov@psu.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## THE USE OF SATELLITE DATA IN THE STUDY OF ANCIENT CHANNEL SYSTEMS

The identification of channel effects on the surface of the lake terrace included the search for channel combinations showing the contours of erosion systems. According to the results of the analysis of satellite images, the best geomorphological expression of the erosion relief was obtained for bands combinations of the SWIR and NIR 7–6–5 (indication of sandy bars and ridges, indication of the moistening degree of upper bog facies) and NIR, SWIR and RED bands —5–6–4 (indication of the vegetation species composition and the moistening degree of floodplain and swamp peat geosystems).

*Keywords:* Keltma hollow, space image interpretation, combination of bands, Pleistocene, channel system

Перестройка гидрографической сети в долине верхнего течения Камы уже на протяжении долгого времени является предметом исследований, направленных на решение различных палеогеографических проблем региона. Тем не менее, пока нет однозначных ответов на вопросы о времени и продолжительности объединений бассейна Камы с бассейнами Вятки, Вычегды и Печоры в этот период. Существует

неопределенность в последовательности этапов развития русловых систем в Верхнекамской депрессии и примыкающей к ней Кельтминской ложбины, территориях на протяжении всего плейстоцена являвшихся местом сосредоточения главных перестроек русловых систем в Прикамье. Способствовать получению современных знаний о масштабах, скорости и направленности перестройки речной сети сегодня

ня может внедрение новых методов и технологий дистанционного зондирования земной поверхности, а также возросшая в последние десятилетия доступность материалов космических съемок [2].

В качестве основного метода при изучении древних эрозионных систем (особенностей формирования мезо- и микро-рельефа, распределения растительности, характера и степени увлажнения) применялось дешифрирование космических снимков со спутника Landsat-8 OLI, SPOT-5 за период 2014–2018 гг. и данным открытого картографического сервиса ESRI ArcGIS World Imagery. Важное место в исследованиях также отводилось анализу разрезов и скважин из отчетов Камской партии Печорской экспедиции Всесоюзного гидрогеологического треста [1]. Для изучения особенностей строения рельефа применялись наиболее приемлемые для геоморфометрического анализа и построения топографических профилей цифровые модели рельефа из свободно распространяемых (ArcticDEM, Alos DEM, TanDEM-X), а также созданных на основе векторизации карт масштаба 1:100 000 и 1:25 000.

Дешифрирование космических снимков показало, что современный «рисунок» геосистем, читающийся на многоканальных космических снимках Landsat, выглядит довольно сложно. На фоне типичных болотных урочищ, отличающихся разнообразием ландшафтной структуры, располагается несколько видов «не болотных» геосистем, конфигурация и разнообразие цветов которых косвенно указывают, во-первых, на их генетическую неоднородность, а во-вторых, на принадлежность к образованиям (геосистемам) различного времени заложения и последующего развития. Решение задачи по установлению местоположения древних русел – пространственно-временных реперов перестройки гидросети в пределах Верхнекамской депрессии в неоплейстоцене и голоцене осуществлялось с использованием снимков, полученных 13 августа 2017 г. и 12 мая 2018 г. со спутника Landsat 8 OLI (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) с разрешением 30 м в спектральных каналах Coastal/Aerosol (0,435–0,451 мкм), Blue (0,452–0,512 мкм), Green (0,533–0,590 мкм), Red (0,636–0,673 мкм), NIR (0,851–0,879 мкм), SWIR-1 (1,566–1,651 мкм), SWIR-2 (2,107–2,294 мкм), Cirrus (1,363–1,384 мкм). Перед началом работы проводилась геометрическая коррекция снимков по опорным точкам и радиометрическая калибровка.

Процесс определения следов руслового

воздействия на поверхность озерной террасы на начальном этапе включал в себя случайный выбор комбинаций каналов, наилучшим образом «показывающих» дешифрировщику контуры отдельных эрозионных систем. В качестве их элементов, как правило, выступали аккумулятивные образования, формирующиеся непосредственно в руслах или на поймах доголоценовых водотоков. К таким формам в пределах относительно ровной поверхности Верхнекамской депрессии относятся древние прирусловые валы, гривы («веера блуждания») и бывшие речные острова.

Попытка выявить древние русловые системы в Верхнекамской депрессии началась с комбинации каналов видимого диапазона (4–3–2 – «естественные цвета») и продолжилась с использованием комбинаций «искусственных цветов». Выделение центральной русловой системы (ЦРС) происходило в процессе работы с изображением, полученном в синем спектре летнего снимка. Комбинация 7-6-5 не включает ни одного канала из видимого диапазона, но обеспечивает оптимальное распознавание местоположения песчаных грив и валов, оконтуривающих полосу блуждания древней реки (пра-Камы?). Аккумулятивные формы (гривы, прирусловые валы) контрастно – желтым цветом на синем фоне – отделяют ЦРС от смежных урочищ, причем границы эрозионной системы, скрытые в отдельных частях ее периферии толщей торфа, в данной комбинации каналов практически не поддаются опознаванию. Самый «молодой» фрагмент остаточного русла – старица (о. Нахты) и примыкающие к ней «веера блуждания» представляют собой одну из самых последних генераций древней речной поймы, которая моделировала озерную террасу – усложняла первичный рельеф древней озерной поверхности. Судя по взаимоположению фаций руслового и болотного генезиса, русловые процессы в этой части депрессии имели развитие в самом конце позднего плейстоцена, задолго до наступления стадии ее активного заболачивания. Темно-синий цвет, присущий контуру самой молодой генерации, указывает на повышенную степень ее обводненности по сравнению с другой частью ЦРС, отличающейся более светлыми тонами – от светло-голубого до голубого.

Использование комбинации ближнего, среднего ИК – каналов и красного видимого канала (5-6-4) позволило установить местоположение еще одной эрозионной системы, протягивающейся вдоль северного

коренного склона Верхнекамской депрессии, на южной окраине, контактирующей с ЦРС. Наиболее четко СРС выделяется в западной части депрессии. Здесь ее граница с ЦРС кроме цветовых различий хорошо опознается и на основе прямых признаков – разделяющих эти системы русловых гряд и целиков древней озерной террасы. По цвету на космоснимке различия между двумя русловыми системами более чем существенные и в значительной степени также связаны с разделяющими их положительными формами рельефа (валами, гривами, целиками озерной террасы). Особые условия формирования присклоновой части болотного массива привели к тому, что по сравнению с типичными верховыми болотами (голубой, темно- и светло-синий цвет), которые распространены в центральной и прилегающей к камской пойме частям депрессии, здесь линии стекания, сливаясь формируют красно-коричнево-малиновый фон с большей или меньшей плотностью крапа (признак редколесья). Прорывы минерально-органических вод в пределы ЦРС, приводящие к образованию и в ее пределах линейно вытянутых шлейфов красноватого цвета, тем не менее не оказывают определяющего дешифрировочного значения, впрочем, как и наличие полос голубого цвета в пределах СРС на участках, где отсутствует сток со склонов депрессии.

Наиболее сложно интерпретировать и вычленять эрозионные системы оказалось там, где наблюдается пространственное объединение ЦРС, СРС и современной поймы р. Тимшер. Унаследованность местоположения эрозионных систем, при которой молодые водотоки используют старые пойменные понижения в качестве своих долин, не является редким случаем в истории развития русловых систем и объясняется энергетической выгодностью подобного их функционирования. Контур объединенной русловой системы (ОРС) довольно уверенно опознается по песчаным «островам» с редкой растительностью, которые выделяются по розовому и малиновому цветам на фоне голубого цвета верхового болота. Внутри системы зеленовато-бурым цветом (до желтого) выделяется современная пойма Тимшера и серо-розовым цветом – фрагменты грядового рельефа ЦРС.

Окончание («исчезновение») ОРС в результате индивидуализации русловых систем происходит на участке впадения р. Окос в Тимшер. Здесь наблюдается отклонение почти на 90° вправо направления

поймы Тимшера и примерно на 40° ЦРС от направления ОРС. Далее свое развитие на северо-северо-восток продолжает, по-видимому, лишь СРС, которая уверенно опознается продольной заболоченной котловиной в светло-голубом цвете. Вход в болотный массив и выход из него «выкрашен» серо-розовыми цветами, указывающими на местоположение скоплений наносов («пробок»), заполнивших древнюю долину в результате деятельности эрозионно-аккумулятивных процессов в смежных русловых системах. Формирование пересыпей происходило по контакту с отклонившейся вправо ЦРС на юге и на севере – в месте ее пересечения долиной р. Чепец – на входе в Кельтминскую ложбину.

Болотно-русловая система (БРС), включающая в себя большую часть территории Верхнекамской депрессии, располагается между ЦРС и современной поймой р. Камы. Русловые образования, фиксируемые среди болотных геосистем, представлены двумя видами. К первому относятся современные каналы стока вод из центральной части болота к его периферии. На космоснимке (комбинация 5-6-4) они выглядят как темно-синие относительно прямолинейные линии на зеленовато-голубом фоне. Ко второму виду были отнесены древние доголоценовые русла или отдельные элементы их пойм, «просвечивающие» через толщи торфа или фиксирующиеся сменой болотной растительности, реагирующей на степень минерализации и увлажненности субстрата. На космическом снимке особый, отличный от ровного рельефа озерной террасы, более контрастный их рельеф (чередование грив и ложбин, вдольбереговые валы) опознается по сериям линий цветовой раскраски – от светло-зеленого и розового до почти коричневого.

Дополнить представления об особенностях перестройки русловой сети в озеровидном расширении камской долины позволяют материалы бурения, проведенного Всесоюзным гидрогеологическим трестом в 50-х и 60-х годах прошлого века. Их интерпретация в виде геологического разреза, учитывающая результаты дешифрирования космических снимков, подтвердила предложенную нами пространственно-временную модель развития русловой сети в среднем и позднем плейстоцене. На разрезе четко фиксируются ранее не отображенные в отчетных материалах разновременные врезы древней гидросети (рис. 1).

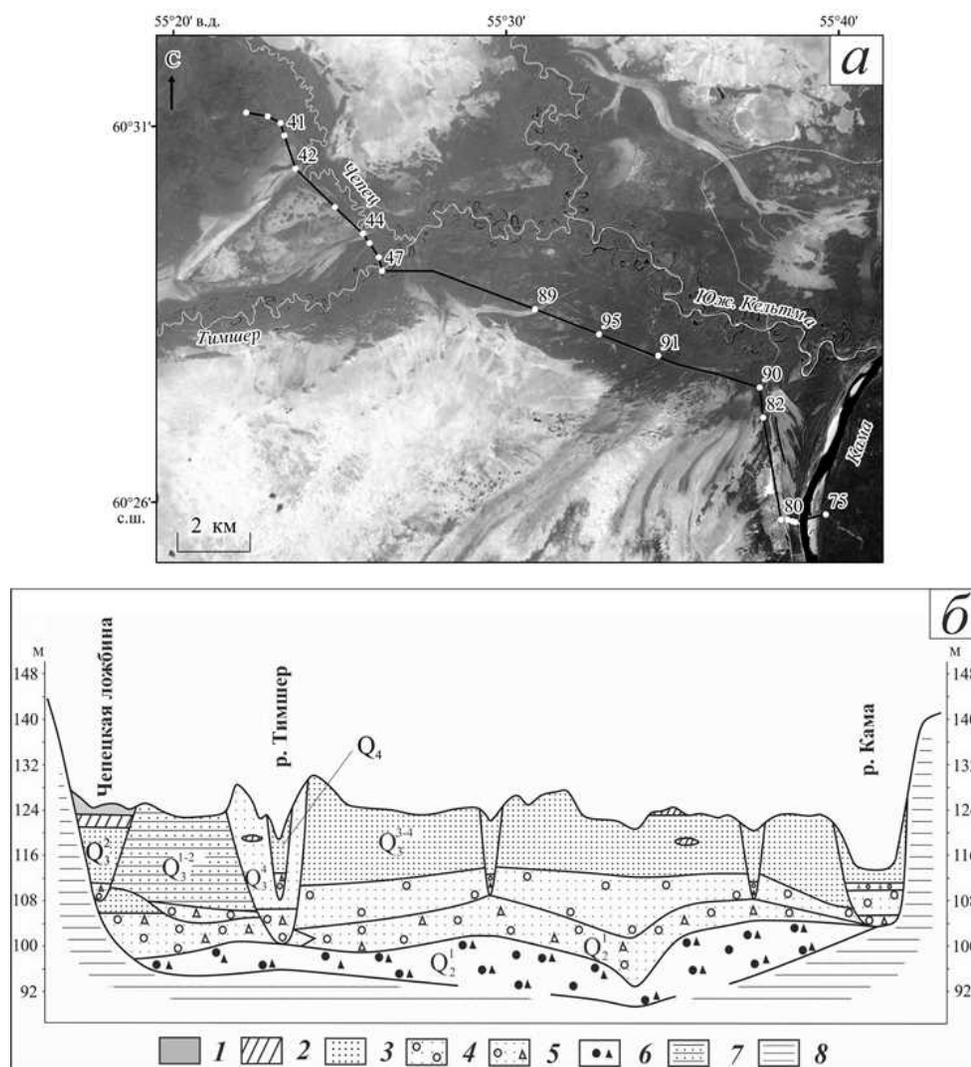


Рис. 1. Геологическое строение Верхнекамской депрессии (по данным литологического описания скважин [1]: а – местоположение разреза, цифрами обозначены номера скважин; б – геологический разрез; 1 – торф; 2 – суглинок; 3 – песок; 4 – песок с галькой; 5 – песок с галькой и гравием; 6 – галька с гравием; 7 – супесь; 8 – коренные породы

Исследования показали, что для дешифрирования древних эрозионных систем путем выявления ландшафтно-геоморфологических элементов на космических снимках «рабочими» являются следующие комбинации каналов: 1) ближнего ИК (7–6–5) – индикация минераль-

ных (песчаных) валов и грив, индикация степени увлажнённости фаций верхового болота; 2) ближнего, коротковолнового ИК и красного видимого каналов (5–6–4) – индикация видового состава растительности и степени увлажнённости пойменных и болотных (торфяных) геосистем.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00276.

### Библиографический список

1. Зилинг Д.Г., Капитанова К.В., Кулагин С.И., Галушкин Ю.А., Симонов А.Н., Корганова Л.С. Отчет о результатах инженерно-геологических исследований, проведенных Камской партией в зоне проектируемого Верхне-Камского водохранилища (на участке от с. Бондюг до с. Гайны) в 1958-59 гг. М.: Мингео СССР, 1960. 830 с.
2. Назаров Н.Н., Копытов С.В. Использование данных дистанционного зондирования в изучении перестроек речной сети (на примере верхней Камы) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, № 1. С. 105–117.

**ДИНАМИКА ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ**

В статье рассмотрены данные о динамике эрозионных процессов на широтном участке Среднего Приобья. Исследования проводятся на инициативном стационаре под названием «Усть Вахский». Репрезентативность данного стационара заключается в интенсивном проявлении размыва берегового склона с сопутствующим значением обвально-осыпных явлений, торфообразованием, дефляцией песчаных пляжей и оврагообразованием. Экспозиция склона, легко размываемый литологический состав, а также максимальное гидродинамическое давления на берег при слиянии рек Обь и Вах позволяют выявить данный участок, как наиболее сильно подверженный проявлению эрозии. В работе также представлены данные по инструментальным измерениям эрозионных процессов в районе Гришкиной протоки (р.Вах – правый приток реки Обь), где перешеек между руслом Ваха и протокой в 2005 году составлял 10,3 м, а в 2008 году этот показатель соответствовал 5,2 м.

*Ключевые слова:* эрозионные процессы, береговой склон, пойма, динамика современных процессов.

S. Korkin, V. Isypov, egf\_nv@mail.ru

*Nizhnevartovsk state university, Nizhnevartovsk, Russia*

**DYNAMICS OF EROSION PROCESSES OF THE MIDDLE OB REGION**

In article data on dynamics of erosive processes on the width site of the Middle Ob Region are considered. Researches are conducted on an initiative research area under the name “Ust Vakh”. The representativeness of this research area consists in intensive manifestation of erosive of a coastal slope with the accompanying value of landslide-talus phenomena, peat formation, deflation of sandy beaches and ravine formation. The slope exposition, easily eroded away lithologic structure, as well as the maximum hydrodynamic pressure on the coast at the confluence of the Ob and Vakh rivers, allow to reveal this site as the most strongly subject to manifestation of an erosion. The paper presents data on instrumental measurements of erosion processes in the Grishkina channels (the Vakh River is the right inflow of the Ob River) where the isthmus between the Vakh and the channel in 2005 was 10.3 m, and in 2008 this figure corresponded to 5.2 m.

*Keywords:* erosive processes, coastal slope, flood plain, dynamics of modern processes.

Динамика эрозионных процессов исследуется на широтном участке Среднего Приобья студентами и сотрудниками Нижевартовского государственного университета с 2001 г. на стационаре под названием «Усть-Вахский». Данные исследования продолжают режимные наблюдения Тюменской комплексной геологоразведочной экспедиции (ТКГРЭ). Репрезентативность данного стационара заключается в интенсивном проявлении эрозионного размыва берегового склона с сопутствующим значением обвально-осыпных явлений, торфообразованием, дефляцией песчаных пляжей и оврагообразованием. Экспозиция склона, легко размываемый литологический состав, а также максимальное гидродинамическое давления на берег при слиянии рек Обь и Вах позволяют выявить данный участок, как наиболее сильно подверженный проявлению горизонтальных русловых деформаций. Данный тип местности центрально-пойменный лугово-соровый, где

основные поверхности проточно-соровой притеррасной и центральной поймы с осоково-канареечниковыми лугами, местами переходящие в открытые группировки соровой растительности. Согласно ландшафтно-гидрологическому районированию, выполненному А.Н. Антиповым, В.Н. Федоровым [1], территория Среднего Приобья относится к Обь-Иртышской лесоболотной, низинно-аккумулятивной ландшафтно-гидрологической системе Западной Сибири. В наших исследованиях проанализированы данные эрозионной деятельности на уровне ландшафтных провинций долины реки Обь: Среднеобская, Аганская, Сургутское полесье. Ландшафтно-гидрологическое районирование поймы р. Обь, в пределах Среднего Приобья, на уровне провинций А.Н. Антиповым, В.Н. Федоровым подразделяется на Нижевартовскую пониженную, долгопоемную и Сургутскую средневозвышенную, долгопоемную. Особенности поймы реки Обь в широтном отрезке определяется

бассейновыми характеристиками втекающих рек, одной из которых является р. Вах, впадающая в Обь с правой стороны и формирующая массивный пойменный участок, достигающий шириной 40 км. Методическая часть представленной работы базируется на работы Р.С. Чалова, А.С. Завадского, А.В. Панина [6–8].

Исследование динамики эрозионных процессов на основе анализа ландшафтных и гидрологических показателей включает в себя характеристику ряда важнейших факторов: осадков, температур воздуха и грунтов, литологический состав пород, угол наклона поверхности, водность, руслоформирующие расходы воды. В научной работе под редакцией Р.С. Чалова, Е.М. Плескевича, В.А. Баулы [4], приводятся данные по водности реки Обь, где наряду с короткими группировками (3–7 лет) встречаются циклы лет повышенной и пониженной водности в 9, 14 и 26 лет. Для средней Оби выделяются 3 периода повышенной водности и 4 периода пониженной водности. Цикличность просматривается и в многолетнем ходе осадков, для них характерны циклы продолжительностью 25–30 лет, а также фазы, различные по водности 4–5 лет. Годовой ход осадков относится к континентальному типу, и годовая сумма для Обской долины изменяется от 225 до 722 мм. Максимумы среднегодовых величин осадков составляет 650 мм. Среднее количество осадков составляет 510 мм. Среднегодовое количество осадков варьируется от 200 до 250 мм. Атмосферное увлажнение слабо сказывается на ландшафтно-гидрологической организации территории для элементов иерархии ниже провинций.

Скорость смещения бровки берега реки Обь в пределах стационара «Усть-Вахский» с учетом среднегодовых показателей с 2002 по 2019 гг. составила: в 2002 – 7,8 м/год; 2003 – 2,35 м/год; 2004 – 3,46 м/год; 2005 – 2,89 м/год; 2006 – 4,19 м/год; 2007 – 3,25 м/год; 2008 – 1,93 м/год; 2009 – 2,36 м/год; 2010 – 1,57 м/год; 2011 – 1,51 м/год; 2012 – 0,68 м/год; 2013 – 2,36 м/год; 2014 – 2,45 м/год; 2015 – 5,0 м/год, 2016 – 1,69 м/год, 2017 – 2,57 м/год; 2018 – 2,58 м/год, в 2019 – 1,59 м/год. Среднегодовое количество осадков, по наблюдательным створам, за 18 лет равен 2,8 м/год. Максимальная скорость отступления бровки берега зафиксирована в 2004 году и составила 17,5 м/год на пятом створе, что соответствует данным указанным на странице 74 Атласа Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [5]. Рассма-

тривая полученные данные, выделяется 2012 год низкими показателями скорости размыва берегов и 2015 год с высокими показателями размыва.

В полевых работах с 2014 года был применен метод геодезической съемки с использованием спутникового оборудования ГНСС (GNSS). В результате была получена площадь размыва на стационаре за 2015 год равная  $29^{\circ}472 \text{ м}^2$ , за 2016 г. –  $11^{\circ}403 \text{ м}^2$ , 2017 г. –  $15^{\circ}400 \text{ м}^2$ , 2018 г. –  $17\ 841 \text{ м}^2$  и за 2019 г. –  $14\ 300 \text{ м}^2$ . Объем размываемого грунта за 2015 год со средней высотой берега 4,9 м составил  $144^{\circ}412,8 \text{ м}^3$ , за 2016 год при средней высоте берега в 4,8 м –  $54^{\circ}734 \text{ м}^3$ , за 2017 год при средней высоте берега в 5,3 м –  $81^{\circ}620 \text{ м}^3$ , за 2018 год при средней высоте берега в 5,5 м –  $98^{\circ}125 \text{ м}^3$ , а за 2019 год при средней высоте берега в 5,0 м –  $71^{\circ}500 \text{ м}^3$ .

Рассматривая вопрос динамики эрозионных процессов, вызывает интерес развитие ситуации в районе Гришкиной протоки (р.Вах – правый приток реки Обь), где перешеек между руслом Ваха и протокой в 2005 году составлял 10,3 м, а в 2008 году этот показатель соответствовал 5,2 м. Спрявление русла предполагалось к 2010 году [3], но прорыв был зафиксирован в 2011 году во время полевого выезда сотрудников научной лаборатории геоэкологических исследований Нижневартовского государственного университета. В 2009 и 2010 годах по полевым данным размыв был на нулевом уровне. Морфометрические показатели ключевого участка в районе Гришкиной протоки по годам: 11.08.2005 – перешеек составлял 10,3 м; 02.09.2006 – 8,3 м (2,0 м/год – отступление бровки); 15.10.2007 – 7,5 м (0,8 м/год – отступление бровки); 27.09.2008 – 5,2 м (2,3 м/год – отступление бровки); 30.08.2009 – 5,2 м; 11.09.2010 – 5,2 м; 18.09.2011 года зафиксирован размыв.

В ходе полевых работ 2011 года были выявлены следующие морфометрические характеристики новообразованной протоки: ширина – 54 метра, глубина в центре – 5,4 м, высота левого берега от уреза воды – 4,5 м, правого берега 4,4 м. По результатам измерений была составлена схема данного участка. Для составления схем использовалась программа AutoCAD [2].

Общий размыв левого берега за восемь лет составил 72,35 м, а ситуация по годам представлена в таблице 1. Правый берег имеет меньший показатель размыва, за восьмилетний период наблюдения (табл. 1).

Объем размытого грунта в 2011 году составил 2342 м<sup>3</sup>; 2012 году – правый берег 332 м<sup>3</sup>, левый берег 643 м<sup>3</sup> и общий объем за год порядка 975 м<sup>3</sup>; 2013 году – правый берег 38 м<sup>3</sup>, левый берег – 2463 м<sup>3</sup> и общий объем за год 2501 м<sup>3</sup>; 2014 году – правый берег 170 м<sup>3</sup>, левый берег – 520 м<sup>3</sup> и общий объем за год 690 м<sup>3</sup>; 2015 году – правый берег 265 м<sup>3</sup>, левый берег – 1974 м<sup>3</sup> и общий объем за год 2239 м<sup>3</sup>; 2016 году – правый

берег 26 м<sup>3</sup>, левый берег – 124 м<sup>3</sup> и общий объем за год 150 м<sup>3</sup>, в 2017 году – правый берег 7 м<sup>3</sup>, левый берег – 190 м<sup>3</sup> и общий объем за год 197 м<sup>3</sup>, в 2018 году – правый берег 3 м<sup>3</sup>, левый берег – 236 м<sup>3</sup>, в 2019 году – правый берег 0 м<sup>3</sup>, левый берег – 250 м<sup>3</sup> и общий объем за год 250 м<sup>3</sup>. С момента возникновения промоины в воды Ваха поступило 9583 м<sup>3</sup> грунта.

Таблица 1. Результаты измерений в районе Гришкиной протоки с 2012 по 2019 гг.

Год измерений	Отступление бровки левого берега (м)	Отступление бровки правого берега (м)
2012	9,50	3,80
2013	22,00	1,20
2014	4,60	4,00
2015	15,50	6,50
2016	4,80	2,24
2017	5,74	1,11
2018	4,86	0,45
2019	5,35	0,00
Эрозия (м)	72,35	19,30

Полученные результаты формируют базу данных о динамике эрозионных процессов на широтном участке средней Оби и её притоках.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в рамках научного проекта № 18-45-860001.*

### Библиографический список

1. Антипов А.Н., Федоров В.Н. Ландшафтно-гидрологическая организация территории. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 254 с.
2. Исытов В.А., Коркин С.Е. Анализ данных по русловым процессам в нижнем течении реки Вах // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы VI международной научно-практической конференции (г. Нижневартовск, 13–15 февраля 2017 года) / отв. ред. А.В. Коричко. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та. 2017. Ч. II. Естественные и технические науки. С. 29–32.
3. Коркин С.Е., Шевченко А.О., Солдатова Н.В. Русловые деформации в нижнем течении реки Вах // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы: материалы V Всероссийской научно-практической конференции (г. Нижневартовск, 9–10 февраля 2016 года) / отв. ред. А.В. Коричко. Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гос. ун-та. 2016. С. 42–46.
4. Русловые процессы и водные пути Обского бассейна / под ред. Р.С. Чалова, Е.М. Плещевича, В.А. Баулы. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
5. Русловые процессы на реках. Морфология и динамика русел Оби и Иртыша / Н.В. Анисимова [и др.] // Атлас Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Природа экология. Ханты-Мансийск-Москва-Новосибирск, 2004. Т. 2. С. 74–75.

6. Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В. Речные излуины / под ред. Р.С. Чалов. М.: Изд-во МГУ, 2004. 371 с.
7. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Том 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: ЛКИ, 2008. 610 с.
8. Чалов Р.С. Русловедение. Теория, география, практика. Том 2: Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.

УДК 528.91

А.В. Кошкарев, akoshkarev@yandex.ru  
Институт географии РАН, г. Москва, Россия

## О ЦИФРОВОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Цифровые информационные модели относятся к одному из типов геометрических и топологических моделей географического пространства, активно используемых на протяжении шестидесяти лет в геоинформатике и цифровом картографировании. Требуется теоретическое обобщение опыта их создания и использования в научных и прикладных географических исследованиях с учетом перспектив развития цифровой экономики в России.

*Ключевые слова:* геоинформатика, геомоделирование, пространственные данные.

A. Koshkarev, akoshkarev@yandex.ru  
Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

## ABOUT DIGITAL MODELING OF GEOGRAPHICAL SPACE

Digital information models are one of the types of geometric and topological models of geographic space that have been actively used for sixty years in geoinformatics and digital mapping. A theoretical generalization of the experience of their creation and use in scientific and applied geographical research is required, taking into account the prospects for the development of the digital economy in Russia.

*Keywords:* geoinformatics, spatial modeling, spatial data.

Цифровые модели географического пространства, а именно цифровые карты и цифровые пространственные данные, которыми оперируют геоинформационные системы (ГИС), известны с начала 60-х гг. прошлого века, а по некоторым данным, с конца пятидесятых. Технологические успехи и достижения цифрового картографирования и геоинформатики, как показывает история их развития [4], несомненны, что не мешает обратиться к «истокам», сути моделирования пространственных отношений.

Будет уместным еще раз напомнить о трех типах моделей пространства, непосредственно используемых человеком [3]. Это «бумажные» карты и иные геоизображения, унаследованные от доцифровой эпохи; цифровые модели, в том числе цифровые карты и цифровые модели ГИС и «мысленные», или ментальные модели, отражающие пространственные отношения в человеческом мозге или в уме любого другого живого существа.

Традиционная картография объектом своего исследования считает изображения, воспроизведенные на бумаге, дереве, пластике, глиняных табличках, мониторе компьютера, на любом другом материальном носителе и воспринимаемые визуально или тактильно. Это карты и иные картоподобные модели, объединяемые понятием «геоизображения», необязательно знаковые (снимки и данные дистанционного зондирования Земли, полученные из космоса или с воздухоплавательных средств), двухмерные (трехмерные модели) и статичные (картографические анимации и виртуально-реальностные модели).

Ментальные «карты» – ментальные модели среды обитания человека и мироздания в целом, от квартиры до Вселенной, которые служат ему для ориентации в пространстве и принятия пространственных решений. Доказано, что подобные модели в виде навигационной «карты» являются частью системы навигации мигрирующих

птиц.

Под географическим пространством принято понимать «форму существования географических объектов и явлений в пределах географической оболочки», называемой также «ландшафтной оболочкой», которая, в свою очередь, определена как «целостная и непрерывная оболочка Земли», охватывающая нижние слои атмосферы, верхние толщи литосферы, почти всю гидросферу и биосферу [1]. В научной литературе для его обозначения достаточно широко используется еще один термин: геопространство. На наш взгляд, это порождает синонимию, которая крайне нежелательна в терминологических системах, допуская возможность использования деривата «геопространственный» при наличии стандартизованных терминов «пространственный объект» и «пространственные данные», что нашло отражение в стандарте ГОСТ Р 52438-2005 «Географические информационные системы. Термины и определения» [2]. Именно такие термины с прилагательным «пространственный» содержатся и в новых стандартах в области геоинформатики и обращения пространственных данных [6].

Рассматривая пространство с точки зрения его цифрового моделирования, можно утверждать что оно «определяется, как совокупность точек, задаваемых числами – *координатами точек*» [12]. При этом «геометрия пространства геосистем низких рангов с высокой степенью точности является евклидовой. Соответственно, декартова система координат и евклидова метрика, на которых отображается дискретизация пространства, ... естественным образом отображают пространство геосистем» как структурных элементов географической оболочки. К этому нужно добавить, что объектом моделирования могут быть не только геометрические, но и топологические свойства и отношения объектов в пространстве. Они используются, в частности, в известной с незапамятных времен и наиболее распространенной векторно-топологической модели пространственных данных. На уровне цифрового моделирования элементарных объектов все они делятся, согласно международным стандартам в сфере геоинформатики, на геометрические и топологические [13].

Следовало бы уточнить место, которое занимает пространственное моделирование (геомоделирование) среди других его методов. Ответ на этот вопрос и многие другие вопросы, связанные с теорией и

практикой геомоделирования, можно найти в незаслуженно забытых сегодня фундаментальных работах Ю.А. Кравченко, в том числе в четырехтомнике из двух книг, каждая из которых издана в двух частях в 2008 г. в издательстве СГГА (ныне Сибирский государственный университет геосистем и технологий). Помимо теоретических и методических основ вне собственно предметной области геоинформатики, а именно элементов теории множеств, формальной логики, теории графов (книга 1, часть 1), геометрии, в той мере, в какой она необходима для построения алгоритмов обработки пространственных данных, моделирования топографических поверхностей как основы цифрового моделирования рельефа (книга 2, часть 1), серия в своей совокупности дает полное представление о принципах информационного моделирования географического пространства в автоматизированных информационных системах [7] и об используемых методах на примерах из геоинформатики и цифрового картографирования [8]. Примечательно, что вторую из упомянутых книг предваряет анализ понятий предметной области, в том числе нормализованных в российских стандартах.

Несомненно, что такая работа по теоретическому обобщению эмпирического материала, накопленного наукой, прежде всего географической, и практикой за шестьдесят лет развития геоинформатики и смежных с нею наук и технологий должна быть продолжена. Необходимо учесть также, что процесс их становления, взаимодействия и развития привел в итоге к тому, что сегодня это отрасль экономики, связанная с производством цифровых карт и цифровых геоинформационных продуктов, с их распространением и обращением на рынке [5].

Тема цифровизации экономики приобрела особую актуальность в связи с провозглашением цифровой экономики как нового этапа ее модернизации в соответствии распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р, утвердившем программу (в настоящее время национальный проект) «Цифровая экономика РФ» [11], ныне утратившем силу, а также с содержанием направления (федерального проекта) «Информационная инфраструктура», План мероприятий по реализации которого содержал веху «Создать отечественные цифровые платформы сбора, обработки и распространения пространственных данных и данных ДЗЗ из космоса, обеспечивающие потребности граждан, бизнеса

и власти» [10]. Новый документ, паспорт этой программы, исключил из этой формулировки пространственные данные, оставив, тем не менее решение ряда задач, предусмотренных в более ранних документах, включая «способы предоставления в электронном виде пространственных данных и материалов, содержащихся в федеральном фонде пространственных данных», создание «единой электронной картографической основы (ЕЭКО) и госу-

дарственной информационной системы ведения ЕЭКО (ГИС ЕЭКО)», создание «государственной информационной системы Федеральный портал пространственных данных (ГИС ФППД)» [9].

Несмотря на перспективы, эти инициативы носят откровенно технократический характер, и теоретическое обобщение опыта цифрового моделирования остается важным направлением географической науки.

*Работа выполнена в рамках темы Госзадания № АААА-А19-119022190168-8.*

### Библиографический список

1. *Географический энциклопедический словарь. Понятия и термины.* М.: Советская энциклопедия, 1988. 432 с.
2. *ГОСТ Р 52438-2005 «Географические информационные системы. Термины и определения».* URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200044680> (дата обращения: 19.01.2020).
3. *Комедчиков Н.Н., Кошкарев А.В., Медведев А.А.* Академическая инфраструктура пространственных данных и новый этап развития геоинформатики // Информатизация географических исследований и пространственное моделирование природных и социально-экономических систем. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2013. С. 57–72.
4. *Кошкарев А.В.* Очерк истории российской геоинформатики // От карты прошлого – к карте будущего: сб. науч. тр.: в 3 т. / под. ред. С.В. Пьянков. Т. 2. Пермь: ПГНИУ. 2017. С. 119–129.
5. *Кошкарев А.В.* Геоинформатика в инфраструктурном обеспечении цифровой экономики // Геодезия и картография. 2019. Т. 80, № 1. С. 119–126. DOI: 10.22389/0016-7126-2019-943-1-119-126.
6. *Кошкарев А.В.* Нормативное правовое и нормативно-техническое обеспечение развития геоинформатики в эпоху цифровой экономики // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. 2019. № 3 (15). С. 46–54. DOI: 10.25587/SVFU.2019.15.37091.
7. *Кравченко Ю.А.* Основы конструирования систем геомоделирования. Книга 1. Теоретические основы информационного геомоделирования. Часть 2. [Текст]: монография / Ю.А. Кравченко. Новосибирск: СГГА, 2008. 288 с.
8. *Кравченко Ю.А.* Основы конструирования систем геомоделирования. Книга 2. Информационное геомоделирование: модели и методы. Часть 2. [Текст]: монография. Новосибирск: СГГА, 2008. 316 с.
9. *Паспорт* федерального проекта «Информационная инфраструктура» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». URL: [http://xn--80aavcebfcmb6cza.xn--p1ai/upload/iblock/538/Informatsionnaya-infrastruktura\\_obnov.-red\\_.pdf](http://xn--80aavcebfcmb6cza.xn--p1ai/upload/iblock/538/Informatsionnaya-infrastruktura_obnov.-red_.pdf). (дата обращения 20.01.2020).
10. *План мероприятий по направлению «Информационная инфраструктура» программы «Цифровая экономика Российской Федерации».* URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_287865/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_287865/). (дата обращения: 20.01.2020).
11. *Программа «Цифровая экономика Российской Федерации».* URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_221756/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221756/). (дата обращения: 19.01.2020).
12. *Сысоев В.В.* Геофизическая парадигма ландшафтоведения: постулаты и концепции // Известия Русского географического общества. 2019. Т.151. №4. С. 61–83. DOI: 10.31857/S0869-6071151461-83.
13. *ISO 19107:2019(en) Geographic information – Spatial schema.* URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19107:ed-2:v1:en>. (дата обращения 20.01.2020).

## **ВЫЯВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДЗЗ**

В статье рассматривается применение данных ДЗЗ для выявления особенностей развития посевов сельскохозяйственных культур. С привлечением программных средств определяется степень вегетации растений путем расчета индекса NDVI. Автоматизированные методы дешифрирования позволили выявить культуры на различных фазах своего развития.

*Ключевые слова:* ДЗЗ, сельское хозяйство, вегетация, фенология, почвы.

## **IDENTIFICATION OF REGIONAL FEATURES OF CROPS GROWTH USING REMOTE SENSING DATA**

The article deals with the use of remote sensing data to identify features of crops growth. With implication software tools, the degree of plants vegetation is determined by NDVI index calculating. Automated methods of interpretation allowed to identify crops at various vegetation stages.

*Keywords:* remote sensing data, crops, vegetation, phenology, soils.

Данные дистанционного зондирования Земли находят свое применение в различных областях народного хозяйства, в том числе и в сельском хозяйстве. В решении задач мониторинга посевов сельскохозяйственных культур использование спутниковых данных позволяет минимизировать трудоемкий процесс наземных способов сбора данных, дополняет его, а порой и заменяет проведение контактных измерений на труднодоступных территориях [4].

Цель: выявить региональные особенности развития посевов сельскохозяйственных культур с помощью данных дистанционного зондирования Земли.

Задачи:

– изучить географию выбранной территории (климатические и почвенные ресурсы, растительная зональность);

– методами цифровой обработки данных ДЗЗ, определить виды сельскохозяйственных культур;

– определить степень вегетации с использованием нормализованного дифференцированного вегетационного индекса (NDVI) на разновременных снимках;

– определить методами тематического дешифрирования типы почв (по индикаторам растительности с привлечением архива почвенных карт).

Для решения выше поставленных задач в качестве исходных данных в работе использовались космические снимки на участок площадью 43 км<sup>2</sup>. Участок расположен на территории Бурмистровского муниципального образования Искитимского района Новосибирской области.

Космические снимки, используемые в работе и информационно достаточные для выявления особенностей развития посевов сельскохозяйственных культур, были получены съемочной системой SPOT-6. Космический аппарат SPOT-6 разработан компанией Airbus Defence and Space (Франция). Спутник, находясь на высоте 694 км, за период трех суток выполняет повторные наблюдения и обеспечивает полосу съемки шириной 60 км. Спектральные диапазоны бортовой аппаратуры представлены каналами видимого спектра электромагнитных волн в диапазоне от 0,45 до 0,69 мкм, также ближним инфракрасным спектром с диапазоном от 0,76 до 0,89 мкм, для панхроматической съемки используется диапазон от 0,45 до 0,75 мкм.

Выбранная в качестве области интереса территория имеет незначительные уклоны местности. При этом рельеф сильно расчленен оврагами и балками в долинах притоков Новосибирского водохранилища. Климат выбранной территории умеренный, при средней увлажненности.

Средняя температура в январе  $-19$  градусов, в июле  $+19,1^{\circ}$ . Годовое количество осадков в данном районе составляет 409 мм. Снежный покров устанавливается в первых числах ноября. Средняя мощность снегового покрова 25–35 см. Преобладающее направление ветра – юго-западное.

Почвенный состав территории представлен в основном черноземами. На залесенных участках встречаются темно-серые и светло-серые оподзоленные почвы. Поймы рек заняты аллювиальными почвами. Растительность представлена в основном злаково-луговыми степями с березовыми колками. На правом берегу Новосибирского водохранилища встречаются искусственные насаждения в виде массивов сосновых боров, а на пахотных землях – лесозащитные полосы, представленные, как правило, тополями.

Используя разновременные снимки одного года на территорию сельскохозяйственного назначения, удастся проследить фенологические фазы развития посевов сельскохозяйственных культур, а также другие особенности географических объектов, изображенных на снимках. Сезонная физиономическая изменчивость является одним из основных свойств посевов сельскохозяйственных культур. За время прохождения фаз вегетативного развития меняется биомасса растений. У зерновых культур, такая биомасса постоянно нарастает и достигает максимума на стадии колошения [3]. На стадиях созревания культур изменяется количество зеленых пигментов – хлорофилла в листьях растений, в результате чего зеленый аспект растений сменяется желтым окрасом.

При визуальном дешифрировании космического снимка, полученного в мае, можно отметить, что хорошо различимы хвойные и лиственные породы деревьев. Посевы сельскохозяйственных культур также хорошо различимы на снимке. Видны участки пашен, на которых еще нет всходов семян, на отдельных участках появились первые всходы, однако расположены они неравномерно [2].

Через 10–20 дней после появления всходов начинается кущение – образование боковых побегов. Во время кущения растения нуждаются в свете, влаге, питании и тепле. Далее в фенологическом развитии культуры происходит процесс трубкования – начала роста стебля в длину.

На снимке, полученным в конце июня, в местах, где в мае отсутствовала расти-

тельность, появились поздние всходы. На некоторых площадях уже выявляется зеленая фитомасса.

Для определения состояния растительности, оценки ее фитомассы и здоровья эффективно использовать вегетационные индексы, рассчитываемые по данным многозональной съемки. Они основаны на отношениях значений яркости в определенных спектральных зонах, наиболее информативных для исследования растительности. Обычно используют характерный перепад между яркостями зеленой растительности в красной и ближней инфракрасной зонах. С увеличением фитомассы значения ее яркости растут в ближней инфракрасной зоне и падают в красной [1].

Для определения вегетации растительности в июне был применен расчет нормализованного дифференцированного вегетационного индекса. Индекс NDVI удобен для картографирования сезонной динамики растительности, например, для прослеживания ее фенологических изменений.

Для отображения индекса NDVI используется дискретная шкала, показывающая значения в диапазоне от  $-1$  до  $+1$ . Благодаря особенностям отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, природные объекты, которые не связаны с растительностью, имеют фиксированные значения NDVI. Для идентификации объектов растительности на дискретной шкале берутся значения от 0 и больше.

На рисунке 1 приведены: исходный снимок на июнь в комбинации каналов естественных цветов; исходное индексное изображение NDVI и изображение NDVI в псевдоцветах с использованием дискретной шкалы.

Как видно из рисунка 1б объекты с отсутствием растительности, в частности это гидрография, имеют черный тон. В темных тонах отобразились участки, на которых еще нет всходов или же всходы посевов только начинают появляться. В светлых и почти белых тонах отображены участки с интенсивной вегетацией – это посевы с большой фитомассой и лесные массивы.

При определении состояния вегетации растений наибольшие значения до  $+1$  указали на более густую и здоровую растительность. Снижение значения NDVI ниже  $+1$  свидетельствует о наличии более разряженной растительности, либо о на-

личии факторов, угнетающих ее развитие. Значения NDVI ближе к 0 указывают на открытые грунты, менее 0 – это снег, водные и искусственные объекты.

В середине лета на некоторых участках посевов сельскохозяйственных культур происходит фаза цветения, что прослеживается на июльском снимке. Помимо таких участков встречаются зоны с угнетенной растительностью, также прослеживается разнообразие культур на посевных площадях. Площади, занятые сельскохозяй-

ственными посевами можно определить, используя методы цифровой обработки материалов дистанционного зондирования, в частности, наиболее часто применяемый метод – это управляемая и автоматическая классификация изображений. В результате классификации получаются тематические изображения, на которых пиксели группируются в определенные классы по решающему критерию, базирующемуся на спектральном анализе многозонального изображения.

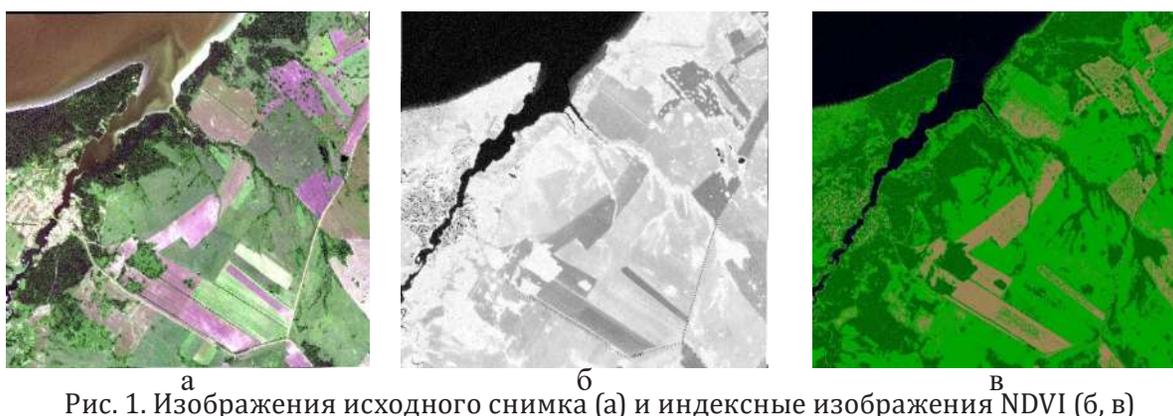


Рис. 1. Изображения исходного снимка (а) и индексные изображения NDVI (б, в)

В период между маем и октябрём различить породный состав лесной растительности представлялось затруднительным. Поздний весенний и осенний снимки позволили надёжно различить породный состав деревьев.

Сельскохозяйственные угодья на всех разновременных снимках проанализированной выборки представлены в основном пашнями и сенокосами.

По завершению фазы цветения растений наступает процесс образования зерна злаков. Зерна приобретают определенную форму, характерную для определенной культуры или сорта, они наполняются содержимым, и далее начинается процесс их созревания.

Согласно природным условиям Западной Сибири фаза созревания и период готовности культуры к уборке может наступать у зерновых культур не только в конце августа, но и в начале сентября. Доказательством этому служит снимок, полученный в конце августа, на котором видны участки, которые еще не убраны.

В большинстве случаев, в конце сентября в Сибири уже многие поля убраны. Свидетельством этого факта являются результаты визуального дешифрирования снимков, принятых съёмочными системами в осенний период. На имеющемся

снимке, полученном в конце октября, как раз фиксируются те самые участки, подвергшиеся уборке. При увеличении снимка прослеживается полосчатая структура изображения, что говорит о наличии борозд, произведенных сельскохозяйственной уборочной техникой.

Для определения типов почв дистанционными методами без организации трудоемких полевых работ наиболее эффективно применение индикаторов растительности. По индикаторам дешифрируются характеристики природных объектов явно не отобразившихся на снимке. Известно, что под посевами культурной сельскохозяйственной растительности расположены черноземные и лугово-черноземные почвы. Под небольшими березовыми и осиновыми колками в западинах могут располагаться солодовые почвы. В поймах рек – аллювиальные почвы, возникающие в результате накопления и наноса гумуса. Под крупными лесными массивами – серые лесные почвы. Под хвойной древесной растительностью – подзолистые почвы, возникающие в результате накопления кислого гумуса. На увлажненных участках и у озер – болотные и торфяно-болотные почвы. Для создания тематической почвенной карты при дешифрировании космических снимков по индикаторам растительности, желаемыми

тельно использовать материалы ранее проведенных почвенных обследований, например, почвенные карты и агропочвенные планы.

Для развития сельского хозяйства, одного из важнейших факторов экономического развития нашей страны, необходимы благоприятные климатические условия, гарантировать наличие которых нельзя в условиях Сибири. Для повышения эффективности решения задач сельского хозяйства, в настоящее время всё активнее внедряются новые технологии, в том числе данные ДЗЗ, получаемые с высокоточных съемочных систем. При систематической повторяемости съемок одной и той же территории обеспечивается наблюдение за динамикой развития сельскохозяйственных культур. Снимки высокого

разрешения дают возможность распознавать положительные и негативные факторы, влияющие на состояние посевов сельскохозяйственных культур, определять степень развития биомассы с использованием вегетационных индексов, выявлять факты неэффективного использования сельскохозяйственных угодий и решать другие задачи. Результатом работы по данной теме исследования послужат тематические изображения, полученные после автоматизированной обработки данных ДЗЗ, а также карты-схемы, отображающие состояние растительности, виды сельскохозяйственных культур, типы почв, выявленные по индикаторам растительности.

При выполнении данного исследования использовалось программное обеспечение ENVI 4.5.

### Библиографический список

1. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Издательский центр «Академия», 2011. С. 170–171.
2. Козловская И.П. Основы агрономии: учебное пособие. Ростов на Дону: Феникс, 2015. С. 155.
3. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект Пресс, 2004. С. 43.
4. Сладких Л.А., Сахарова Е.Ю., Кулик Е.Н. Мониторинг посевов зерновых культур юга Западной Сибири по данным спутниковых наблюдений. // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: мат. межд. науч. конф. / науч. ред. Е.А. Ваганов, отв. за вып. А.В. Машукова. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. С. 329–333.

Т.И. Кутявина<sup>1</sup>, В.В. Рутман<sup>1</sup>, Т.Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, kutyavinati@gmail.com

<sup>1</sup>Вятский государственный университет, г. Киров, Россия

<sup>2</sup>Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар, Россия

## ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССОВ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОЁМОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье приведены расчёты нормализованного вегетационного и нормализованного разностного индексов воды для водохранилищ Кировской области, в разной степени подверженных эвтрофированию. С помощью спектральных индексов были выявлены участки распространения высших растений в Омутнинском водохранилище. Данные, полученные методами дистанционного зондирования, согласуются с данными наземных исследований.

*Ключевые слова:* эвтрофирование, дистанционное зондирование Земли, спектральные индексы.

T. Kutyavina<sup>1</sup>, V. Rutman<sup>1</sup>, T. Ashikhmina<sup>1,2</sup>, kutyavinati@gmail.com

<sup>1</sup>Vyatka State University, Kirov, Russia

<sup>2</sup>Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

## APPLICATION OF SPECTRAL INDICES FOR DIAGNOSTICS OF THE PROCESSES OF EUTROPHICATION OF RESERVOIRS OF THE KIROV REGION

The article presents the calculations of the normalized difference vegetation index and normalized difference water index for the reservoirs of the Kirov region, which are subject to eutrophication to varying degrees. Using spectral indices, the distribution sites of higher aquatic plants in the Omutninsky reservoir were identified. The data obtained by remote sensing methods are consistent with data from ground-based studies.

*Keywords:* eutrophication, remote sensing of the Earth, spectral indices.

Исследование состояния водных объектов является одной из важных задач экологического мониторинга. Актуальная информация об изменениях химического состава воды и экологического состояния водных объектов необходима для принятия решений о пригодности водоёмов для хозяйственно-питьевого водоснабжения и промышленно-бытовых нужд. Для исследования и мониторинга водных объектов широко применяются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Эти методы не требуют прямого взаимодействия с исследуемым объектом и позволяют рассматривать достаточно крупные и отдалённые акватории. Главным образом, ведётся дистанционный мониторинг морей и океанов с целью отслеживания изменений береговой линии, наблюдения за движением плавучих льдов, распространением нефтяных пятен и другого рода загрязнений, распространением фитопланктона. Также ДЗЗ ведётся в промышленных и метеорологических целях. Дистанционное зондирование для изучения наземных водных объектов используется реже, и, в основном, только для установления контуров водоёма в картографиче-

ских целях.

При дистанционном мониторинге наземных водных объектов возникает ряд сложностей. В основном, они связаны с доступностью качественных снимков, находящихся в открытом доступе. Минимальное разрешение изображения, снятого с космического аппарата, составляет 10 м. На качество снимка влияет состояние атмосферы на момент съёмки. Специфичным для наземных водных объектов является их размер. На снимках с крупным разрешением малые водоёмы будут неразличимы. Поэтому, минимальная ширина реки или водоёма должна составлять 100 м при десятиметровом разрешении, при разрешении съёмки 30 м, ширина водоёма, пригодного для исследования, может быть не менее 300 м.

Одной из острых проблем современности является эвтрофирование водоёмов, при котором наблюдается массовое развитие водорослей и цианобактерий, высших растений. Методы ДЗЗ позволяют обнаружить в водных объектах скопления фитопланктона и заросли высших растений, проследить динамику их развития. Цель данной работы – расчёт спектральных ин-

дексов для выявления зарослей высших растений в водоёмах Кировской области.

Исследование проводили на крупных водохранилищах Кировской области: Белохолуницком, Омутнинском, Большом Кирсинском и Чернохолуницком. Это крупнейшие искусственные водоёмы региона, созданные для водоснабжения металлургических заводов путём сооружения плотин на реках ещё в 18 веке. В настоящее время на берегах водоёмов расположены крупные населённые пункты и промышленные объекты. С помощью наземных методов исследования установлено, что по трофо-сапробным показателям все изучаемые водохранилища являются β-мезосапробными, по трофической шкале классификации водоёмов соответствуют эвтрофному классу. При этом Омутнинское водохранилище является наиболее загрязнённым. По видовому составу высшей водной растительности и степени зарастания оно является слабоэвтрофным, по степени развития микроорганизмов относится к мезосапробной зоне, по отношению БПК<sub>5</sub>/перманганатная окисляемость испытывает сильное сапробное загрязнение [1]. Так как при эвтрофикации наблюдается массовое развитие растительности в водоёмах, для оценки их состояния применимы методы дистанционного зондирования растительности.

В качестве источника для дешифрирования данных ДЗЗ были задействованы снимки спутника Sentinel-2, находящиеся в открытом доступе, с разрешением 10 м. Для исследования водных объектов и растительности используются синий (B2, 490–560 нм), дальний инфракрасный (B11, 1610–2190 нм), зелёный (B3, 560–660

нм), красный (B4, 660–700 нм) и ближний инфракрасный (B8, 840–860 нм) каналы. Комбинирование выбранных каналов используются для дистанционного зондирования водных объектов и растительности. В ходе работы были рассчитаны нормализованный вегетационный индекс (NDVI) и нормализованный разностный индекс воды (NDWI) для четырёх водохранилищ Кировской области. Для расчёта и построения карт использовали геоинформационную систему QGIS. В статье представлены карты Омутнинского водохранилища, наиболее подверженного эвтрофикации по сравнению с другими объектами.

NDVI обычно применяется для дистанционного исследования наземной растительности. Для изучения растительности водохранилищ Кировской области была создана специализированная шкала NDVI в значениях от -1 до 1. Растительность суши обычно располагается в диапазоне от 0 до 1. При этом нулевое значение индекса можно считать условным, поскольку увлажнённые земли могут быть выделены со значением ниже нуля. Водоёмы, подверженные процессам эвтрофикации, могут дать и превышающие 0 показатели. Надводная растительность, главным образом сосредоточенная вдоль берегов, может оказаться в пределах, близких к единице, что затрудняет определение чётких границ водоёма.

Расчёт NDVI проводили по формуле:  

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4}$$

На рисунке 1 представлена карта распределения NDVI в Омутнинском водохранилище в августе 2019 г. Значения NDVI варьировали в пределах от -0,30 до 0,80.

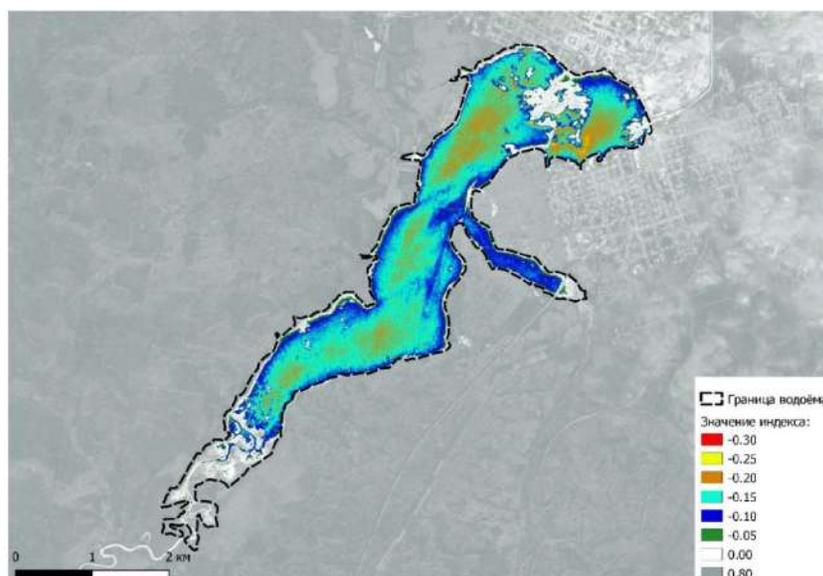


Рис. 1. Значения NDVI в Омутнинском водохранилище. Дата съёмки: 15.08.2019

На изображении отчётливо видно повышение значений индекса вблизи берегов и снижение к центральной части водоёма, что свидетельствует о скоплении биомассы растительности на мелководных прибрежных участках. Полученные результаты согласуются с данными полевых наблюдений, в ходе которых было отмечено, что в Омутнинском водохранилище по числу видов преобладают гигрофиты, представленные в основном прибрежно-водной растительностью. При полевых наблюдениях заросли высших водных растений обнаружены нами на глубинах от 0 до 6 м, при максимальной глубине водоёма до 10–11 м. на приплотинном участке (северная часть водоёма). На снимке присутствует искажение облачностью в этой части водоёма, что не позволяет получить точные данные по данному участку акватории методами ДЗЗ.

Также в ходе работы был рассчитан индекс NDWI, который позволяет обнаруживать поверхностные водные объекты среди заболоченной местности, а также чётко устанавливать границы водоёма и проводить мониторинг их изменения [2].

По сравнению с NDVI, этот индекс менее чувствителен к атмосфере. Кроме того, NDWI позволяет определить величину влагозапаса в растительности.

Расчёт индекса проводили по формуле:  

$$NDWI = (B8 - B1) / (B8 + B1)$$

На рисунке 2 представлена карта распределения NDWI в Омутнинском водохранилище в августе 2019 г. Значения NDVI в данном водоёме варьировали от 0 до 0,9.

На карте (рис. 2) довольно чётко выделяются контуры береговой линии. Они совпадают с границами водоёма, установленными по данным полевого дешифрирования. Кроме береговой линии NDWI позволяет выделить на акватории водохранилища несколько участков, отличающихся по глубине и наличию зарослей высших растений. Максимальные значения NDWI (0,8–0,9) отмечены в юго-западной части водоёма, в месте впадения реки Омутной, на акватории, свободной от надводной растительности. Участки, на которых при полевых наблюдениях отмечены заросли высших растений (хвощ речной, камыш озёрный), отличаются минимальными значениями индекса (0,1–0,2).

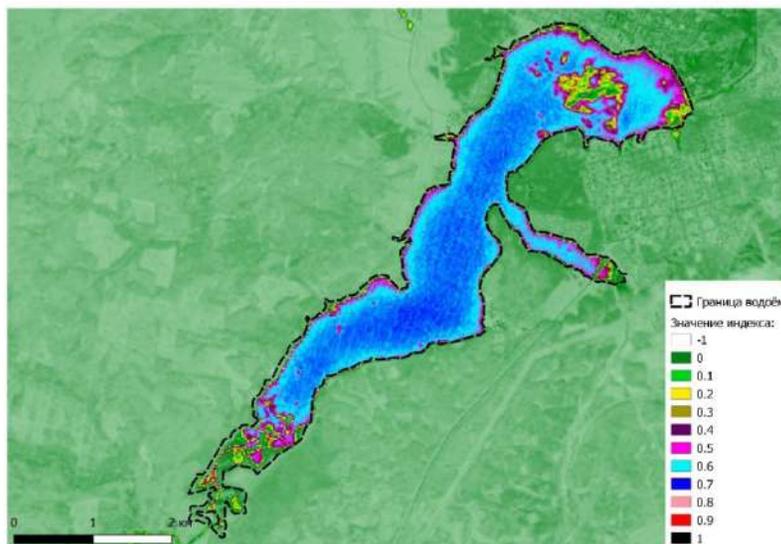


Рис. 2. Значения NDWI в Омутнинском водохранилище. Дата съёмки: 15.08.2019

Таким образом, с помощью расчёта индексов NDVI и NDWI были выявлены участки распространения высших растений в водохранилищах Кировской области. Согласно данным полевых наблюдений и значениям индексов, рассчитанных при дешифрировании данных ДЗЗ, в изученных водохранилищах высшая водная растительность развивается преимущественно в прибрежных мелководных участках,

что характерно для русловых водохранилищ. Степень зарастания водохранилищ невысокая, менее 30%, что характерно для слабоэвтрофных водоёмов. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем для изучения динамики развития растений в эвтрофированных водоёмах, а также для развития методов аэрокосмического мониторинга крупных наземных водоёмов.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-86.2019.5).*

## Библиографический список

1. Кутявина Т.И., Ашихмина Т.Я., Кондакова Л.В. Применение комплекса наземных методов исследования для диагностики загрязнения и процессов эвтрофирования водохранилищ Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2019. №2. С. 44–52.
2. Морозова В.А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования // Современные проблемы территориального развития: электрон. журн. 2019. №2. URL: <https://terjournal.ru/wp-content/uploads/2019/05/ID85.pdf> (дата обращения: 21.02.2020).

УДК 911.53

В.В. Летягина, И.Р. Идрисов, [valery\\_letyagina@mail.ru](mailto:valery_letyagina@mail.ru), [i.r.idrisov@utmn.ru](mailto:i.r.idrisov@utmn.ru)  
Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

### ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассматриваются вопросы оценки и оптимизации использования сельскохозяйственных ландшафтов с помощью геоинформационных технологий. Описана возможность применения эколого-ландшафтного подхода для формирования устойчивого агроландшафта. Предложена структура базы геоданных, которая может использоваться при решении задач сельскохозяйственного землеустройства территории.

*Ключевые слова:* сельскохозяйственные ландшафты, эколого-ландшафтный подход, устойчивость агроландшафта, геоинформационные системы, структура базы геоданных.

V. Letyagina, I. Idrisov, [valery\\_letyagina@mail.ru](mailto:valery_letyagina@mail.ru), [i.r.idrisov@utmn.ru](mailto:i.r.idrisov@utmn.ru)  
Tyumen State University, Tyumen, Russia

### ASSESSMENT OF CHANGES IN AGRICULTURAL LANDSCAPES WITH USING GIS TECHNOLOGIES

The article discusses the issues of evaluating and optimizing the use of agricultural landscapes with using geoinformation technologies. The possibility of using an ecological landscape approach to form a sustainable agricultural landscape is described. The structure of the geodatabase, which can be used in solving problems of agricultural land management of the territory is proposed.

*Keywords:* agricultural landscapes, ecological landscape approach, sustainability of the agricultural landscape, geo-information systems, the structure of the geodatabase.

Агропромышленный комплекс (АПК) юга Тюменской области является одним из самых крупных в Уральском федеральном округе и представляет собой приоритетный сектор экономики. Производство собственной сельскохозяйственной продукции полностью обеспечивает потребности региона, а с введением санкций перед АПК юга Тюменской области открылись новые перспективы увеличения объемов производства.

С 2013 года АПК региона активно развивается в соответствии с государственной программой Тюменской области «Развитие агропромышленного комплекса»

на 2013 – 2025 годы. Целью долгосрочного развития АПК является повышение эффективности сельскохозяйственного производства, качества жизни сельского населения, конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции, а также достижение продовольственной безопасности [4].

На развитие агрокомплекса выделяются значительные объёмы бюджетных финансовых средств. Однако, помимо экономической составляющей важным фактором устойчивого развития аграрного сектора области является экологическая оценка, которая необходима для рацио-

нального использования природных ресурсов на территории районов юга области, принимающих активное участие в производстве сельхозпродукции.

Важной задачей при организации сельского хозяйства является создание экологически устойчивого агроландшафта, состоящего из различных видов угодий и режимов интенсивности их использования. Рациональное размещение севооборотов, полей, лесных полос, противоэрозионные и мелиоративные мероприятия помогут оптимизировать структуру ландшафта.

Применение эколого-ландшафтного подхода позволяет установить такое соотношение площади сельхозугодий, лесонасаждений, заповедников и населенных пунктов, которое необходимо для саморегуляции агроландшафта [1].

Для решения проблемы оптимизации и сохранения экологического каркаса

сельскохозяйственных ландшафтов необходимо создание пространственной базы геоданных (БГД).

Как правило, в организациях, занимающихся исследованиями в области сельского хозяйства, имеются обширные банки данных, которые довольно громоздки поскольку представлены преимущественно на бумажных носителях. Традиционная технология анализа подобных материалов приводит к значительным затратам сил, времени, выпадению части информации из научного оборота, а также может вызывать ошибки, снижающие качество окончательных выводов [3].

Таким образом, существующая система сбора данных о сельскохозяйственных землях не отвечает современным требованиям в полной мере. В то время как состояние и динамика использования агроландшафтов является актуальным вопросом современной географической науки.

Таблица 1. Распределение земель сельскохозяйственного назначения по угодьям

Наименование угодий	Площадь, тыс. га	Площадь, %
Сельскохозяйственные угодья	2920,8	64,0%
Лесные земли	1065,9	23,3%
Земли под древесно-кустарниковой растительностью	109,5	2,4%
Земли под дорогами	24,1	0,5%
Земли под застройками	9	0,2%
Земли под водой	51,4	1,1%
Земли под болотами	359	7,7%
Другие земли	25,4	0,7%
Итого	4565,1	100,0%

По данным доклада «О состоянии и использовании земель в Тюменской области в 2017 году» земли сельскохозяйственного назначения предоставлены сельскохозяйственным предприятиям и организациям, а также гражданам для ведения крестьянского хозяйства, индивидуального предпринимательства, личного подсобного хозяйства, садоводства, огородничества, животноводства, сенокосения и выпаса скота.

Земли сельскохозяйственного назначения состоят из сельскохозяйственных и несельскохозяйственных угодий, распределение площадей по угодьям представлены в таблице 1.

В 2017 году площадь земель сельскохозяйственного назначения увеличилась на 11,8 тыс. га, за счет земель запаса в Нижнетавдинском и Омутинском районах.

Из земель сельскохозяйственного назначения на основании решений Департамента имущественных отношений Тюменской области переведено в земли промышленности и иного специального назначения 200 га, в основном для реконструкции существующих автодорог, объектов придорожного сервиса, и полигонов ТБО [2].

Можно сделать вывод, что в некоторых районах наблюдается положительная ди-

намика сельхозугодий и активный рост АПК за счет использования земель крестьянскими хозяйствами. Как следствие происходит вовлечение в оборот ранее не используемых или не учтенных земель. А в других районах обратная ситуация, когда пахотные территории сокращаются из-за перехода сельхозугодий в другие категории земель. В дальнейшем эти земли зарастают лесом и кустарником либо находятся в состоянии долговременных залежей и забросов. Кроме того, встречаются случаи нецелевого использования пахотных земель в качестве сенокосов и пастбищ, а также под дачное строительство, промышленные площадки и складские сооружения.

На сегодняшний день для формирования статистики сельскохозяйственного землепользования используются схемы землеустройства, которые не отражают реальную информацию о состоянии и использовании земель и не могут считаться достоверными.

Для анализа состояния и динамики использования пахотных земель необходимо проведение инвентаризации сельхозугодий и создание специальных тематических карт изменений сельскохозяйственных ландшафтов. Для решения этих задач в аграрном секторе применяются данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и геоинформационные системы (ГИС), которые дают возможность получить объективную оценку количества и качества сельскохозяйственных земель.

Дистанционные методы позволяют проводить мониторинг сельскохозяйственных ландшафтов и прогнозировать влияние климатических условий на состояние и продуктивность посевов [5].

Начальный этап использования ГИС-технологий предполагает разработку структуры пространственной БГД, содержащей информацию о сельскохозяйственных ландшафтах. Структура БГД должна обеспечить возможность комплексного анализа сельхозугодий для принятия рациональных управленческих решений.

В целом для функционирования БГД необходимо несколько наборов данных, включающих в себя статистическую, агрономическую и непосредственно картографическую информацию (рис. 1).

Применение спутниковых ДДЗ в сочетании с цифровой моделью рельефа и топографическими картами представляют собой топографическую основу и помогут восстановить динамику сельскохозяй-

ственных ландшафтов региона с конкретного момента использования земель.

При создании БГД сельскохозяйственных ландшафтов необходимо использование материалов ДЗ за период весна, лето, осень, что позволит получить актуальную информацию о пространственных изменениях и установить, какие территории активно участвуют в сельскохозяйственном обороте.

Кадастровое деление территории необходимо для учета фактической принадлежности и использования земельных участков.



Рис. 1. Структура БГД сельскохозяйственных ландшафтов

Тематические карты являются ландшафтной базой исследований и включают в себя ландшафтную и почвенную карту региона, которые имеют важное значение для комплексной оценки агроландшафтов. Кроме того, на основе имеющихся данных разрабатываются карты оценки изменений сельскохозяйственных ландшафтов.

Отчетность сельхозпроизводителей является частью статистических данных, которые позволяют оценить возделываемые культуры по полям, их урожайность, а также объемы внесения удобрений.

Собранные воедино данные о сельскохозяйственных ландшафтах, обобщенные в виде многослойной БГД, визуализируются в качестве пространственной картографической модели. Результатом использования предложенных наборов классов пространственных объектов в структуре БГД является инвентаризация сельхозугодий, оценка состояния и динамики использования сельскохозяйственных

ландшафтов. В последствии созданная БГД может применяться для решения задач ландшафтного планирования и сельскохозяйственного землеустройства территории.

Таким образом, современная периодически обновляемая база данных, создан-

ная на основе ГИС-технологий, позволит специалистам принимать управленческие решения по реализации и совершенствованию производственных процессов, территориальной организации и оценивать территорию сельскохозяйственного предприятия в комплексе с окружающим ландшафтом.

### Библиографический список

1. Барсукова Г.Н. Эколого-ландшафтный подход к организации территории сельскохозяйственного производства как условие решения проблемы продовольственной безопасности // Научный журнал КубГАУ. 2016. №115(01). С. 15.
2. Доклад управления федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Тюменской области «О состоянии и использовании земель в Тюменской области в 2017 году». Тюмень, 2017. 129 с.
3. Каторгин И.Ю. Анализ и оценка агроландшафтов Ставропольского края с использованием геоинформационных технологий: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.26. Ставрополь, 2004. 167 с.
4. Каюгина С.М. Государственная поддержка АПК юга Тюменской области // Молодой ученый. 2015. №22 (102). С. 412–414.
5. Нефедов Б.А., Храбсков Е.Н. Развитие геоинформационных систем в космическом мониторинге сельскохозяйственных угодий // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ. 2008. №5(2). С. 10–13.

УДК 631.47:904

Ф.Н. Лисецкий, А.О. Полетаев, Е.Я. Зеленская, liset@bsu.edu.ru

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия*

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ И РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ДРЕВНЕЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ РАЙОНАХ КРЫМА**

Использование ГИС-технологий позволяет территориально упорядочить систему расселения населения, дешифровочные признаки землепользования и землеустройства, а также связать полученные результаты с модельной транспортной сетью, применяя алгоритм логистической целесообразности. Этот подход был реализован для территории Европейского Боспора (Керченский полуостров) на время расцвета аграрного производства в эллинистический период (IV-II вв. до н.э.). Результатом геоархеологического картографирования стали участки размежевания земель в пределах 500-метровых буферных зон от дорог, которые логистически целесообразно соединяют крупные античные перегрузочные узлы (хабы) аграрного производства.

*Ключевые слова:* ГИС-технологии, геопортал, античное землеустройство, постантичные залежи.

F. Lisetskii, A. Poletaev, E. Zelenskaya, liset@bsu.edu.ru

*Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia*

## **GEOINFORMATION SUPPORT OF RESEARCHES OF ORGANIZATIONAL STRUCTURE AND RESOURCE CHARACTERISTICS IN ANCIENT AGRICULTURAL AREAS OF CRIMEA**

The use of GIS technologies allows you to coordinate the population settlement system, deciphering signs of land use and land surveying, as well as associate the results with a model transport network using the least cost path algorithm. This approach was implemented for the territory of the European Bosphorus (Kerch Peninsula) during the heyday of agrarian production in the Hellenistic period (IV–II centuries BC). Geoarchaeological mapping resulted in land demarcation sites within 500-meter buffer zones from roads that logistically expedient connect large antique hubs of agricultural production.

*Keywords:* GIS technology, geoportal, antique land management, post-antique fallow land.

В ряду важнейших целей геоархеологии формулируется как установление хода природных процессов при формировании современного облика археологического ландшафта, что определяет пространственный контекст геоархеологии, так и учет антропогенных воздействий на формирование памятника [5]. Методы геоинформационного анализа для прогнозирования мест нахождения объектов археологии, анализа расстояний, построения буферных зон и т.п. широко используются в геоархеологических исследованиях последнего времени [3]. Технология разработки специализированных геоархеологических баз данных создает возможность для решения двух взаимодополняющих задач: каталогизации археологических объектов и ретроспективного пространственно-временного моделирования исторического процесса и археологического ландшафта [4].

Территория Крымского полуострова длительное время была объектом древнегреческой колонизации, в результате

которой был основан ряд полисов, к которым в первую очередь относится Пантикапей, Херсонес Таврический, Калос Лимен. Одной из ключевых особенностей древнегреческого земледелия IV–II вв. до н.э. являлось формирование специфических земледельческих межевых систем. Они включали во многих случаях земляные валики, валы из камней, наделы с плантажными стенами и другие элементы, которые могли сохраняться тысячами лет вплоть до наших дней и остались невозможными источниками информации о практиках землепользования. Такие объекты представляют не только историческую ценность, но и уникальную возможность для понимания процессов длительного агропедогенеза в пределах датированных земельных наделов и особенностей постагрогенного развития почв [7]. Признаки древних систем расселения и землепользования в восточной части Керченского полуострова (европейской части территории Боспорского царства (V в. до н.э. – VI в. н.э.)) зафиксированы с привлече-

нием современных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Существенным отличием территории, примыкающей к полисам Пантикапей, Нимфей, Китей, Киммерик и другим поселениям Боспорского царства, от хорошо сохранившейся до недавнего времени земельно-кадастровой системой Херсонеса Таврического, является отсутствие внешних границ античного земледелия. Точная локализация границ древних земельных наделов позволяет обоснованно выбирать объекты для почвенно-генетического исследования постантичных залежей с целью оценки изменений ресурсов почвенного плодородия в результате длительного агропедогенеза, а также проводить датирование с применением педохронологического метода [7].

Цель работы состояла в адаптации алгоритма логистической целесообразности транспортной инфраструктуры для прогнозной атрибуции структурных элементов античного межевания земель. Эти результаты в более широком контексте (с привлечением археологических данных, связанных с древним земледелием и скотоводством в степном Крыму) позволяют разработать всестороннее представление об организационной структуре и ресурсной базе древнего землепользования, разработать пространственно-временные модели агрохозяйственного использования почвенно-земельных ресурсов и установить адаптации ранних экономических моделей к изменяющимся природным и социальным условиям, а также использовать подходы к ландшафтной реконструкции [9].

Геоданные о древних системах расселения и землепользования на территории Крымского полуострова предоставляет ранее разработанная в НИУ БелГУ [2; 6] геоинформационная аналитическая система «Археологические памятники Крыма» (<https://crimgeoarch.bsu.edu.ru>). Реализованный в геопортале механизм удалённого редактирования и пополнения базы геоданных археологических памятников, совмещенной с векторными слоями земельных угодий и административно-кадастрового деления, позволяет актуализировать состояние объектов историко-культурного наследия путем обновления существующих картографических слоев. Кроме того, территориальное распределение курганов, имеющее важное прогностическое значение для реконструкции древней дорожной сети, стало доступным благодаря включению адаптированных геоданных из геопорта-

ла НИУ БелГУ в новый информационный ресурс *Eurasian Kurgan Database* (<http://openbiomaps.org/projects/kurgan>), реализуемый совместно с учеными Венгрии (*MTA-DE Biodiversity and Ecosystem Services Research Group*).

Перспективные территории для изучения постантичных залежей были картографированы с использованием геоинформационной программы *ArcGIS*. Предварительная подготовка снимков выполнена в программе *ERDAS IMAGINE*. Для обеспечения проводимых оценок все используемые разновременные спутниковые изображения прошли процедуру географической привязки. Восточная часть Керченского полуострова характеризуется наличием достаточно обширных участков с отсутствием существенных антропогенных изменений земель с середины 1980-х гг. Многие из них находятся в непосредственной близости от древнегреческих полисов. Анализ геоинформационных картограмм, характеризующих участки минимально нарушенных земель, либо земель без признаков нарушений с середины 1980-х гг. по 2018 г., показал, что общая площадь таких территорий составляет 11460 га. С использованием подготовленных картограмм выполнен сопряженный анализ локализации перспективных залежей с выявленными текстурными признаками древнего землепользования. Это позволило провести комплексное исследование постагрогенных почв в трех районах земледельческой зоны Европейского Боспора (Крымское Приазовье («царская хора»)), к западу и к северо-востоку от Пантикапея (Керчи), на хоре Нимфея и на юге Керченского полуострова.

С помощью средств *ArcGIS* реализован алгоритм нахождения оптимального пути (*least cost path algorithm*) между крупными античными поселениями европейской части Боспорского царства (рис. 1). В этом алгоритме не принимается во внимание направление движения, и считается, что затраты на преодоление пути между населенными пунктами в прямом и обратном направлениях одинаковы. Полученная модель является, таким образом, изотропной. В алгоритме были использованы следующие инструменты: Уклон, Переклассификация, Взвешенное наложение, Затратное расстояние, Оптимальный путь, Растр в линии.

Территориальной основой стала ЦМР (*ASTER GDEM*). Классифицированный растр угодий объединяет сконвертированные в растр векторные слои водоемов

и водотоков, полученных с помощью ресурса *Open Street Map*. Предварительно, перед конвертацией в растр, к векторным слоям в таблицу атрибутов был добавлен столбец «Value» и присвоено значение для водотоков, равное 5, и для водоемов, равное 10. С помощью инструмента Калькулятор растра два растровых слоя были объединены в классифицированный растр угодий путем использования уравнения:  $\text{Con}(\text{«водотоки»} == 5, 5, \text{Con}(\text{«водоемы»} == 10, 10, \text{Con}(\text{«водотоки»} == 5) \& (\text{«водоемы»} == 10), 1))$ . При использовании инстру-

мента «Взвешенное наложение» вес фактора «Переклассифицированный растр уклона» был установлен на уровне 70%, вес фактора «Классифицированный растр угодий» был установлен на уровне 30%. Переменными величинами являлись пункты отправления и назначения. Перечень античных городов и крупных сельских поселений извлечен из геопортала, а географические координаты были определены из каталога античных поселений Европейского Боспора эллинистического времени [1].



Рис. 1. Картограмма прогнозного межевания земель в эллинистический период с учетом расположения дорог, построенных с использованием алгоритма логистической целесообразности

При построении модели системы дорог между античными населенными пунктами с помощью метода нахождения оптимального пути была принята во внимание карта основных дорог второй половины XIX в. Для создания наиболее полного представления о возможной системе древних дорог в западной части Керченского п-ова была подгружена трехверстовая военно-топографическая карта Европейской России, и выделены дороги, проходящие вблизи античных поселений Европейского Боспора эллинистического времени. Картограмма дорожной сети, составленная путем использования алгоритма нахождения оптимального пути между античными поселениями, включает земляные валы, являвшиеся частью фортификационной системы Европейского Боспора. В

результате исследования, проведенного Т.Н. Смекаловой [8], были определены древние проезды через Уzunларский вал. Буферные зоны построены с расстоянием 500 м от смоделированных дорог, а из каталога античных поселений Европейского Боспора эллинистического времени [1] были отобраны те населенные пункты, которые находятся в пределах буферных зон. Количество поселений в пределах буферных зон составила 162 (из 527 поселений, указанных в каталоге [1]), т.е. 30%. Однако, при этом надо учитывать, что в западной части Керченского полуострова дороги, построенные с помощью алгоритма нахождения оптимального пути, проходят только вдоль береговой линии. Важно отметить, что пересечение Уzunларского вала со смоделированной доро-

гой частично совпадает с расположением древних проездов. Система прогнозного античного межевания, определенная путем дешифрирования космических снимков (с использованием разновременных снимков ресурса *Google Earth*, снимков *CORONA*, *Orbview-3*), была сопоставлена с системой дорог, построенных с использованием алгоритма нахождения оптимального пути. В результате были выделены участки системы межевания земель в пределах 500-метровых буферных зон от дорог как наиболее вероятные для эллинистического времени (IV–II вв. до н.э.) – периода расцвета агарного производства

на Европейском Боспоре (рис. 1). Это позволило провести верификацию текстурных признаков, выявленных при анализе материалов ДЗЗ, которые могли включать и границы землепользований XIX века на территории Керченского градоначальства. Используемый алгоритм логистически целесообразной транспортной инфраструктуры применим в целях логико-математической атрибуции кластеров античного межевания как прогнозный аргумент при реконструкции селитебного, транспортного и землеустроительного каркаса территорий длительного аграрного землепользования.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 18-00-00562 (полевые работы в Крыму для формирования базы постантичных залежей) и РНФ, проект № 20-67-46017 (результаты изучения античной системы расселения и сельских округ методами ГИС-технологий).*

#### Библиографический список

1. *Античные поселения Европейского Боспора эллинистического времени (каталог памятников) / Д.В. Бейлин, Е.Л. Ермолин, А.А. Масленников, С.Л. Смекалов // Древности Боспора. 2014. Т. 18. С. 35–72.*
2. *Буряк Ж.А., Лисецкий Ф.Н., Ильяшенко С.В. Геоинформационная аналитическая система «Археологические памятники Крыма» // Геодезия и картография. 2018. Т. 79. №12. С. 29–40.*
3. *Интеграция традиционных и современных методов в геоинформационном картографировании / И.Е. Сидорина [и др.] // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2019. Т. 25. №1. С. 35–46.*
4. *Крупочкин Е.П., Дунец А.Н. Новые тенденции и перспективы развития археологического картографирования // География и природные ресурсы. 2018. №4. С. 15–25.*
5. *Кузьмин Я.В. Геоархеология: естественнонаучные методы в археологических исследованиях. Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2017. 396 с.*
6. *Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Украинский П.А., Полетаев А.О. Информационное обеспечение задач мониторинга и охраны объектов историко-культурного наследия Крыма с использованием ГИС-технологий // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2018. №6. С. 42–48.*
7. *Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А., Буряк Ж.А. Геоархеологические исследования исторических ландшафтов Крыма. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2017. 432 с.*
8. *Смекалова Т.Н. О расположении древних проездов через Узунларский вал по данным дистанционных и картографических методов // XVIII Боспорские чтения. Боспор Киммерийский и варварский мир в период античности и средневековья. Торговля: пути-товары-отношения. 2017. С. 461–472.*
9. *Zubarev V., Smekalov S., Yartsev S. Materials for the ancient landscape reconstruction in the Adzhiel landscape compartment in the Eastern Crimea (the first stage research results) // Journal of Archaeological Science: Reports. 2019. Vol. 23. P. 993–1013.*

УДК 712.24

Г.З. Мажитова<sup>1</sup>, С.В. Пашков<sup>1</sup>, С.В. Крыцкий<sup>2</sup>, mazhitova\_gulnur@mail.ru<sup>1</sup>Северо-Казахстанский государственный университет им. М.Козыбаева,  
г. Петропавловск, Республика Казахстан<sup>2</sup>ТОО «GEOSCAN-Kazakhstan», г. Петропавловск, Республика Казахстан

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОЛАНДШАФТНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Статья посвящена вопросу агроландшафтного картографирования, применения современных геоинформационных методов, материалов дистанционного зондирования Земли для разработки агроландшафтных карт и моделей. Рассмотрены возможности и преимущества использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве и агроландшафтных исследованиях. В представленной работе рассматривается опыт применения аэрофотосъемки с БПЛА и ее материалов для геоинформационного обеспечения агроландшафтного картографирования на примере Северо-Казахстанской области.

*Ключевые слова:* сельское хозяйство, агроландшафт, БПЛА, дистанционное зондирование Земли, Северо-Казахстанская область.

G. Mazhitova<sup>1</sup>, S. Pashkov<sup>1</sup>, S. Krytskij<sup>2</sup>, mazhitova\_gulnur@mail.ru<sup>1</sup>North Kazakhstan State University named after M. Kozybayev,  
Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan<sup>2</sup>LTD "GEOSCAN-Kazakhstan", Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan

## EXPERIENCE OF UAV APPLICATION FOR GEOINFORMATION SUPPORT OF AGROLANDSHADE MAPPING

The article is devoted to the issue of agrarian landscapes mapping, application of modern geoinformation methods and materials of remote sensing of the Earth for the development of agrarian landscapes maps and models. The possibilities and advantages of the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in agriculture and agrarian landscapes scaffolding research are considered. The presented work considers the experience of using aerial photography with UAVs and its materials for geoinformation support of agrarian landscapes mapping on the example of North Kazakhstan region.

*Keywords:* agriculture, agrarian landscape, UAV, remote sensing of the Earth, North Kazakhstan region.

**Ведение.** В настоящее время для получения достоверной и актуальной информации, необходимой для решения различных задач, широко используются средства и методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): материалы космической съемки и аэросъемки с БПЛА, геоинформационные технологии.

Многочисленные публикации подтверждают достаточно широкие возможности космической съемки для сельскохозяйственного производства. Однако съемка с космических аппаратов ведется для получения характеристик и мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения на глобальном и региональном уровнях, и имеет ряд недостатков. В частности, это высокая стоимость, недоступность обычным сельхозпроизводителям, зависимость от времени суток и погодных условий, достаточно сложный процесс дешифрирования материалов съемки, а

также вопросы детальности и качества съемки, оперативности получения материалов и др. Для сельского хозяйства важны именно детальность и оперативность получаемых данных, их высокое разрешение и качество. Наиболее перспективно в этом отношении является использование беспилотной авиатехники. Дистанционное зондирование с помощью БПЛА отличается оперативностью и высоким уровнем автоматизации, позволяет получать снимки с высоким пространственным разрешением и степенью точности [7; 9].

Сегодня БПЛА в сельском хозяйстве используется для инвентаризации сельскохозяйственных земель и угодий, мониторинга состояния посевов, прогнозирования урожайности, определения вегетационных индексов, контроля персонала и техники, картографирования и др. Перспективным представляется применение БПЛА в точном (прецизионном) земле-

делии [8]. Современные методы съемки с БПЛА предоставляют возможность определять по физиологическим характеристикам, биофизическим и биохимическим параметрам, а также иным свойствам сельскохозяйственных культур сроков и объемов внесения удобрений, средств защиты растений от болезней, вредителей, сорняков, получать информацию о биомассе, питательных веществах, стадии роста посевов, выполнять оценку урожайности и многое другое [4; 9].

Природно-климатические условия Северо-Казахстанской области (СКО), высокая сельскохозяйственная освоенность территории, многолетняя и значительная агрогенная нагрузка привели к существенной уязвимости геосистем, активизации проявления таких негативных процессов, как эрозия и дефляция почв, снижение плодородия, вторичное засоление и др. [2; 3]. Сложившаяся неблагоприятная экологическая ситуация обусловила необходимость перевода сельского хозяйства региона на научно обоснованное и эколого-сбалансированное производство. Решение данных задач невозможно без высокого уровня изученности агроландшафтов, создания специализированных информационных баз, агроландшафтных карт и моделей. Развитие этого направления предполагает применение геоинформационных технологий [5; 6].

В данной работе представлены результаты и опыт применения дистанционных методов исследования с помощью БПЛА и материалов аэрофотосъемки для агроландшафтного картографирования в ГИС-среде на примере СКО.

#### **Материалы и методы исследования.**

Объектом исследования являлись агроландшафты СКО, располагающиеся в границах лесостепной природной зоны. Работа выполнялась на двух ключевых участках: 1) Кызылжарский район, Вагулинский сельский округ, в 1 км к северо-западу от с. Соколовка, вблизи оз. Лебяжье; 2) район им. М. Жумабаева, Фурмановский сельский округ, вблизи с. Береке (Новый Быт).

При выполнении исследований опирались на опыт и результаты прикладных геоинформационно-картографических исследований, представленных в трудах: А.М. Берлянта, В.С. Тикунова, В.А. Николаева, И.Ю. Каторгина, С.А. Тесленка, А.В. Ольшевского, С.Е. Перфильева и др.

В качестве исходных материалов исследования привлечены литературные и

фондовые материалы, картографические источники, включая ландшафтную, почвенную карту, карту сельскохозяйственного землеустройства региона, электронную топографическую основу, результаты полевых работ авторов, выполненные в 2017–2019 гг.

Работа основывается на аэрофото-материалах, полученные посредством съемки с БПЛА. Съемка проводилась в летний период 2018 г. и осенний период 2019 г. аэрофотосъемочным комплексом «Геоскан-201М» Агро/Геодезия. Камеры SonyRX-1 (видимый диапазон, 5 см/пиксель), MicasenseRedEdgeM (мультиспектральная 5-канальная, 13 см/пиксель). Для фотограмметрической обработки аэрофотоснимков использовано специализированное программное обеспечение AgisoftPhotoScan Professional Edition. Геоинформационная обработка осуществлялась в программном продукте ГИС ArcGIS 10.1 (ESRI Inc.).

В ходе работы использованы методы комплексных физико-географических полевых исследований, сравнительно-географический, дистанционного зондирования с применением БПЛА, геоинформационного моделирования и картографирования.

Исследование включало несколько этапов. В ходе работ на первом этапе проведен сбор, систематизация и анализ исходных данных, организованы полевые ландшафтно-географические исследования на ключевых участках. Определены оптимальные параметры съемки (высота, диапазон и разрешение, координаты контура участка съемки, координаты центров фотографирования и др.), сформирован маршрут и полетное задание для БПЛА. Основной объем работ заключался в проведении аэрофотосъемки и последующей обработки ее материалов. Данный этап предполагал выполнение координатной привязки фотоснимков БПЛА, геометрическую коррекцию геоизображений, перевод материалов съемки в обменный формат для дальнейшей работы в ГИС.

**Результаты исследования.** По результатам аэрофотосъемки получена серия снимков с привязкой к географическим координатам. Аэрофотоснимки характеризуются высокой точностью и детальностью изображения. На рисунках 1, 2 представлен в качестве примера ряд аэрофотоснимков исследуемых участков, полученных в ходе съемки с БПЛА «Геоскан-201М».

С помощью съемки с БПЛА получены детальные и высокоточные изображения, которые позволили разработать в ГИС картографические модели исследуемых участков и создать базу данных. В частности, на основе материалов аэрофотосъемки получен ортофотоплан, матрицы высот местности. Построение последних осуществлялось фотограмметрическим методом по стереопарам снимков с БПЛА и интерполяции облаков точек. На их основе создана цифровая модель местности

исследуемой территории. Точная модель местности позволила построить карты крутизны и экспозиции рельефа района съемки. По ним определены и изучены морфометрические характеристики рельефа, оценен потенциальный сток, опасность проявления эрозии, тепло- и влагообеспеченность. Наряду с этим, по материалам съемки на ключевом участке 1 произведен расчет вегетационного индекса NDVI.



Рис. 1. Аэрофотоснимки ключевого участка №1 (БПЛА «Геоскан-201М», высота съемки 280 м)



Рис. 2. Аэрофотоснимки ключевого участка №2 (БПЛА «Геоскан-201М», высота съемки 500 м)

На основе собранных исходных материалов, а также полученных в ходе съемки с БПЛА, сформирована база данных, содержащая комплексную информацию по исследуемым участкам. Она включает климатические, геоморфологические, почвенные и другие характеристики природной среды и ее компонентов, наиболее важных для сельского хозяйства и оптимального функционирования агроландшафтов. Кроме того, в ней представлены данные производственно-экономической составляющей: сведения о предшествующих культурах, их урожайности за последние годы, использовании удобрений

и средств защиты растений и др. Эти материалы дополнили ранее созданную базу геоданных по агроландшафтам региона [1].

На следующем этапе исследований предполагается проведение мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур, прогноза их урожайности на основе данных аэрофотосъемки с БПЛА. В ходе исследования планируется выполнение опытно-экспериментальных работ на ключевых участках. Их результаты позволят оценить возможности и эффективность применения БПЛА в сельском хозяйстве региона для решения множе-

ства задач, в том числе внедрение элементов адаптивно-ландшафтного земледелия для проектирования и конструирования устойчивых агроландшафтов.

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования и полученные результаты подтверждают, что материалы съемки БПЛА являются источником достоверной

информации и могут служить исходной основой для разработки и создания в ГИС различных геоинформационно-картографических моделей. Данные технологии имеют широкие перспективы применения для решения различных задач в области агроландшафтных исследований, картографирования и моделирования агрогеосистем.

### Библиографический список

1. *ГИС-технологии в адаптивно-ландшафтном земледелии* / Трифонова Т.А. [и др.] // ГИС и природные ресурсы. 2002. №1(20). URL: <https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php> (дата обращения: 13.11.2019).
2. *Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве* / Ю.Н. Зубарев [и др.]. 2009. №2. С. 47–51.
3. *Использование беспилотных летательных аппаратов в сельскохозяйственном производстве* / Сметнев А.С. // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2015. №18 (23). С. 51–56.
4. *Каторгин И.Ю.* Анализ и оценка агроландшафтов Ставропольского края с использованием геоинформационных технологий: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ставрополь. 24 с.
5. *Мажитова Г.З.* Геоинформационное картографирование агроландшафтов Северо-Казахстанской области // Материалы XII Международной научной конференции молодых ученых «Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане». Алматы. 2018. Ч. 1. С. 11–16.
6. *Ольшевский А.В.* Геоинформационное картографирование агроландшафтов Белорусского полесья // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2. Химия. Биология. География. 2009. №2. С. 71–75.
7. *Пашков С.В., Пигалев А.В.* Дефляция почв Северо-Казахстанской области // Вест. Заб. гос. ун-та. 2016. Т. 22. №2. С. 14–25.
8. *Пашков С.В., Тайжанова М.М.* Детерминанты овражной эрозии в Северном Казахстане // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. №4. С. 50–63.
9. *Тесленок С.А.* Агроландшафтогенез в районах интенсивного хозяйственного освоения: Исследование с использованием ГИС-технологий. Saarbrücken: LAP LAMBERT AcademicPublishing, 2014. 189 с.

УДК 911.2

П.Г. Михайлюкова<sup>1</sup>, Д.А. Петраков<sup>1</sup>, О.В. Тутубалина<sup>1</sup>, М.В. Зимин<sup>1</sup>, Э.А. Азизов<sup>2</sup>,  
Р.А. Усубалиев<sup>2</sup>, Н.В. Коваленко<sup>1</sup>, p.mikhaylyukova@gmail.com

<sup>1</sup>Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, г.Москва, Россия

<sup>2</sup>Центрально-Азиатский Институт прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ), г.Бишкек,  
Киргизская Республика

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ЗНАЧЕНИЙ АЛЬБЕДО СНЕЖНО-ЛЕДОВОГО ПОКРОВА ДЛЯ РАЗНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ ПО ДАННЫМ SENTINEL-2/MSI

В статье рассмотрены особенности расчета альbedo снежно-ледового покрова по космическим снимкам Sentinel-2 MSI для разных физико-географических районов с целью дальнейшей разработки универсальной методики расчета альbedo по данным Sentinel-2/MSI.

*Ключевые слова:* альbedo, снежно-ледовый покров, Sentinel-2/MSI.

P. Mikhaylyukova<sup>1</sup>, D. Petrakov<sup>1</sup>, O. Tutubalina<sup>1</sup>, M. Zimin<sup>1</sup>, E. Azizov<sup>2</sup>, R. Usubaliev<sup>2</sup>,  
N. Kovalenko<sup>1</sup>, p.mikhaylyukova@gmail.com

<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Central-Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG), Bishkek, Kyrgyz Republic

## ANALYSIS OF THE SNOW-ICE COVER ALBEDO CALCULATIONS ACCURACY FOR DIFFERENT GEOGRAPHICAL REGIONS BASED ON SENTINEL-2/MSI DATA

The article represents the methods of calculating the snow-ice cover albedo based on Sentinel-2/MSI images for different physical and geographical areas in order to further develop a method for calculating the albedo from Sentinel-2/MSI data.

*Keywords:* albedo, snow-ice cover, Sentinel-2/MSI.

**Введение.** Снежно-ледовый покров является одним из главных индикаторов климатических изменений, а в заселенных территориях и в районах активного промышленного освоения – показателем уровня загрязнения. Изменения в свойствах льда и снега, связанные с климатическими и антропогенными факторами, обуславливают изменение их отражательной способности (альbedo) как в пространстве, так и во времени. В настоящее время все большее количество работ по анализу изменений значений альbedo разного типа поверхностей выполняется на основе космических снимков разного пространственного разрешения и охвата [1; 3; 6-8]. Преимуществом такого подхода является практически одновременное формирование изображений в разных спектральных диапазонах для территории большой площади. Сложностями является необходимость выполнения топографической коррекции и учета положения Солнца в момент съемки. В представленной работе выполнена оценка качества космических снимков Sentinel-2 MSI с точки зрения расчета значений альbedo.

**Ключевые районы и методы.** Анализ точности расчетов значений альbedo снежно-ледового покрова выполнялся для нескольких ключевых районов с разными характеристиками снежно-ледового покрова, условиями освещенности и особенностями рельефа:

1) языки ледников с отсутствием снежного покрова и наличием поверхностной морены – Голубина, Абрамова (Киргизия);

2) свежеснежный снег на поверхности ледника – Гарабаши (Эльбрус, Боковой хребет Большого Кавказа, Россия), Сары-Тор (Тянь-Шань, Киргизия);

3) участки снега на поверхности ледника со сложным рельефом – Лысый (Тянь-Шань, Киргизия);

4) снежный покров городских территорий (на примере г.Москва).

Для всех указанных районов проведены полевые работы. В таблице 1 указаны даты космической съемки и дата проведения полевых работ.

Таблица 1. Даты полевых работ и съемки Sentinel-2 MSI

Ключевой район	Даты проведения полевых работ	Дата космической съемки Sentinel-2 MSI
Ледник Голубина	28.08.2016	29.08.2016
Ледник Абрамова	02.08.2016	02.08.2016
Ледник Сары-Тор	24.09.2018	25.09.2018
Ледник Лысый	24.09.2018	25.09.2018
Ледник Гарабаши	09.06.2018 12.06.2018	09.06.2018 12.06.2018
Москва	31.03.2019	31.03.2019

При выборе космических снимков главными ограничивающими факторами явились наличие облачности и теневых зон, возникающих вследствие условий освещенности и геометрии съемки. Для всех снимков, использованных в работе, была выполнена атмосферная коррекция при помощи программного модуля sen2cor (<http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>).

Анализ литературных источников показал, что расчет значений альbedo по космическим снимкам высокого разрешения выполняется главным образом на основе трех формул (адаптированы под спектральные каналы аппаратуры Sentinel-2 MSI):

$$\text{Альbedo}_{\text{Кнап}} = 0,726 \cdot b_3 - 0,322 \cdot b_{32} - 0,015 \cdot b_8 + 0,581 \cdot b_{82}, \quad (1) [4]$$

$$\text{Альbedo}_{\text{Liang}} = 0,356 \cdot b_2 + 0,130 \cdot b_4 + 0,373 \cdot b_8 + 0,085 \cdot b_{11} + 0,072 \cdot b_{12} - 0,0018, \quad (2) [5]$$

$$\text{Альbedo}_{\text{DugLeDrew}} = 0,526 \cdot 1,12b_2 + 0,232b_7 + 0,130 \cdot 0,63b_7 + 0,112 \cdot b_{12}, \quad (3) [2]$$

где  $b_2 - b_{12}$  – спектральные каналы Sentinel-2 MSI:  $b_2 - 0,490$  мкм,  $b_3 - 0,560$  мкм,  $b_4 - 0,665$  мкм,  $b_8 - 0,842$  мкм,  $b_{11} - 1,610$  мкм,  $b_{12} - 2,190$  мкм.

Анализ точности рассчитываемых по этим формулам значений альbedo выполнялся на основе регрессионного анализа в два этапа. На первом этапе рассчитыва-

лись разности между наземными измерениями и значениями альbedo, вычисленными по космическим снимкам. Для регрессионного анализа использовались те точки, для которых разность значений между наземными и спутниковыми измерениями по модулю не превышала 0,1. Такое пороговое значение связано с тем, что большие разности характеризуют в большей степени ошибки, связанные с неоднородностью местности в пределах пикселя изображения (чередование снега, льда, морены и тп.), а также с краевыми эффектами на границах ледников. После того, как были оценены разности в значениях альbedo, рассчитывалось уравнение регрессии для выборки, где разность не превысила пороговую величину. На основе полученного уравнения регрессии выполнялся пересчет всех значений альbedo, извлеченных по космическим снимкам, и затем выполнялся анализ скорректированных значений относительно наземных измерений.

**Результаты.** Проведенный статистический анализ показывает, что для разных районов точность расчетов по методам (1)–(3) неодинаковая.

Максимальное значение  $R^2$  (0,97) наблюдается для территории Москвы. При этом следует отметить, что для всех анализируемых методов (1)–(3) значение  $R^2$  одинаково. Следует отметить небольшой процент измерений, участвующих в выборке (26%, 57%, 45% для методов (1) – (3)), что, вероятно, связано с неоднородностью снежного покрова в весеннее время.

Максимальный процент измерений (более 90% практически для всех методов), участвовавших в статистическом анализе, характерен для ледников Голубина и Абрамова, что объясняется относительно однородной по своим отражательным свойствам поверхностью ледников (отсутствие сложного рельефа и свежеевыпавшего снега). При этом значения  $R^2$  для разных методов расчета альbedo по космическим снимкам примерно одинаковы для ледника Голубина (0,50–0,52), а выборка, участвующая в расчетах по методу (1), характеризуется достаточно низким значением  $R^2$  (0,23) при относительно высоких значениях (0,61 и 0,62) для других методов ((2) и (3) соответственно).

Для ледника Лысый процент измерений, участвующих в анализе точности альbedo, оказался минимальным (22%, 30% и 6% для методов (1), (2), (3)), что обусловлено наличием свежеевыпавшего снега в

совокупности со сложным рельефом. При этом значение  $R^2$  превышает 0,5 только для расчетов по методу (2). Похожая ситуация наблюдается и для ледника Гарабаши, где процент измерений также небольшой (38%, 49%, 26% для методов (1), (2), (3) соответственно), однако коэффициент  $R^2$  для значений альбеда, рассчитанных по методам (1) и (3), существенно выше (0,62

и 0,58 соответственно).

Для ледника Сары-Тор, имеющего схожие условия образования снежно-ледового покрова, процент измерений, участвующих в статистическом анализе выше, чем для аналогичные значения для ледника Гарабаши – 63% (1), 79% (2), 31% (3). Максимальные значения коэффициента  $R^2$  отмечаются для метода (1) (0,60) и (2) (0,47).

*Методическая часть исследования выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60221.*

### Библиографический список

1. Cross-Comparison of Albedo Products for Glacier Surfaces Derived from Airborne and Satellite (Sentinel-2 and Landsat 8) Optical Data / K. Naegeli [et al] // *Remote Sensing*. 2017. N.9, P.110-132.
2. Duguay C.R., LeDrew E.F. Estimating surface reflectance and albedo over rugged terrain from Landsat-5 Thematic Mapper over Rugged Terrain // *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*. 1992, vol. 58, N. 5, P. 551–558.
3. Klok E.J., Greuell W., Oerlemans J. Temporal and spatial variation of the surface albedo of Morteratschgletscher, Switzerland, as derived from 12 Landsat images // *Journal of Glaciology*. 2003. №46, P. 675–688.
4. Knap. W.H., Reijmer. C.H., Oerlemans. J. Narrowband to broadband conversion of Landsat TM glacier albedos // *International Journal of Remote Sensing*. 1999. №20. P. 2091–2110.
5. Liang. S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: I Algorithms // *Remote Sensing of Environment*. 2000. N. 76. P. 213–238.
6. Spatial and temporal variations of albedo on nine glaciers in western China from 2000 to 2011 / J. Wang [et al] // *Hydrological Processes*. 2013. №28, P. 3454–3465.
7. Svacina N.A., Duguay C.R., King L.M.J. Modelled and satellite-derived surface albedo of lake ice – part II: evaluation of MODIS albedo products // *Hydrological Processes*. 2014. N. 28, P. 4562–4572.
8. Validation of moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) albedo retrieval algorithm: dependence of albedo on solar zenith angle / J. Liu [et al] // *Journal of Geophysical Research*. 2009. 114.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ГИС GOOGLE EARTH НА ПРИМЕРЕ ТЯНЬ-ШАНЯ

В статье рассматриваются возможности использования Google Earth для целей анализа данных геофизического мониторинга. В качестве примера показано распределение разрывных нарушений на Тянь-Шане. Предложены варианты использования программы для комплексного геолого-геофизического анализа. Получение информации из порталов открытых данных (GPS скоростей, распределения эпицентров землетрясений) чрезвычайно упростило способы анализа геоинформации в целях прогнозирования опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов.

*Ключевые слова:* цифровые базы, геофизический мониторинг, KMZ и KML-файлы, цифровые разломы, Google Earth.

## DIGITAL MATERIALS USING FOR THE ANALYSIS OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL INFORMATION IN GIS GOOGLE EARTH ON TIEN SHAN

The article is devoted to the possibilities of using Google Earth for the analysis of geophysical monitoring data. As an example, the distribution of Tien Shan faults is shown. Variants for using the program for complex geological-and-geophysical analysis are proposed. Obtaining information from open databases (GPS velocities, distribution of earthquake epicenters) has dramatically simplified the methods of geoinformation analysis in order to predict dangerous internal and external geological processes.

*Keywords:* digital databases, geophysical monitoring, KMZ & KML-files, digital faults, Google Earth.

Геофизический мониторинг на территории Тянь-Шаня в пределах Бишкекского геодинамического полигона ведется с 1978 г., когда Президиумом Академии наук СССР было принято решение об организации Научной станции Института высоких температур АН СССР в г. Фрунзе. Современный комплекс для осуществления геофизического мониторинга Научной станции РАН в г. Бишкеке представлен в работе [3]. Целью изучения является построение комплексной геолого-геофизической геодинамической модели развития Тянь-Шаня как яркого примера внутриконтинентальной орогении. Непрерывно ведутся измерения по сети стационаров геомагнитных и GPS наблюдений, магнитотеллурическим профилям и сейсмической сети KNET [8; 9] (<http://www.gdirc.ru/>).

В концепции цифровизации и открытости данных становится возможным использование свободно распространяемого программного обеспечения, такого как Google Earth [3]. Необходимость использования ГИС Google Earth обусловлена обилием информации, которое необходимо нанести на карту для дальнейшего анали-

за. Длительные мониторинговые наблюдения на территории Киргизии привели к созданию обширных баз геоданных, хранящихся на разных интернет-порталах. Геологическая основа может быть получена на сайтах [1; 12]. Карта активных разломов [3]. Геоинформационная система (ГИС) Google Earth обладает легким и удобным интерфейсом, позволяющим перестраивать карту по запросу пользователя (изменять содержание, масштаб, легенду и др.) [12]. В ней обеспечивается интеграция разнородных данных и хранение, визуализация геоинформации, Данные, используемые в системе Google Earth, хранятся в форматах \*.kmz и \*.kml. Эти файлы накладываются на базу спутниковых фотографий Земли – материалы аэро- и космических съемок, которые постоянно обновляются. Для отображения результатов используется доступный набор значков с цветовой градацией. Таким образом, при загрузке в систему для полученных точек можно применить единый или индивидуальный стиль отображения. Такой способ изображения пространственной информации помогает хранить её в визу-

ально доступном виде, а также передавать, что способствует широкому развитию информатики, математики, картографии, геодезии, дистанционного зондирования и сформированных на их стыке геоинформационных систем и технологий.

В результате наблюдений [3; 9] и тектонофизического районирования активных разломов Северного Тянь-Шаня [7; 8] выявлены основные разрывные нарушения – Шамси-Тюндюкский, Байтикский, Чонкурчакский и Иссык-Атинский разломы, входящие в состав Северо-Тянь-Шаньской системы разломов. Составление карты разломов в ГИС обеспечивает точную географическую привязку разломов, а синтез с картографической основой и результата-

ми полевых материалов указывают на достоверность выделенных тектонических нарушений (рис. 1).

Дополнительную информацию о землетрясениях, о GPS скоростях, о наличии рек и водоемов вблизи можно получить путем обращения к открытым данным [1; 4; 5]. Наиболее полно для Киргизии данные представлены на портале ЦАИИЗ [7]. Международные порталы, например, UNAVCO обладают также данными на территорию всего мира, и Киргизию в частности (рис. 2). Потенциал схожих ГИС уже есть при составлении карт тел разломов и линейаментов на территории Киргизии [12], а также распространения оползней и ледников.

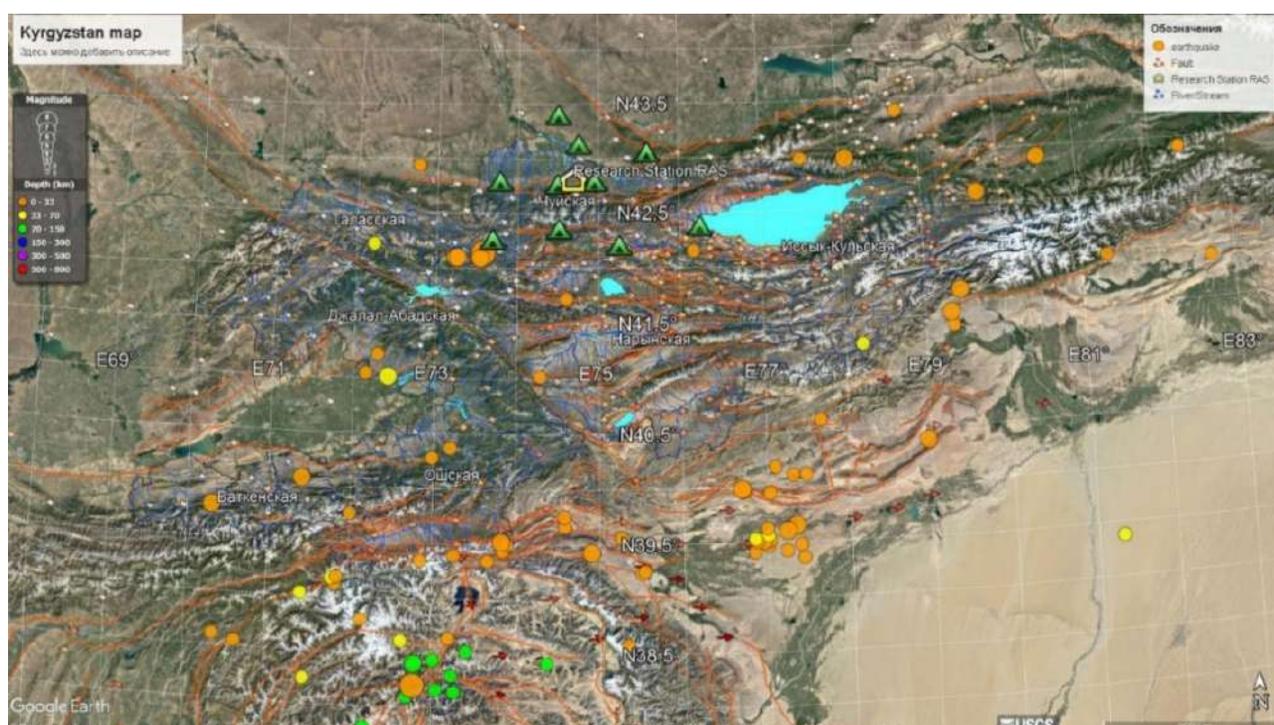


Рис. 1. Общий вид карты на территорию Киргизии с загруженными геофизическими данными в среде Google Earth. Зеленые треугольники – сеть KNET по [8]. Стрелками показаны GPS скорости по [11]. Разломы показаны оранжевыми линиями по [2]. Водные ресурсы и речная сеть по [7]. Кружками отмечены эпицентры землетрясений 5.4+ по данным USGS по [13]

Представленные карты с обобщением геологических, геофизических, гидрогеологических и геодезических данных полезны при анализе тектонических процессов и оценки связей с сейсмической активностью в целях прогнозирования опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов. Карта может быть представлена в виде 3D изображения путем обращения к интернет-странице карт

Google Earth в режиме online. Совмещенный анализ геопространственных данных, растрового изображения и цифровых разрывных нарушений, полученных по геологическим признакам (в полевых условиях) может поспособствовать составлению количественного индекса сейсмичности областей и свободному экспорту/импорту информации.

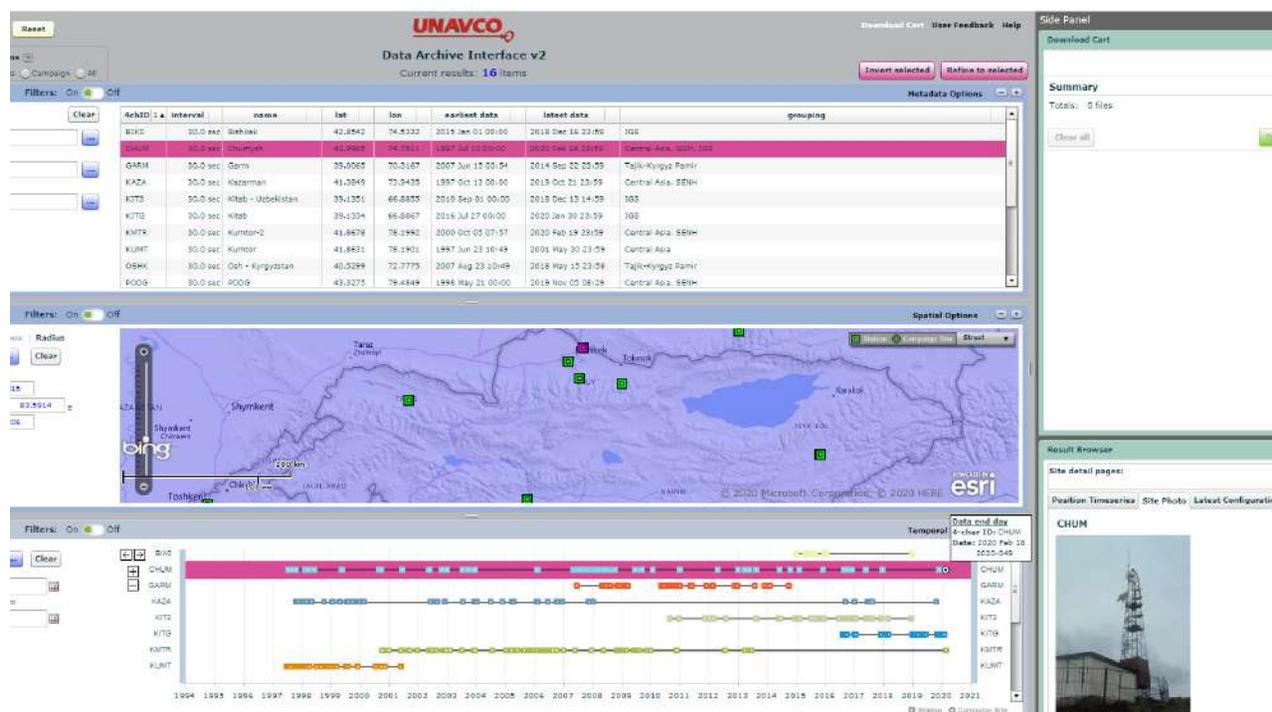


Рис. 2. Интернет-портал открытых данных для GPS пунктов на территории Киргизии некоммерческого консорциума UNAVCO [10]

Работа в данном направлении ведется при поддержке государственного задания НС РАН АААА-2019.

### Библиографический список

1. Аналитическая ГИС для комплексного изучения, прогнозирования и оценки стратегического сырья России. URL: <http://geology-gis.gcras.ru/> (дата обращения: 19.02.2020).
2. База данных о разломах в Центральной Азии по данным проекта Университета Тюбинген. Central Asia Fault Database. URL: <https://esdynamics.geo.uni-tuebingen.de/faults/index.php> (дата обращения: 19.02.2020).
3. Баталева Е.А., Мухамадеева В.А. Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон) // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018. Т. 9. №2. С. 461–487.
4. *Геофизическое зондирование геологических тел разломов и линеаментов Кыргызстана* / Усупаев Ш.Э. [и др.] // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: тезисы докладов VII Международного симпозиума. К 80-летию со дня рождения выдающегося ученого, основателя и первого директора НС РАН Ю.А. Трапезникова (18.10.1936 – 13.04.1999). 2017. С. 160–165.
5. *Карта активных разломов*. Лист К-43 Алматы. URL: [http://neotec.ginras.ru/index/datamap/AFEAD\\_K43\\_Map.html](http://neotec.ginras.ru/index/datamap/AFEAD_K43_Map.html) (дата обращения: 18.02.2020).
6. *Картографический ресурс Google*. URL: <http://earth.google.com/> (дата обращения: 18.02.2020).
7. *Комплект государственных геологических карт масштаба 1:1000000* (новая серия). URL: <http://portal.onegeology.org/> (дата обращения 18.02.2020).
8. *Напряженное состояние коры Северного Тянь-Шаня по данным сейсмической сети KNET* / Ребецкий Ю.Л. [и др.] // *Геология и геофизика*. 2016. Т. 57. №3. С. 496–520.
9. *Площадные магнитотеллурические зондирования в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня* / Рыбин А.К. [и др.] // *Геология и геофизика*. 2008. Т. 49. №5. С. 445–460.

10. Портал открытых данных ЦАИИЗ. URL: <http://geonode.caiag.kg/> (дата обращения: 18.02.2020).
11. Ребецкий Ю.Л., Кузиков С.И. Тектонофизическое районирование активных разломов Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. №6. С. 1225–1250.
12. Сайт некоммерческого консорциума по геофизическим исследованиям и образованию с использованием геодезии. UNAVCO: GPS and GNSS data. URL: <https://www.unavco.org/data/gps-gnss/data-access-methods/dai2/app/dai2.html#boundingBox=38.5206,65.7935,43.3315,83.5914;scope=Station;sampleRate=normal> (дата обращения: 18.02.2020).
13. Эпицентры глобальных землетрясений 1986–2015 гг. USGS 5.4+ epicenters colored by depth.kmz. URL: [https://serc.carleton.edu/download/files/109493/usgs\\_5.v2.kmz](https://serc.carleton.edu/download/files/109493/usgs_5.v2.kmz) (дата обращения: 20.02.2020).

УДК 528.88

Л.А. Пластинин, В.П. Ступин, Б.Н. Олзоев, [stupinigu@mail.ru](mailto:stupinigu@mail.ru)

*Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

## **ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО КАРТОГРАФО-КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО**

Рассматриваются основные возможности и задачи перехода системы классического регионального мониторинга на современные цифровые технологии.

*Ключевые слова:* региональный мониторинг, цифровые технологии.

L. Plastinin, V. Stupin, B. Olzoev, [stupinigu@mail.ru](mailto:stupinigu@mail.ru)

*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia*

## **INTEGRATION OF THE REGIONAL CARTOGRAPHIC AND SPACE MONITORING SYSTEM INTO THE GEO-INFORMATION ENVIRONMENT**

The main features and tasks of integrating the classical regional monitoring system to modern digital technologies are considered.

*Keywords:* regional monitoring, digital technologies.

Разработка и реализация систем картографо-космического мониторинга природных и антропогенных ландшафтов на региональном уровне исторически началось раньше массового внедрения геоинформационных технологий в географию и тематической картографии. В те времена в методологическом плане указанные мониторинговые системы основывались на концепции геосистем; в информационном – на использования традиционных «бумажных» топографических карт, аналоговых панхроматических и спектральных аэро- и космических снимков, а также данных подспутниковых стационарных наблюдений; в технологическом – на классических технологиях картосоставительского тематического картографирования. В разные годы авторы принимали участие в такого рода мониторинговых и карто-

графических работах, связанных с изучением опасных геологических процессов в Становом нагорье вдоль трассы БАМ [4], вырубкой и пожарами лесов Прибайкалья [1], последствиями размыва берегов каскада водохранилищ на реке Ангара [9], оценкой селевой опасности Байкальской горной страны [7], рекреационной нагрузкой на ландшафты региона [2] и др.

Однако, прогресс не стоит на месте и пришло время бурной цифровизации управления, науки и производства. Появившиеся возможности качественных преобразований во всех перечисленных выше составляющих картографо-космического мониторинга стали предъявлять качественно иные, чем прежде, требования к содержанию, организации и использованию результатов мониторинга обширных территорий и отображения его

результатов на картографических моделях. По сути, речь пошла о представлении всех аспектов организации оперативного регионального мониторинга, сбора, накопления, актуализации, использования и визуализации полученных данных в рамках единой геоинформационной системы (ГИС) с возможностью создания ее отдельных компонентов с помощью соответствующих специализированных программных продуктов и их последующей интеграции.

Совершенствование методологической составляющей регионального мониторинга в процессе его интеграции в геоинформационную среду заключается, прежде всего, в принципиально новых возможностях картографического моделирования и представления географических систем методами цифровой картографии в виде иерархических рядов, тематических взаимосвязанных слоев и соответствующих семантических описаний. Это касается как общегеографических систем на всех уровнях их соподчиненности и территориального охвата, так и частных (парциальных) систем, функционирующих на каком-то одном компоненте ландшафта – природном или антропогенном рельефе (морфосистемы), растительном покрове, объектах гидрографии и т.д.

В отношении информационной составляющей ГИС картографо-космического мониторинга, приметой времени стал переход с аналоговых кадровых фотографических снимков к цифровым сканерным и радиолокационным, которые предоставляют совершенно новые возможности извлечения тематической информации. К сожалению, одновременно имело место значительное сокращение финансирования полевых и стационарных работ, а также объемов аэрофотосъемки в мониторинговых целях. Все это потребовало поиска новых возможностей поддержания систем мониторинга в надлежащем состоянии, особенно для такого обширного и труднодоступного региона, как Сибирь.

Пространственное разрешение, сопоставимое с разрешением аэрофотосъемки, дают сканерные снимки с американских спутников WorldView, GeoEye и т.п., или, например, перспективные отечественные спутники «Канопус». В то же время широкое использование коммерческих снимков высокого разрешения, но малого пространственного охвата, тем более, установка собственной станции приема данных ДЗЗ представляется слишком высоко затратным нерентабельным даже для государственных и коммерческих ор-

ганизаций. На отдельные ключевые (эталонные) участки применяются беспилотные съемочные системы.

Компромиссным вариантом получения аналитической и дешифровочной информации о большинстве объектов регионального мониторинга является использование космических снимков открытого доступа с разрешением более 10 м [6]. В этом отношении наилучшие возможности предоставляют актуальные и архивные снимки со спутников Landsat, предоставляемые USGS (Геологической службой США). Эти снимки имеют 30 метровое пространственное разрешение и повторяемость 16 суток. Они поставляются в виде файлов в формате GeoTIFF отдельно по всем спектральным каналам вместе с метаданными, что позволяет выполнять их географическую привязку, осуществлять аналитическую обработку и получать синтезированные изображения.

Для пространственного анализа рельефа земной поверхности и разного рода морфометрических и морфографических исследований используются некоммерческие глобальные цифровые модели рельефа (ЦМР), полученные как в результате радиолокационной интерферометрии (SRTM3), так и стереофотограмметрическими методами (ALOS30) с размером ячеек матрицы высот, соответственно, 90 и 30 м. Более детальные ЦМР, например SRTM1 и ALOS10, требуют финансовых вложений.

В технологическом секторе организации оперативного картографо-космического мониторинга, принципиальным прорывом стало бурное развитие и внедрение геоинформационных технологий, преимущества и возможности которых по сравнению с классическими технологиями не нуждаются в пояснениях.

Для реализации концепции геоинформационного мониторинга подойдут любые профессиональные ГИС, например, ArcGIS или MapInfo. Однако при этом возникают те же затруднения, что и в информационном секторе. Приобретение, эксплуатация и обслуживание полнофункциональных коммерческих ГИС как и использование материалов ДЗЗ высокого разрешения является достаточно затратным. При этом фактически задействуются (да и принципиально требуются) далеко не все возможности полнофункциональных систем. Поэтому для решения большинства задач регионального картографо-космического мониторинга альтернативой дорогостоящим и сложным коммерческим ГИС

являются системы открытого доступа, которые являются настоящим прорывом в демократизации цифровых технологий для самого широкого круга исследователей и практиков. Свободное программное обеспечение стало символом инноваций и прогресса. Что немаловажно, оно, несмотря на свободный доступ, поддерживает связь и обмен вопросами и идеями между пользователями и разработчиками. К таковым относятся геоинформационные продукты с открытым кодом GRASS, QGIS, SAGGIS и другие.

Цифровое картографирование различных тематических слоев системы регионального мониторинга может выполняться с помощью различных специализированных картосоставительских ГИС, например, «Панорама» или MapInfo, с использованием цифровых топографических карт в качестве географической основы.

Переход с традиционных методов организации регионального картографо-космического мониторинга на геоинформационные методы, позволил приступить к реализации цифрового представления перечисленных выше наработок нашего коллектива в области отслеживания пространственного расположения и динамики опасных природных и антропогенных геологических процессов с тем, чтобы продолжать эти работы уже на новом, цифровом уровне [5; 8].

Принципиально новой тематикой научно-практических работ, которая стала возможна вследствие перехода на геоинформационные технологии, стала разработка концепции создания новых специализированных электронных топографических карт Сибирской Арктики – территории все возрастающего геополитического и экономического интереса со стороны России и других стран Арктического региона [10].

Необходимость таких разработок продиктована тем, что: существующие на рассматриваемую территорию топографические карты очень сильно устарели и подлежат пересоставлению; их содержание и структура условных знаков пришли в противоречие с возможностями современной картографии и запросами потребителя; существующие карты недостаточно отражают географическую специфику арктического региона.

Успешная реализация геоинформационного картографического обеспечения сибирской Арктики заключается в реше-

нии следующих научно-исследовательских и практических задач [3]:

- переход на цифровые технологии создания электронных топографических карт, пришедших на смену традиционным картам на твердых носителях;

- приоритетное использование материалов дистанционного зондирования из космоса (лучше отечественных) как информационной основы топографических карт;

- совершенствование методик и технологий создания и обновления электронных топографических карт с сохранением преемственности основных положений традиционного топографического картографирования;

- разработка специализированного географического содержания электронных топографических карт с учетом региональной специфики природных процессов и явлений, не отраженных или слабо отраженных на существующих картах.

В перспективе специализированные карты Сибирской Арктики станут географической основой для организации оперативного картографо-космического мониторинга этого, еще более обширного и труднодоступного, по сравнению с Прибайкальем, региона.

Таким образом, интеграция программ регионального картографо-космического мониторинга в геоинформационную среду поднимает его на качественно новый уровень в силу следующих преимуществ перед традиционными мониторинговыми стратегиями:

- охват обширных и труднодоступных территорий регулярными наблюдениями;

- высокая оперативность и систематичность предоставления данных;

- автоматизированная обработка данных;

- создание постоянно и оперативно актуализируемой базы данных;

- многослойное геопривязанное картографическое отображение результатов.

Конечной целью создания системы картографо-космического мониторинга Восточной Сибири на основе региональной ГИС является обеспечение управленческих, научных и производственных организаций актуальной, достоверной и комплексной геопространственной информацией для всестороннего исследования, оценки и оперативного принятия обоснованных решений.

**Библиографический список**

1. *Картографирование лесов Сибири с использованием новых материалов спутниковых радарных съемок / Л.Н. Ващук [и др.] // География на рубеже веков. Иркутск, 2001. С. 221–222.*
2. *Никитина Ю.Г., Олзоев Б.Н., Ступин В.П. Геоинформационное картографирование пространственной изменённости ландшафтов // Материалы международной научно-практической конференции «Перспективы развития горно-металлургической отрасли (Игошинские чтения, 2018)». Иркутск: ИРННТУ. 2018. С. 72–76.*
3. *Пластинин Л.А., Осипов Г.К., Плюснин В.М., Хиленко В.В. Геоинформационное обеспечение картографо-космического мониторинга арктической зоны Сибири // География и природные ресурсы. 2016. №4. С. 15–21.*
4. *Пластинин Л.А., Плюснин В.М., Ступин В.П. Аэрокосмические методы и материалы в изучении экзогенных геологических процессов в горных районах БАМа // Исследования Земли из космоса. Москва, 1981. №1. С. 26–31.*
5. *Пластинин Л.А., Ступин В.П. Картографо-космический мониторинг зоны воздействия водохранилищ ангарского каскада. Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2018. 180 с.*
6. *Пластинин Л.А. Ступин В.П. Возможности использования открытых материалов ДЗЗ для картографирования динамики берегов водохранилищ // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т.1. №2. С. 172–177.*
7. *Пластинин Л.А., Ступин В.П., Олзоев Б.Н. Принципы морфодинамического анализа и картографирования селевой опасности гор Южной Сибири // Труды 5-й Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита». Тбилиси: Селевая Ассоциация; Институт Водного хозяйства им. Ц. Мирцхулава Грузинского Технического Университета. 2018а. С. 587–594.*
8. *Пластинин Л.А., Ступин В.П., Олзоев Б.Н. Морфодинамическое картографирование селевой опасности Южного Прибайкалья // Геориск. 2018б. Т. 12. №4. С. 86–95.*
9. *Ступин В.П. Картографирование морфосистем как основа мониторинга геологической среды водохранилищ. Известия сибирского отделения секции Наук о Земле Российской академии естественных наук // Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2019а. Т. 42. №2 (67). С. 209–220.*
10. *Ступин В.П. Обоснование границ Сибирской Арктики в интересах составления специализированных топографических карт // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019б. Т. 1. № 2. С. 164–171.*

## АНАЛИЗ РОСТА ГОРОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ: ФЕНОМЕН КРАСНОДАРА

Анализируются феноменально высокие темпы жилищного строительства и увеличения площади застройки в городе Краснодаре в последние годы. По данным спутниковых снимков определены изменения основных типов городской поверхности в 2002-2019 гг. Показатели застройки анализируются с позиции соотношений экологического и антропогенного каркасов города.

*Ключевые слова:* рост города, спутниковый снимок, Краснодар, урбогеосистема.

A. Pogorelov, E. Kiselev, pogorelov\_av@bk.ru  
 Kuban State University, Krasnodar, Russia

## ANALYSIS OF URBAN SPRAWL FROM SATALLITE IMAGERY: THE PHENOMENON OF KRASNODAR CITY

The phenomenally high rates of housing construction and the increase in building area in the city of Krasnodar in recent years are analyzed. According to satellite imagery data, changes in the main types of urban surfaces in 2002-2019 were determined. The building indicators are analyzed from the position of the balance of the ecological and anthropogenic frameworks of the city.

*Keywords:* urban sprawl, satellite image, Krasnodar city, urban geosystem.

**Постановка проблемы.** С началом XXI века город Краснодар начал активно расти. Увеличение численности населения в Краснодаре в 2011–2019 гг. достигло 24%; в сентябре 2018 г. Краснодар обрёл статус города-миллионера. Рост города проявился в увеличении площади и одновременно физических объёмов<sup>1</sup> застройки, что следует определять как территориальную экспансию и уплотнение города Краснодара. В контексте современных процессов урбанизации для обозначения феномена роста городов широко употребляется термин «urban sprawl» (расползание города) [4]. Как правило, подобное расползание на фоне повышающейся мобильности населения характеризуется поглощением городами сельскохозяйственных земель, природных и слабоизменённых ландшафтов. Ранее возник термин «городская экспансия» [9]. Процесс экспансии города осуществляется как радиальное расширение в виде тенденции внутренних городских зон (центральной, транзитной) увеличивать свою территорию путем проникновения во внешние зоны («спальные» районы, пригороды).

Рост города в его разных аспектах (физических, технических и др.) влечет за собой изменение его общественной

организации. Неуправляемая или плохо контролируемая экспансия с возможным избыточным ростом города, сопровождаемая увеличением численности населения, количеством иммигрантов, изменениями возрастной структуры и разного рода сложившихся в городе социальных дифференциаций, способна ослабить управляемость общественными процессами в городе, усилить элементы общественной дезорганизации и одновременно ускорить её реорганизацию.

Динамика строительства в Краснодаре в последние десятилетия в сравнении с другими городами отражена на графике (рис. 1). Резкое увеличение показателей жилищного строительства в Краснодаре отмечено с 2005 г. Если в посткризисный 2001 г. по уровню введенной жилой площади (77 тыс. м<sup>2</sup>) Краснодар оказался близок к 1957 г., то уже к 2005 г. этот показатель возрос более чем в 3 раза, а к 2010–2012 гг. по числу построенных домов (147–258) Краснодар приблизился к Москве (140–202) (<http://mingkh.ru/>). После 2008 г. по показателям ежегодного строительства, включая количество квартир, Краснодар существенно обогнал ближайшие города-миллионеры Воронеж и Ростов-на-Дону, выйдя на принципиально новые мас-

<sup>1</sup> Измерение объёмов застройки с помощью трехмерной модели города видится как ближайшая задача исследования «вертикального» роста Краснодара.

штабы капитального строительства.

Подобную беспрецедентную для Краснодара скорость застройки или местной (локальной) урбанизации можно рассматривать с разных позиций – социальных, экономических, экологических и пр. Из всех аспектов нас интересуют пространственно-географический и экологический.

Согласно [1, с. 80] *антропогенный каркас* представляет собой застроенные территории, развивающиеся вдоль транспортных и инженерных коммуникаций, а *природно-экологический каркас* – это территории зелёных насаждений и акваторий, связанных между собой участками бульваров и (или) элементами гидрографической сети. Термины «природно-экологический каркас территории», «экологический каркас», «природный каркас» в разных вариациях используются во множестве исследова-

ний [2; 7 и др.]. Объединяет их, независимо от дефиниций, средообразующая и защитная функции, направленные на создание благоприятной и устойчивой городской среды за счет городской сети природных и квазиприродных элементов. Под «антропогенным каркасом» города здесь мы понимаем застроенные территории, ключевое свойство которых с позиции формирования среды, кроме собственно застроенности, – запечатанность поверхности почв. Запечатанные поверхности, включающие застроенные поверхности и дорожную сеть [3], объединены в один класс – застройка. Запечатанность почвенного покрова хорошо отражает степень антропогенной преобразованности городской среды через воздействие на местный тепло- и радиационный обмен, водный баланс, органический обмен и пр.

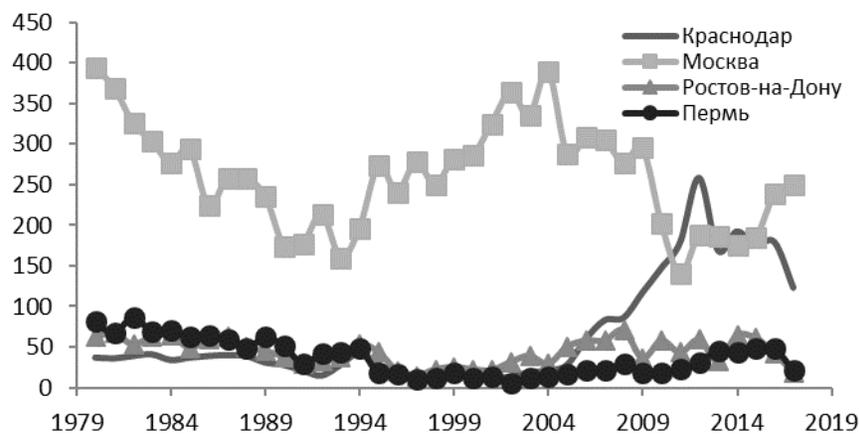


Рис. 1. Сравнительная динамика строительства домов в разных городах (<http://mingkh.ru/>)

Известно, что для гармонично развивающейся урбогеосистемы желателен пропорциональный рост её компонентов. Наличие диспропорций сдерживает развитие. Основой длительного устойчивого развития города служит экологическая сбалансированность формируемых природно-экологического и антропогенного каркасов [1]. В анализе мы обращаемся к двум условно противостоящим и одновременно сопряжённым сущностям, формирующим урбогеосистему Краснодара: природно-экологическому и антропогенному каркасам города. На данном этапе анализа мы ограничились рассмотрением некоторых пространственных показателей за 2002–2019 гг. После 2002 г. скорость строительства (рис. 1), приведшая к заметной реорганизации пространства города, резко увеличилась.

**Исходные данные и методика.** По данным дистанционного зондирования оценим площадь и соотношение застроенных (запечатанных) территорий и территорий, включающих зелёные насаждения, открытые почвы и поверхности водных объектов в границах МО город Краснодар. Для анализа использованы спутниковые снимки высокого разрешения Landsat-7 ETM+ (18.10.2002) и Landsat-8 (25.10.2019). В качестве основного метода классификации изображений выбран метод максимального правдоподобия (Maximum Likelihood). Преимущество метода – четкое разграничение пикселей со сходными спектральными характеристиками [8]. Для решения задач анализа выделялись 4 класса поверхностей – городская застройка, растительность, открытая почва, водные объекты. Распознаванию на сним-

ках каждого класса предшествовал выбор эталонов с учётом положения эталонов на соответствующих кадастровых участках, а также избирательная верификация эталонных поверхностей на местности. В результате классификации построены карты (рис. 2, 3).

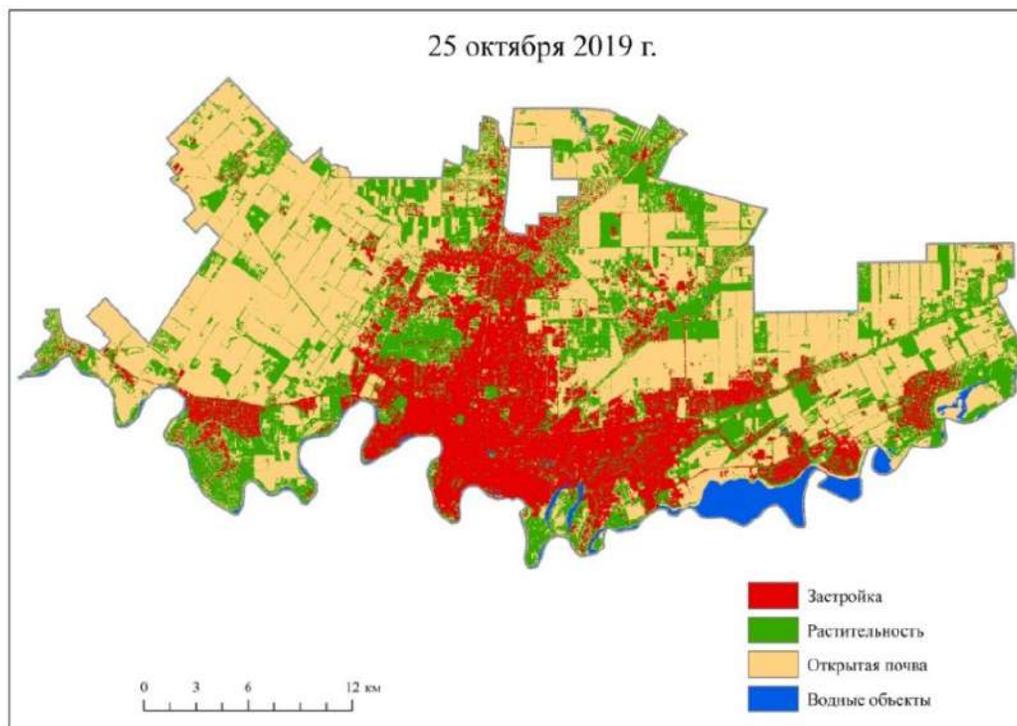


Рис. 2. Выделенные в границах МО город Краснодар классы поверхностей

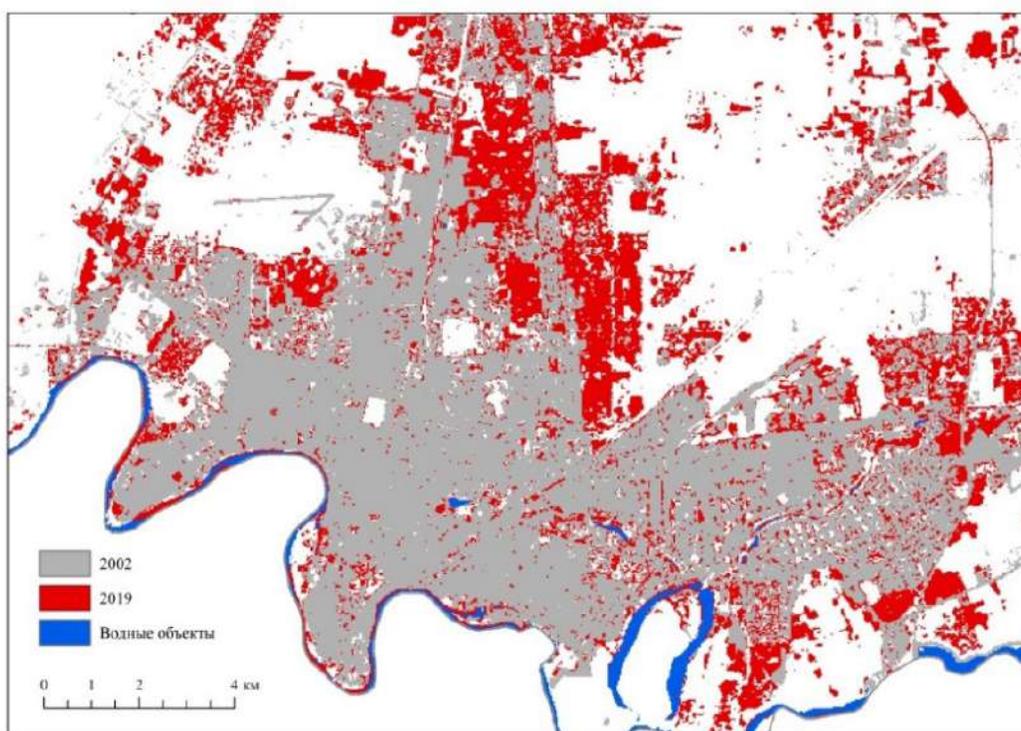


Рис. 3. Рост городской застройки Краснодара в 2002–2019 гг.

**Основные результаты анализа.** По нашим расчётам площадь городской застройки в пределах МО город Краснодар за 2002–2019 гг. увеличилась с 11,9 тыс. га до 18,2 тыс. га (табл. 1), то есть в сравнении с 2002 г. на 52,9%. В новых и изменённых жилых микрорайонах качество пространства по соотношению площадь застройки / незапечатанные поверхности (рис. 3) оказалось значительно ниже, чем в микро-

районах, построенных в 60-е и 70-е гг. XX в. Отметим, что с увеличением площади и плотности застройки и, одновременно, площади запечатанных поверхностей в Краснодаре, сокращается площадь земель, пригодных для озеленения. Это вызывает, в свою очередь, снижение комфортности городской среды по ряду показателей, включая микроклиматические характеристики.

Таблица 1. Типы поверхности в границах МО город Краснодар по данным спутниковых снимков

Тип поверхности	18.10.2002		25.10.2019	
	тыс. га	%	тыс. га	%
Застройка	11,895	14,20	18,187	21,71
Растительность	35,240	42,06	22,892	27,32
Открытая почва	33,860	40,42	40,290	48,09
Водные объекты	2,784	3,32	2,409	2,88

Урбанизация территории в границах МО город Краснодар происходит как за счёт повышения плотности существующих застроенных территорий, так и в результате экспансии. В силу естественных географических причин Краснодар, располагаясь в степной зоне, фактически лишен зеленого пояса. Это не только ухудшает компенсационные экологические возможности при сравнительно малой площади зелёных массивов, но и потенциально способствует

экспансии застройки на окружающие территории. Внутри основного урбанизированного пространства в Краснодаре (рис. 2) отсутствует непрерывность и целостность зелёных насаждений в форме «каркаса»; кроме того, сокращаются площади незапечатанных поверхностей (рис. 3). Последнее относится, принимая во внимание динамику зелёных насаждений [5; 6], и к пространству муниципального образования в целом.

### Библиографический список

1. Евлова И.Б., Митягин С.Д. Экологические задачи развития планировочной структуры Санкт-Петербурга // Вестник. Зодчий. 21 век. 2012. №2(43). С. 104–107.
2. Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Илларионова О.А. Экологический каркас крупнейших городов Российской Федерации: современная структура, территориальное планирование и проблемы развития // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 2. С. 127–146.
3. Кошелева О.Ю. Оценка запечатанности почвенного покрова города Волгограда // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2019. №1. С. 12–18.
4. Нестерова А.И. Регулирование роста городов // Управление развитием территории. № 2. 2011. С. 64–65.
5. Погорелов А.В., Липилин Д.А. Зеленые насаждения города Краснодара. Оценка и многолетние изменения // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. №3 (27). С. 192–205.
6. Погорелов А.В., Прокопенко Х.С., Липилин Д.А. Лесные полосы в городе Краснодаре: оценка состояния и изменения // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2019. №4 (36). С. 77–91.
7. Пономарев А.А., Байбаков Э.И., Рубцов В.А. Экологический каркас: анализ понятий // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2012. Т. 154. Кн. 3. С. 228–238.

8. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 307 с.
9. Burgess E.W. The Growth of the City: An Introduction to a Research Project // Park R.E., McKenzie R.D. The City. Chicago The University of Chicago Press, 1925. P. 47–62.

УДК 528.92

Я.Р. Полякова, yana.poljakova@gmail.com

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

## СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА

В статье рассматриваются основные тенденции и направления развития в области картографического дизайна, основной задачей которого является грамотная визуализация данных за счет повышения эстетического качества и информационной емкости картографических произведений. Особое внимание уделено фоновому оформлению, условным знакам, а также процессам автоматизации в проектировании и оформлении карт.

*Ключевые слова:* картографический дизайн, картографическое произведение, фоновое оформление карт, условные знаки, способы изображения.

Y. Polyakova, yana.poljakova@gmail.com

Perm State University, Perm, Russia

## MODERN TRENDS OF MAP DESIGN

The article is devoted the main trends and development directions of map design, the main task of which is competent data visualization by increasing the aesthetic quality and information capacity of maps. Particular attention is paid to the map coloring, map symbols, and automation processes in the design and execution of maps.

*Keywords:* map design, maps, map coloring, map symbols, methods of thematic mapping.

Развитие информационных технологий и компьютерной графики является важным аспектом для расширения возможностей проектирования и оформления картографических произведений. Процесс увеличения информационной емкости, повышения наглядности и читаемости таких произведений реализуется путем исследований и разработок в области картографического дизайна.

В основе картографического дизайна заложены общие принципы проектирования и оформления картографических произведений, сформированные традиционной картографией. Особенности картографического дизайна заключаются в повышении качества изображения и достигается путем работы с исходными данными, умением специалиста-картографа визуализировать эти данные, используя всевозможные изобразительные средства и способы изображения. Процесс создания карт характеризуется творческим процессом, в ходе которого опытным путем подбираются сочетания способов изображения, графики и цветовые решения, ко-

торые облегчают понимание и читаемость карты.

Кроме того, в совокупности с развитием геоинформационных технологий и Интернет, карты в традиционном понимании видоизменяются, приобретая ряд особенностей в зависимости от среды их публикации. В любом случае, как для бумажных, так и для электронных карт, в ходе проектирования, компоновки и оформления требуется знания основ картографического дизайна.

В связи с этим, для грамотной визуализации и передачи данных на картографических произведениях, особенно важно обратить внимание на применения графических редакторов, совершенствование теоретически обоснованных требований к дизайну и научно-методических основ.

Картографические произведения низкого качества не только трудно читать, но и зачастую они могут исказить смысл исходных данных.

Так, обоснование значимости дизайна на картографических произведениях, об-

зор проблемных вопросов, связанных с фоновым оформлением карт, основные требования к графическому оформлению, методы и изобразительные средства подбора гармоничных цветовых сочетаний с использованием авторского макета карты, представлено в работе Дядченко Ю. С., Зубова О.А. «Современные проблемы графического оформления карт» [2].

С появлением мультимедийных средств, в картографическом изображении изменилась содержательная сущность, условные обозначения, способы отображения, возможность использования картографической информации, информативность и особенность восприятия пользователями содержания карты.

Современный дизайн, как специализированных картографических произведений, так и произведений для широкого круга пользователей, имеет свои специфические особенности, которые необходимо учитывать. Оценивать дизайн современных картографических произведений необходимо по другим критериям, нежели традиционные печатные издания, так как огромное влияние на восприятие в данном случае оказывают параметры монитора пользователя, которые влияют на размер отображаемых шрифтов, на цветовую передачу, на яркость и насыщенность [8].

Исследования доказывают, что каждый раздел компьютерной графики имеет свои отличительные особенности и технологические тонкости и каждый в той или иной мере может быть использован для создания и оформления различных картографических произведений. Для каждого направления (вида) компьютерной графики создано свое программное обеспечение, включающее разнообразные специальные программы (графические редакторы).

Так, в своих трудах Ушакова Л.А. и Карпович Л.Л. «Компьютерный дизайн в картографии» исследуют возможности использования компьютерных технологий при создании и дизайне современных картографических произведений [9].

В вопросе фонового оформления и гармоничного цветового содержания особенно актуально знание теории цвета, применение специализированных сервисов по подбору цветовых схем. Целью фонового оформления карт является привлечение внимания пользователя, облегчение и обеспечение их правильного чтения.

При публикации картографических произведений, преимущественно в электронной форме в среде Интернет, следует

обратить внимание как на технические требования для их просмотра на экране монитора (разрешение, яркость, контраст и т.д.), так и на требования по визуализации (сложность оформления, объем данных, обеспечение оптимального времени для прорисовки карт) [6].

Кроме того, нужно учитывать, как цвета на карте взаимодействуют друг с другом, выбирать правильные градации для электронных и традиционных печатных карт, которые также гармонируют с шрифтовым оформлением [12].

Вопросы проектирования условных обозначений и цветового оформления тематических карт, создаваемых широким кругом пользователей на специализированных картографических порталах и сервисах, алгоритмизации проектирования оформления тематических картографических произведений рассматривает Николаева О.Н. [5].

На примере моделей природных ресурсов автором изложены требования, необходимые для соблюдения при проектировании системы условных обозначений, обоснованы принципы алгоритмизации выбора способов картографического отображения, также охарактеризованы колористические принципы и математический аппарат для проектирования цветового оформления карт для публикации в сети Интернет.

Часть исследований направлена на формализацию процесса создания карт в ГИС-среде и предполагает, прежде всего, четкое пошаговое описание этого процесса, опирающееся на ряд принципов, которые определяют характеристики картографируемых показателей и методику составления цифровых карт [10].

Наличие технических средств и графических программ, позволяющих осуществлять формирование любых графических изображений, существенно облегчает работу картографа на всех этапах создания карты. Важнейшей задачей при этом остается учет специфики построения картографического изображения, создание которого требует знания законов картографирования.

Автоматизированная обработка данных требует их формализации, т.е. описания объектов (или знаков) с помощью формального языка, все значения которого четко определены и не допускают каких-либо двусмысленностей.

Задача формализации картографических процессов в настоящее время заклю-

чается в единстве формирования традиционных, цифровых геоизображений, при реализации тематических типовых задач, и цифровых изображений, при создании общегеографических карт в веб-картографировании, интегрированном с ГИС.

Внедрение формальных процедур в картографические работы позволяет автоматизировать выполнение наиболее рутинных и трудоемких этапов создания карты, оставляя больше времени для картографического дизайна.

Основные принципы картографирования, в зависимости от назначения и аудитории, для которой создаются карты, рассмотрены в статье «Основы составления карт» [7]. Автором представлены рекомендации по проектированию и компоновке карт, по выбору масштаба, проекции и соблюдению визуального баланса, при проектировании картографических продуктов в ГИС.

Еще одна важная тема в области проектирования и оформления карт – способы картографического изображения и условных знаков освящена Крыловым С.А., Загребиним Г.И. и Фокиным И.Е. в работе «Выбор и реализация способов картографического изображения картографируемых объектов и явлений в геоинформационных системах» [4]. В работе рассмотрены проблемы выбора и реализации способов картографического изображения в геоинформационных системах при создании тематических карт. Установлены соответствия между названиями способов, принятыми в картографии, и наименованиями способов в наиболее распространенных геоинформационных системах. Определена требуемая информация для построения и расчета способа картографического изображения. Предложен алгоритм действия пользователя при реализации способа картографического изображения в геоинформационных системах.

Таким образом, при проектировании карт важно учитывать сочетаемость способов картографического изображения, их правильное применение и размещение на картографическом изображении.

Попытка доказать, что знаковость является одним из важнейших свойств карты описана Женибековой А.Б. в работе «Новый подход к формированию условных обозначений в среде ГИС» [1]. Автором приведены доводы по сохранению знаковости картографической продукции. Рассмотрено решение формализации создания карт в среде ГИС на примере тематических

карт. Предложено решение по дальнейшему развитию картографии с точки зрения условных обозначений.

Особенности современного периода развития картографии, принципиальное изменение ее роли и функции в экономике и жизнедеятельности современного общества представили Янкелевич С.С., Радченко Л.К. и Антонов Е.С. в работе «От многоцелевого картографического ресурса к «Умной карте»» [11]. В данной работе картография рассматривается как наука о системном информационно-картографическом моделировании и познании геосистем. Карта предстает как образно-знаковая геоинформационная модель действительности, она одновременно и инструмент познания, и способ аналогового моделирования действительности, и средство передачи информации в цифровой форме.

Определен новый картографический продукт – многофункциональный картографический ресурс, представляющий собой специализированную информационную картографическую систему, включающую картографическую информацию и средства работы с ней, с целью формирования законченных информационных продуктов – карт. Рассмотрен очевидный переход от традиционной карты к картографическому интерфейсу, который опирается на новую тенденцию – «Умное картографирование».

Методики создания тематических карт средствами веб-технологий, на основе данных пользователя, включающая базовые научно-методические принципы, общую технологическую схему и технические решения рассмотрена в диссертационной работе Кикина П.М. [3]. Методика предлагает использование дополнительных программных модулей для осуществления взаимодействия пользователя и картографического веб-сервиса при создании тематических карт. Также разработаны базовые решения по реализации программного интерфейса, позволяющего пользователям, не имеющим специальной картографической подготовки, создавать тематические веб-карты на основе собственных данных.

Таким образом, с появлением компьютерной графики и современных технологий в картографическом дизайне особое внимание уделяется принципам применения условных обозначений, способов изображения, фонового оформления, возможности использования картографической информации, информативности и воспри-

ятию пользователями содержания карты. Проводятся исследования, направленные на автоматизацию, формализацию, упрощение процессов оформления и создания геоизображений.

Перед картографами стоит очень важная задача по решению вопросов,

связанных с оформлением современных картографических произведений, с разработками научно-методических основ в области картографического дизайна, основанных на новейших технических, программных средствах и мультимедийных технологиях.

### Библиографический список

1. Женибекова А.Б. Новый подход к формированию условных обозначений в среде ГИС // Вестник СГГА. 2014. №4(28). С. 135–139.
2. Зубова О.А., Дядченко Ю.С. Современные проблемы графического оформления карт // Вестник СГУГиТ. 2014. №1(25). С. 153–160.
3. Кикин П.М. Разработка методики создания тематических карт средствами веб-технологий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00. 33. Новосибирск, 2014.
4. Крылов С.А., Загребин Г.И., Фокин И.Е. Выбор и реализация способов картографического изображения картографируемых объектов и явлений в геоинформационных системах // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 1. №2. С. 73–77.
5. Николаева О.Н. Об алгоритмизации проектирования оформления тематических картографических произведений (на примере картографических моделей природных ресурсов) // Вестник СГУГиТ. 2015. № 4 (32). С. 61–69.
6. Самсонов Т.Е. Картографический дизайн, ориентированный на Интернет: проектирование и оформление карт для веб-сервисов // ArcReview. 2009. №1(48).
7. Серебрянная О.Л. Основы составления карт // ArcReview. 2009. №1(48).
8. Сизикова Т.С., Комиссарова Е.В. Тенденция развития картографического дизайна в геоинформационном обеспечении территории // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 1. № 1–2. С. 13–18.
9. Ушакова Л.А., Карпович Л.Л. Компьютерный дизайн в картографии // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–7. С. 15–20.
10. Янкелевич С.С., Михайленко И.Е. О формализации картографических процессов // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 9. №2. С. 150–153.
11. Янкелевич С.С., Радченко Л.К., Антонов Е.С. От многоцелевого картографического ресурса к «Умной карте» // Вестник СГГА. 2018. №1(23). С. 142–155.
12. Tyner J.A. Principles of Map Design. NY: Guilford Press, 2010. 259 p.

УДК 630.61, 004.4:528.9

А.И. Пономарчук<sup>1</sup>, Л.Н. Шабанова<sup>2</sup>, А.А. Галанова<sup>2</sup>, aiponomarchuk@gmail.com<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия<sup>2</sup>МКУ «Пермское городское лесничество», г. Пермь, Россия

## ВЕБ-КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ГИС ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ГОРОДА ПЕРМИ

В статье представлены сведения о работах Пермского городского лесничества, направленных на обустройство городских лесов, создание комплексных мест отдыха и экологических троп. Это имеет не только важное рекреационное значение, но и дает импульс для развития экологической культуры всех групп населения, включая школьников и студентов. Представлен пилотный проект Веб картографической ГИС «Пермские городские леса», нацеленной на охват всего комплекса данных по объектам рекреационного и познавательного значения.

*Ключевые слова:* Веб ГИС, Веб картографическая система, геоинформационная система, лес, экология.

A. Ponomarchuk<sup>1</sup>, L. Shabanova<sup>2</sup>, A. Galanova<sup>2</sup>, aiponomarchuk@gmail.com<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia<sup>2</sup>Municipal Government Institution «Perm Urban Forestry», Perm, Russia

## WEB MAPPING OF ECOLOGICAL OBJECTS OF THE CITY OF PERM

The article provides information on the activities of the Perm City Forestry aimed at equipping urban forests, creating integrated recreational areas and ecological trails. It has important recreational value and gives impetus to the development of environmental culture of all population groups, including schoolchildren and students. A pilot project of the Web-mapping GIS «Perm City Forests» is presented, aimed at covering the entire range of data on objects of recreational and educational significance.

*Keywords:* Web GIS, Web cartography, geographic information system, forestry, ecology.

Обустройство пермских городских лесов является важной частью повышения комфортности проживания в городе и дает не только оздоровительный (рекреационный) эффект, но и способствует развитию общей культуры жителей и гостей г. Перми в части бережного отношения к природе и экологической грамотности, популяризации сведений о растениях и животных местных территорий. Естественным шагом в этом направлении является создание доступной для обычных пользователей веб картографической геоинформационной системы (в дальнейшем Веб ГИС), обеспечивающей доступ не только к информации обзорного характера, но и позволяющей спланировать маршрут для посещения, загрузить путевые точки объектов и треки экологических троп для навигационных устройств и т.п. По доле лесов в пределах городской черты (более половины всей площади) г. Пермь фактически является «экополисом», что еще более повышает востребованность в создании Веб ГИС «Пермские городские леса» с наполнением ее актуальной информацией.

Имеющиеся интернет источники [1; 2] и веб картографические ресурсы [3] по пермским городским лесам в качестве картографической основы используют сервис «Яндекс.Карты» [6], что накладывает ряд ограничений, в частности, по использованию векторных и растровых пространственных данных. Рассматриваемый в данной статье проект предусматривает использование полностью свободного программного обеспечения (далее СПО), размещаемого на ресурсах Пермского государственного национального исследовательского университета. В качестве картографической основы используются данные проекта OpenStreetMap [4], растровые покрытия спутниковыми снимками сверхвысокого разрешения и цифровая модель рельефа территории Пермского городского лесничества. Тематическая информация включает пространственные данные о квартальной сети, экологических тропах и сопутствующих объектах (с точностью позиционирования до 10–15 метров), а также текстовые и мультимедийные данные об окружающей природной среде. После ввода в эксплуатацию

Веб ГИС «Пермские городские леса» будет доступна по адресу <http://permforest.ogs.psu.ru>.

**Рекреационное значение городских лесов.** Пермское городское лесничество занимается рекреационным обустройством лесов более 9 лет, начиная с 2010 года. За этот период существенно повысилась их эстетическая привлекательность и комфортность для отдыха жителей и гостей города Пермь. Важность этих факторов нельзя переоценить – эстетические свойства лесных территорий постепенно превращаются в рекреационные ресурсы, обеспечивающие выраженный оздоровительный эффект. Для прогулок по лесу введен даже специальный термин «лесотерапия». Развитию этих ресурсов способствуют мероприятия, регулярно проводимые работниками лесничества, общественниками и подрядными организациями. Основной упор в этом направлении сделан на создание комплексных мест отдыха и экологических троп.

В настоящее время в лесах города Перми функционирует 28 комплексных места отдыха и 18 экологических троп. Важную позицию в рекреационном обустройстве пермских лесов занимают визит-центры, обустройство которых на территории городских лесов началось в 2015 году. Визит-центры построены в четырех участковых лесничествах, которые стали местом проведения тематических выставок о флоре и фауне Перми, о редких растениях и животных, которые здесь встречаются. В визит-центрах проводятся беседы с жителями о правилах поведения в лесу, о мерах пожарной безопасности, организуются круглые столы и мастер-классы по изготовлению кормушек и гнездовий для птиц. В визит-центре лесничие помогают жителям города в выборе оптимального маршрута путешествия в лесу как индивидуально, так и для групп, в них бесплатно предоставляется информация о лесе, природе, даются консультации о правилах поведения в лесу. Лесничество таким образом активизирует работу с населением, проводя огромное число бесед, встреч с населением, экскурсий по экологическим тропам.

Для поддержания эстетического состояния пермских городских лесов устраиваются специальные места отдыха для любителей животных. Первая площадка для общения с собаками была обустроена в 2016 году рядом с домом 64 по улице Хабаровская на комплексном месте отдыха «Боровики» в микрорайоне

«Железнодорожный». В 2017 созданы еще две площадки для общения с животными: в Черняевском лесу вблизи остановки ПКиО «Балатово» и на улице Костычева в микрорайоне «Пролетарский». В 2018 году созданы аналогичные площадки в Мотовилихинском участковом лесничестве (рядом с НПО «Биомед») и в Нижне-Кузьминском участковом лесничестве (вблизи микрорайона «Новые Водники»), в 2019 году – в Голованово и микрорайоне «Пролетарский» рядом с ПЗСП.

Экологической тропой называется специально оборудованный маршрут, проходящий через различные экологические системы, природные объекты и памятники природы, имеющие эстетическую, природоохранную и историческую ценность. Важнейшим свойством экологических троп является их информативность – созданные в городских лесах тропы рассказывают не только о природных объектах, но и об истории микрорайонов.

Все большую популярность в наше время получает экологический туризм, становящийся неотъемлемой частью жизни современного человека. Пермь обладает уникальным природным богатством и потенциалом для развития экологического туризма. Информационное наполнение стендов на маршрутах разработано и учитывает познавательные особенности различных групп населения.

Создание экологических троп позволяет упорядочить массовое посещение природных объектов, распределяя посетителей в рекреационных зонах и сохраняя тем самым заповедные места. Обустройство таких объектов способствует формированию экологической культуры населения в целом и подрастающего поколения, воспитания бережного отношения к природе.

**Примеры объектов рекреационного назначения.** В обустройстве экологических троп и сопутствующих объектов на территории Черняевского участкового лесничества особенно активно проявилась роль общественности. Так, средняя школа 132 (школьное лесничество, а также центр эколого-биологических исследований и природоохранной работы школы) еще в 2013 году в Черняевском лесу была создана экотропа «Дорога домой», а осенью 2018 года – «Экологическая Тропинка открытий», ориентированная на дошкольников и младших школьников. Тропинка зовет детей в увлекательное путешествие в Страну лесных жителей, где интересные сказки расскажет старый пенёк, дети по-

знакомятся с лягушкой-хохотушкой и карасем – королем прудов и озер, научатся узнавать следы диких животных, а рыжая белка откроет им свои секреты. На детской площадке малышня ждут качели, лазалки и скалодром. Здесь даже можно будет посидеть на спине у огромной белки.

В квартале №2 Черняевского участкового лесничества (за Дворцом культуры Железнодорожников) создана межвузовская экологическая тропа «TERRA OECOLOGIA», разработанная по решению Молодежного форума студентами экологических специальностей вузов города Перми: Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермского

национального исследовательского политехнического университета, Уральского филиала Российской академии живописи, ваяния и зодчества Ильи Глазунова. Летом 2018 года во всех пяти участковых лесничествах проводилась производственная практика студентов вышеназванных вузов. Межвузовская экологическая тропа «TERRA OECOLOGIA» включает: 3 входные группы и 15 остановок со стендами, центральную беседку, игровую площадку «Угадай-ка» и метеоплощадку. На экологической тропе можно узнать о законах экологии, лесном биоразнообразии, исчезнувшей речке Светлушке, лесной инженерии, геологии и многом другом. Все конструкции многофункциональны и предназначены как для отдыха и игр, так и для проведения учебных практик и занятий со студентами и школьниками.



Рис. 1. Типичный вид информационного стенда: экологическая тропа «Липовая гора»

На территории Мотовилихинского участкового лесничества (в районе расположения НПО «Биомед») создана экологическая тропа «Липовая гора» (в качестве примера на рисунке 1 показан общий информационный стенд, характерный для таких объектов) протяженностью около 4 км, включающая 5 остановок и комплексное место отдыха с лесным классом, игровой детской площадкой, комплекс с тренажерами и пикниковой зоной. Всего на территории Пермского городского лесничества (включая Верхне-Курьинское, Левшинское, Мотовилихинское, Нижне-Курьинское и Черняевское участковые лесничества) за период с 2010 по 2019 годы, кроме комплексных мест отдыха и экологических троп, в прогулочных зонах городских лесов организовано и обустро-

ено более сотни простых мест отдыха и установлено более 200 информационных и предупреждающих стендов.

В настоящее время разработана единая система навигации в виде указателей различного цвета и назначения. Навигационная инфраструктура – это язык, на котором лес говорит с гостями и открывает новые возможности, создает дополнительные точки притяжения, обозначает туристические маршруты, располагает к себе и вызывает доверие посетителей. Система навигации будет также использоваться на экологических тропах, но информационные стенды и объекты на них разрабатываются для каждой тропы индивидуально.

**Компоненты Веб ГИС «Пермские городские леса».** В технологическом отношении представляемая в статье Веб ГИС развернута на виртуальной машине под управлением ОС Linux (Ubuntu Server 18.04 LTS) и включает следующие программные компоненты:

– ГИС сервер на основе СПО GeoServer [5]. Основной источник для публикации базовых векторных (OpenStreetMap) и растровых (спутниковое покрытие и цифровая модель рельефа) картографических данных.

– Веб сервер Apache [4]. Публикация HTML страниц с включением карт и прочих данных.

– Пространственная СУБД PostgreSQL/PostGIS [7]. Основной ресурс хранения векторных пространственных данных, в том числе базовых (OpenStreetMap) и тематических (границы лесных кварталов, эколо-

гические тропы и объекты) данных.

– Модули программных интерфейсов для организации интерактивного взаимодействия пользователя с Веб картой.

Помимо типичных функций программного интерфейса (перемещение по карте и ее масштабирование, выделение объектов и получение информации по ним, измерение расстояний и т.п.), система обеспечивает 3D визуализацию отдельных элементов рельефа, возможность загрузки мультимедийных данных и GPX файлов с треками и путевыми точками. Перспективы развития Веб ГИС «Пермское городское лесничество» связываются не только с развитием функциональности, но, в основном, с постепенным наполнением ее актуальными данными по имеющимся экологическим тропам и комплексным местам отдыха и т.п.

### Библиографический список

1. Подраздел сайта, «Карты/схемы». URL: <http://www.priodaperm.ru/karty-shemy/> (дата обращения: 28.02.2020).
2. Подраздел сайта, «Экологические тропы». URL: <http://www.priodaperm.ru/tropy/0-реpage/> (дата обращения: 28.02.2020).
3. Сайт «Природа города Перми» (Управление по экологии и природопользованию г. Перми, МКУ «Пермское городское лесничество»). URL: <http://www.priodaperm.ru> (дата обращения: 28.02.2020).
4. Сайт проекта Apache HTTP. URL: <https://httpd.apache.org/> (дата обращения: 28.02.2020).
5. Сайт проекта GeoServer. URL: <http://geoserver.org/> (дата обращения: 28.02.2020).
6. Сайт проекта OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (дата обращения: 28.02.2020).
7. Сайт проекта PostGIS. URL: <http://postgis.org/> (дата обращения: 28.02.2020).
8. Сайт «API Яндекс.Карт» (прикладной программный интерфейс, технология и условия подключения). URL: <https://tech.yandex.ru/maps%20/> (дата обращения: 28.02.2020).

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФОВ ДОСТУПНОСТИ ПРИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА

В статье рассматриваются подходы к проектированию нового вида тематических карт – карт доступности инфраструктуры населенного пункта для маломобильных групп населения. Определяется место таких карт в классификации тематических карт, дается понятие графов доступности, как единого геоинформационного набора данных, моделирующего доступность инфраструктуры населенного пункта для разных категорий маломобильных групп населения. Изложены принципы построения графов доступности. Сделан вывод, что аналитическая геообработка графов доступности даст возможность автоматизированного построения связных доступных маршрутов (пеших и транспортных) для категорий маломобильных граждан, в том числе с учетом адаптированного транспорта.

*Ключевые слова:* геоинформационное картографирование, тематическая карта доступности инфраструктуры населенного пункта, маломобильные группы населения, графы доступности.

Y. Poshivaylo, yaroslava@snga.ru

*Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia*

## CONSTRUCTION PRINCIPLES OF ACCESSIBILITY GRAPHS WHEN GEOINFORMATION MAPPING OF A SETTLEMENT INFRASTRUCTURE

Approaches to designing a new type of thematic maps – accessibility maps of a settlement infrastructure to people with limited mobility are discussed in the paper. Classification of this kind of thematic maps is determined, the concept of accessibility graphs as a single geoinformation dataset modeling the accessibility of a settlement infrastructure to different categories of low-mobility people is given. Construction principles of accessibility graphs are outlined. It is concluded that analytical geoprocessing of accessibility graphs enables the automated construction of coherent accessible walking, traffic and adapted transport routes to all categories of low-mobility groups of people.

*Keywords:* geoinformation mapping, thematic accessibility map of a settlement infrastructure, mobility groups, accessibility graphs.

В XXI веке подавляющее большинство жителей экономически развитых стран проживают в городских поселениях. В России, по данным Федеральной службы государственной статистики, в городах сосредоточено более 74 процентов населения.

Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р обозначила, что общемировыми тенденциями пространственного развития в начале XXI века являются концентрация населения и экономики в крупнейших формах расселения, среди которых ведущие позиции занимают крупные и крупнейшие городские агломерации [6]. Отмечается, что в Российской Федерации на сегодняшний день сформировалось около 40 крупных городских агломераций и крупнейших го-

родских агломераций, в большинстве из которых численность населения с начала 2000-х годов устойчиво возрастает, и в настоящее время превысила 73 млн. человек [6].

Также отмечается низкий уровень комфортности городской среды для населения в большинстве городов, в том числе в большинстве крупных городских агломераций и крупнейших городских агломераций [6]. Эта проблема особенно остро проявляется в повседневной жизни людей с ограниченными возможностями здоровья. Качество и комфортность городской среды для этой категории граждан во многом зависят от ее доступности. Понятие «доступность» включает в себя не только наличие пандусов или тактильной плитки, оно распространяется на такие понятия, как архитектурная, транспортная, информационная доступность, до-

ступность услуг, доступность дорожной инфраструктуры.

Маломобильные группы населения (МГН), на которые в первую очередь ориентирована принятая в 2011 году в Российской Федерации государственная программа «Доступная среда», испытывают проблемы с передвижением в силу возраста, состояния здоровья или жизненных обстоятельств. К МГН относятся не только люди с инвалидностью, но и граждане с временным нарушением здоровья, пожилые люди, беременные женщины, люди с детскими колясками, с малолетними детьми, тележками, багажом. Одним из ожидаемых результатов реализации программы является увеличение доли доступных для инвалидов и других маломобильных групп населения приоритетных объектов социальной, транспортной, инженерной инфраструктуры в общем количестве приоритетных объектов до 61,8 процента к 2025 году.

Такие масштабные государственные задачи невозможно решить без применения современных технологий картографирования и анализа геопространства [1]. Проведенное нами исследование существующих карт городов в аспекте их соответствия потребностям людей с ограниченными возможностями показало, что карты, отражающие доступность городской инфраструктуры для МГН, являются новым видом тематических карт, и подходы к картографированию такого свойства окружающей среды, как ее доступность для людей с ограничениями возможностей здоровья еще не сформировались. Картографирование доступности городской инфраструктуры сегодня находится на начальном этапе [3; 4], не определено место таких карт доступности в классификации тематических карт, научно не обоснованы элементы содержания и принципы создания. Первый шаг на пути к научному обоснованию «формы карты доступности объектов и услуг в приоритетных сферах жизнедеятельности инвалидов в Российской Федерации» был сделан в Методическом пособии Министерства труда и социальной защиты РФ от 18 сентября 2012 г. «Методика формирования и обновления карт доступности объектов и услуг».

В документе предлагается форма карты доступности объектов и услуг для инвалидов и других маломобильных групп населения (с графическим отображением состояния доступности приоритетных объектов социальной инфраструктуры), а также методика формирования и обнов-

ления карт доступности объектов и услуг на официальном общедоступном ресурсе субъекта Российской Федерации с использованием информационно-телекоммуникационной сети Интернет (с учетом международных символов и технологий) [5].

Источниками тематического содержания для карт доступности в Российской Федерации, как правило, являются заполняемые в установленном порядке паспорта доступности зданий и сооружений, их структурно-функциональных зон и элементов. Степень доступности определяется для разных категорий ММГ и подразделяется на несколько категорий (доступно полностью, доступно частично, доступно условно, временно недоступно, информация отсутствует).

Второй важной составляющей тематического содержания карт доступности является отображение маршрутов общественного транспорта. Для людей без ограничений здоровья эта задача успешно решена путем создания геопорталов с визуализацией передвижения общественного транспорта в режиме он-лайн. Для формирования картографического слоя транспортной доступности ММГ достаточно визуализировать отдельным условным знаком адаптированные транспортные средства, находящиеся на маршруте. Данную задачу начали решать, например, Google Maps, впервые запустив в 2018 году сервис расчета маршрута для передвижения на инвалидных колясках для шести крупных городов мира.

Здесь следует отметить важную проблему, которая не решена в существующих картах доступности, а именно: невозможно графически проложить доступный для ММГ пешеходный маршрут. Человек, не относящийся к ММГ, может перемещаться вне транспортной сети по внутриквартальным проездам, тротуарам, пешеходным дорожкам и тропинкам и даже, пусть и с определенными трудностями, вне этих специальных пешеходных сетей. Но для людей с ограниченными возможностями здоровья перемещения в пространстве всегда сопровождаются существенными трудностями. Рассмотрим наиболее ограниченную в возможностях передвижения категорию ММГ – инвалиды-колясочники. Для передвижения человека в инвалидной коляске по пути следования должно быть соблюдено множество инфраструктурных условий доступности: наличие пандуса, соответствующего нормативным требованиям, подъемных механизмов, съездов с тротуара на транспортный проезд, ши-

рина лестничных маршей, покрытие пешеходных дорожек, тротуаров и пандусов, информационная поддержка по пути следования и т.д. [2; 8].

Для отображения этих условий и обеспечения возможности планирования и осуществления передвижения ММГ по территории населенного пункта нами предлагается новый вид карт – «карты доступности инфраструктуры населенного пункта», которые относятся к социально-экономическим картам городов, и одним из ключевых элементов таких карт являются *графы доступности*.

*Граф доступности* – это единый геоинформационный набор данных, моделирующий доступность окружающей среды для разных категорий маломобильных групп населения, в данном случае – инфраструктуры населенного пункта. Следовательно, карта доступности инфраструктуры населенного пункта, должна базироваться на его геоинформационной модели, построенной на основе графов доступности. Ниже изложим принципы, на основе которых строятся графы доступности.

Граф, моделирующий доступность инфраструктурного элемента населенного пункта, является взвешенным ориентированным графом, в котором дугам присвоены веса, означающие степень сложности перемещения по дуге графа. Узлы графа доступности соответствуют входным группам зданий и сооружений, перекресткам, остановочным пунктам и станциям внеуличного транспорта, а также точкам соединения сегментов; дуги – сегментам улиц, тротуаров и линий внеуличного транспорта. Граф доступности включает в себя: транспортную сеть с учетом наличия адаптивного транспорта (улицы и дороги, линии внеуличного транспорта, такие как линии метро или железной дороги, а также систему маршрутов общественного транспорта), сеть тротуаров, пешеходных дорожек. Затем из этой сети выделяют подсети, которые соответствуют возможностям передвижения определенной категории ММГ. Следовательно, граф доступности будет отличаться для разных категорий ММГ, поскольку доступность для незрячего человека и для человека, передвигающегося на инвалидной коляске кардинальным образом различаются.

Таким образом, нужно построить сеть и

определить узлы. Данные о дорожной сети и маршрутах общественного транспорта, в том числе адаптивного транспорта импортируются из существующих навигационных карт, но большую часть информации для карты доступности необходимо будет собирать методом полевых обследований: исследовать тротуары, пешеходные дорожки, пешеходные переходы.

Сущность и последовательность этапов построения графов доступности нам представляется следующим образом: на первом этапе создается базовая цифровая модель местности (ЦММ) на основе аэрокосмических данных. Затем на основе базовой ЦММ определяются коридоры для проведения трехмерного лазерного сканирования. Точность данного метода составляет 5 см по высоте, этой точности достаточно для проведения маршрутного обследования территории и уточнения базовой модели. Для достижения требуемых параметров точности, трехмерную модель целесообразнее строить на основе структурно-регулярных данных в виде Mesh-поверхности. В качестве структурных элементов на такой модели необходимо выделить бордюры, «лежачих полицейских» и т.д. Остальная часть модели создается на основе регулярной сетки с шагом 50 см. Для уточнения базовой модели нами предлагается использовать также специальный прибор, названный нами *мобильный авалиограф*. Данное устройство представляет собой механизированную тележку, несущую на себе компьютерный блок со встроенной электронной картой и программное обеспечение для построения профиля маршрута, GPS-датчик, датчик для определения уклона, измерительный щуп для определения высоты бордюра, измеритель для определения ширины проезда. Данные с прибора обрабатываются, строятся отдельные ребра графа доступности, которые затем объединяются в единую геоинформационную модель доступности. Таким образом возможно создать комплексный картографический продукт, позволяющий маломобильным гражданам прокладывать доступные маршруты по территории населенного пункта, а муниципальным органам, отвечающим за комфортность городской среды – планировать свою деятельность, чтобы исключить все препятствия на пути движения людей.

**Библиографический список**

1. *Деменков И.О., Кобецкая А.В., Пошивайло Я.Г.* Разработка методики формирования базы данных объектов городской среды для первоочередного обеспечения их доступности, на основе применения геоинформационных систем и технологий геолокации. Интеллектуальный потенциал Сибири // 27-я Региональная научная студенческая конференция (г. Новосибирск, 23–25 сентября 2019 г.): материалы конференции: в 3 частях / Под ред. Соколовой Д.О. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2019. Т. 2. С. 324–326.
2. *Методика* построения маршрута для людей с ограниченными возможностями [Электронный ресурс]: Сайт Департамента социального развития Ханты-Мансийского автономного округа–Югры. URL: <https://depsr.admhmao.ru/obsuzhdenie-dokumentov/obsuzhdenie-zaversheno/metodika-postroeniya-marshruta-dlya-lyudey-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami/1095798/metodika-postroeniya-marshruta-dlya-lyudey-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami> (дата обращения: 12.01.2020).
3. *Польских М.С., Пошивайло Я.Г.* Картографирование доступной среды в Российской Федерации. Интеллектуальный потенциал Сибири // 26-я Региональная научная конференция (22–24 мая 2018 г., г. Новосибирск): сборник научных трудов в 2 ч. Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2018. Ч. 2. С. 438–439.
4. *Пошивайло Я.Г.* К вопросу картографирования доступности городской среды // Сборник статей по итогам научно-технических конференций. Выпуск 10. В 2-х частях. Ч. I. М.: МИИГАиК. 2019. 212 с. / Приложение к журналу Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». С. 200–204.
5. *Приказ* Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации № 627 от 25.12.2012 «Об утверждении методики, позволяющей объективизировать и систематизировать доступность объектов и услуг в приоритетных сферах жизнедеятельности для инвалидов и других маломобильных групп населения, с возможностью учета региональной специфики».
6. *Распоряжение* Правительства РФ от 13.02.2019 N 207-р (ред. от 31.08.2019) «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года».
7. *Рычкова Д.Н., Пошивайло Я.Г.* Картографические методы поддержки программ доступности объектов городской инфраструктуры Республики Казахстан. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018: Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 22–24 мая 2018 г.). Новосибирск: СГУГиТ. 2018. Т. 2. С. 304–311.
8. *Свод правил* СП 59.13330.2012 «СНиП 35-01-2001. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения». Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001 (утв. приказом Министерства регионального развития РФ от 27 декабря 2011 г. № 605) (с изменениями и дополнениями).

## **КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В БАССЕЙНЕ Р. КАМЫ**

В статье рассматривается структура и информационное наполнение картографической базы данных опасных гидрологических явлений в бассейне р. Камы. Созданная база данных является одним из элементов информационного наполнения картографического веб-сервиса <http://hydromonitor.maps.psu.ru/>, разработанного для информационной поддержки мониторинга прохождения весеннего половодья в бассейне р. Камы.

*Ключевые слова:* опасные гидрологические явления, весеннее половодье, дождевые паводки, картографическая база данных, картографический веб-сервис.

S. Pyankov, R. Abdullin, pyankovsv@gmail.com

Perm State University, Perm, Russia

## **A GIS DATABASE OF HAZARDOUS HYDROLOGICAL EVENTS IN THE KAMA RIVER BASIN**

The article discusses the structure and content of the GIS database of hazardous hydrological events in the Kama river basin. The database is one of the elements of the content of the online web map service <http://hydromonitor.maps.psu.ru/>, which was developed to provide information support for monitoring of spring floods in the Kama river basin.

*Keywords:* hazardous hydrological events, spring flood, rain floods, GIS database, online web map service.

Мониторинг опасных гидрологических явлений (ОГЯ) и предоставление пользователям актуальной информации об их развитии является важной задачей для многих регионов России. Одним из важных элементов комплексного мониторинга ОГЯ является разработка систем прогнозирования наводнений, основанных на веб-ГИС технологиях. В России такие системы были разработаны НИЦ Космической гидрометеорологии «Планета» и Гидрометцентром РФ для бассейнов рек Амура [3] и Кубани [1], где часто возникают быстроразвивающиеся наводнения, связанные с ливневыми паводками. В то же время системы мониторинга наводнений для бассейнов рек, где основные риски связаны с весенним половодьем, до недавнего времени отсутствовали.

В 2018–2019 гг. был разработан онлайн-картографический сервис для мониторинга ОГЯ, а также процессов формирования и таяния снежного покрова в бассейне р. Камы. Целью его создания является информационная поддержка мониторинга и прогноза ОГЯ в интересах региональных УГМС и других заинтересованных пользователей. Картографический сервис доступен в сети Интернет по

ссылке <http://hydromonitor.maps.psu.ru/>.

Для организации хранения данных и управления ими создана многопользовательская база данных под управлением СУБД PostgreSQL. Для публикации пространственных данных в сети Интернет, а также организации доступа к ним пользователей применяется установленный на веб-сервер ГИС-сервер ArcGIS Server 10.x, публикация данных выполняется из настольного программного обеспечения ArcGIS Desktop 10.x. Доступ пользователей картографического сервиса через сеть Интернет организован при помощи клиентского веб-приложения, реализованного на базе технологий HTML5, CSS3 и JavaScript. Функциональные возможности сервиса описаны в Руководстве пользователя (<http://hydromonitor.maps.psu.ru/help/help.html>).

В структуре картографического сервиса выделяются базовые и тематические слои. В свою очередь, тематические данные подразделяются на данные мониторинга (обновляющиеся ежедневно) и прочие данные, не требующие регулярного обновления с высокой частотой. Общая характеристика информационного наполне-

ния сервиса представлена в таблице 1, более подробное описание приведено ниже.

Одним из элементов информационного наполнения сервиса является картографическая база данных о случаях ОГЯ в бассейне р. Камы. Для ее создания были проанализированы все доступные информационные ресурсы за период с 1990 г. по н.в. Ограничение периода для анализа связано с проблемой доступности данных.

Основное внимание было уделено сведениям об ущербе от ОГЯ, опубликованным в СМИ. Также использованы сведения из монографии (Разумов и др., 2018 [2]) за 1990–2005 гг., и из базы данных об опасных явлениях, нанесших социально-экономический ущерб (<http://data.oceaninfo.ru/applications/disaster/index.jsp?&sortBy=region>). Отбор случаев ОГЯ производился по следующим критериям: достижение критерия опасного явления по данным ближайшего гидропоста, значительный масштаб ущерба или факт введения режима чрезвычайной ситуации

(ЧС) на пострадавшей территории. Структура атрибутивного описания случаев ОГЯ приведена в таблице 2.

Основные характеристики случаев ОГЯ в бассейне Камы, оцененные по созданной базе данных, приведены на рис. 1. Всего база данных ОГЯ содержит 97 записей, которые относятся к 75 случаям ОГЯ. Расхождение связано с тем, что каждая запись привязана к определенному населенному пункту, в то время как некоторые ОГЯ нанесли существенный ущерб в нескольких населенных пунктах. Случаи ОГЯ зафиксированы в 63 различных населенных пунктах (рис. 2). Наиболее паводкоопасными из них можно считать г. Уфа и Стерлитамак (8 и 5 случаев ОГЯ соответственно). Наибольшее количество объектов, попадающих в зону затопления, также расположено в г. Уфе (свыше 3500 жилых домов). В целом по бассейну Камы, большинство случаев ОГЯ со значительным ущербом было зафиксировано в бассейне р. Белой.

Таблица 1. Информационное наполнение картографического веб-сервиса

Базовые слои	Тематические слои		
	Наблюдательная сеть и бассейны	Опасные гидрологические явления	Оперативно обновляемые (мониторинг)
Топографическая основа; Рельеф; Растительность	Метеостанции; Гидропосты; Бассейны рек (до гидропостов)	Населённые пункты в зоне риска затопления; Затороопасные участки на реках; Случаи ОГЯ и ЧС; Зоны затопления по спутниковым данным	Запас воды в снежном покрове, рассчитанный на основе данных об осадках, полученных по метеостанциям и по моделям прогноза погоды ICON, GFS; Расчетная водоотдача снега и площадь снегового покрытия; Средний снегозапас и водоотдача по бассейнам рек; Площадь снегового покрытия по данным MODIS

Таблица 2. Структура атрибутивной таблицы случаев ОГЯ в бассейне р. Камы

<b>Имя поля</b>	<b>Тип (длина) поля</b>	<b>Описание</b>
Settlement_ID	Short integer	Идентификатор населенного пункта, в котором наблюдалось ОГЯ
Settlement_name	Text, 30	Населенный пункт, в котором наблюдалось ОГЯ
Flood_type	Text, 25	Тип наводнения
Cause	Text, 255	Описание гидрометеорологических условий возникновения ОГЯ
Dead_and_missed	Short integer	Число погибших и пропавших без вести
Number_of_people_evacuated	Short integer	Число эвакуированных людей в зоне ЧС
Number_of_flooded_houses	Short integer	Число затопленных домов
Damage_description	Text, 255	Описание ущерба, вызванного ОГЯ
Emergency_date	Text, 255	Даты ЧС (начало и конец)
Emergency_ID	Short integer	Идентификатор ЧС
URL	Text, 100	URL-адрес описания ЧС
Video_file	Text, 50	Ссылка на видеофайл
Year	Short integer	Год возникновения ОГЯ
Month	Short integer	Месяц возникновения ОГЯ*
Related_hydropost	Short integer	Название ближайшего гидропоста
Max_level	Short integer	Максимальный зафиксированный уровень воды в относительных отметках (см)
Max_level_date	Date	Дата максимального уровня
Water_level_file	Text, 25	Ссылка на графический файл с изображением динамики уровня воды на гидропосту

\*В случае, если ОГЯ продолжалось в течение двух месяцев, указывается первый месяц

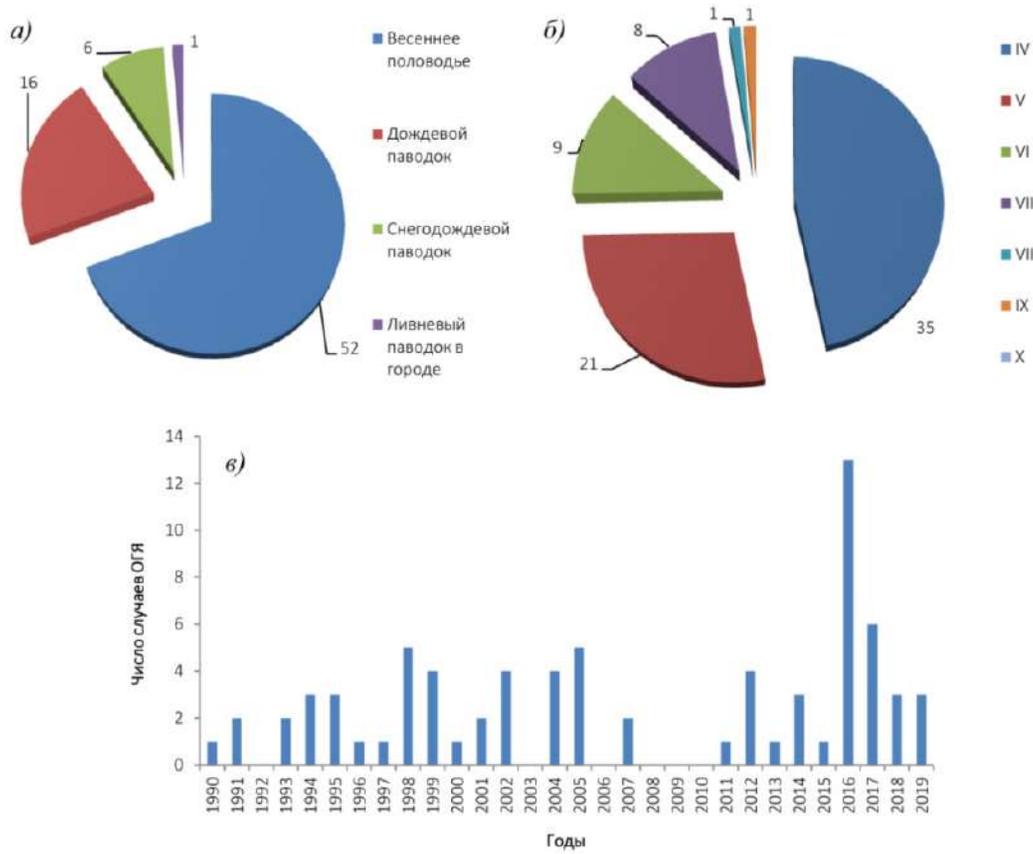


Рис. 1. Распределение числа случаев ОГЯ по причинам возникновения (а), внутригодовое (б) и межгодовое (в) распределение

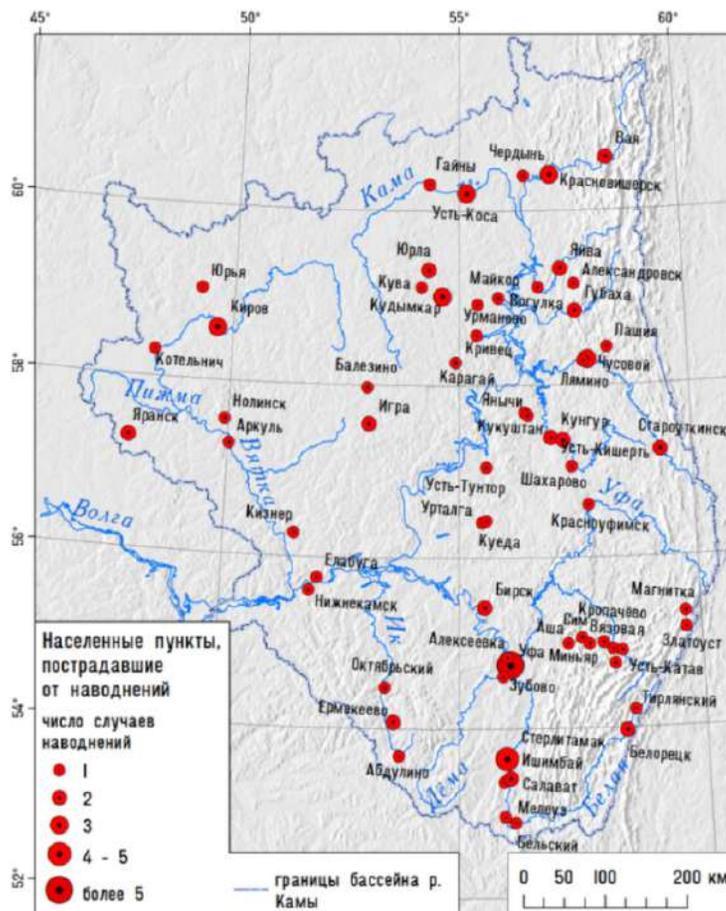


Рис. 2. Населённые пункты в бассейне Камы, в которых наблюдались ОГЯ

Большинство случаев ОГЯ в бассейне Камы были вызваны весенним половодьем, однако вклад дождевых и снегодождевых паводков также значителен (рис. 1а). В пяти случаях зафиксированы факты гибели людей от наводнений, из которых 4 случая связаны с дождевыми паводками. Наибольшее число жертв (по разным данным, от 26 до 29 чел.) зафиксировано при прорыве плотины в пос. Тирлянский 07.08.1994 г., который был вызван редким по интенсивности дождевым паводком в верхнем течении р. Белой. Поскольку большинство случаев ОГЯ вызваны весенним половодьем, наибольшее число их отмечалось в апреле и мае (рис 1б). В межгодовом

распределении максимум приходится на 2016 г., когда высокое половодье наблюдалось во всей северной половине бассейна р. Камы.

В целом разработанный картографический сервис и база данных являются одними из первых в России открытых информационных ресурсов подобной тематики. Дальнейшее развитие сервиса предполагает разработку новых инструментов картографической визуализации данных. Также планируется модифицировать структуру созданной базы данных в соответствии с современными разработками в данной области.

*Исследование выполнено при поддержке РФФИ, проект № 17-05-01001-а.*

### Библиографический список

1. Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Система прогнозирования паводков и раннего оповещения о наводнениях на реках Черноморского побережья Кавказа и бассейна Кубани. Труды Гидрометцентра РФ. 2015. Спец. вып. 356. 247 с.
2. Масштабы и опасность наводнений в регионах России / В.В. Разумов [и др.]. М.: ВНИИ ГО ЧС, 2018. 364 с.
3. GIS-Amur system of flood monitoring, forecasting, and early warning / A.V. Frolov [et al] // Russian Meteorology and Hydrology. 2016. V. 41 (3). P. 157–169.
4. LAND-deFeND – An innovative database structure for landslides and floods and their consequences / E. Napolitano [et al] // Journal of Environmental Management. 2018. V. 207. P. 203–218.

А.В. Пяткова, А.А. Светличный, avpyatkova2011@gmail.com  
 Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова, г. Одесса, Украина

## МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНЫХ ВЕЛИЧИН

В статье рассмотрена методика учета пространственной неоднородности факторов водной эрозии почвы с использованием ГИС-технологий. Продемонстрированы особенности моделирования гидрометеорологических условий ливневого смыва почвы. Приведена методика учета концентрации склоновых водотоков в виде коэффициента развития формы склоновых микроводосборов.

*Ключевые слова:* водная эрозия почв, модель смыва, ГИС-технологии, пространственная неоднородность.

A. Piatkova, O. Svitlychnyi, avpyatkova2011@gmail.com  
 Odesa I. I. Mechnikov National University, Odesa, Ukraine

## THE METHODOLOGY OF GIS-MODELLING OF SPATIALLY VARIABLE VALUES

The study considers the methodology of taking into account a spatial variability of water erosion factors by GIS-technologies. The peculiarities of modelling of hydrometeorological conditions of water erosion are demonstrated. The methodology of taking into account a concentration of hill rills like a coefficient of development of hill catchments form is shown.

*Keywords:* water soil erosion, the washing-off model, GIS-technologies, spatial variability.

**Введение.** Пространственная неоднородность географических величин, будь то температура воздуха, соленость океанических вод, влажность почвы и т.д., определяется прежде всего дуальностью географической оболочки – проявлением свойств дискретности и континуальности в каждой точке пространства. Даже резкие границы раздела комплексов (например, вода-суша) вовсе не означают резкой смены в пограничной зоне свойств и качеств, которые характеризуют эти комплексы. Не исключением являются и факторы водной эрозии почв, одного из самых опасных деградиционных процессов, в конечном итоге приводящего к формированию бедлендов и опустыниванию территорий. Являясь сложным процессом разрушения, транспортировки и переотложения разрушенного материала, зависящая от целого ряда пространственно неоднородных факторов, водная эрозия почвенного покрова проявляется в пространстве крайне изменчиво. Неоднородность смыва-аккумуляции почв проявляется в формировании отдельных небольших по площади и неправильных по форме почвенных ареалов, которые существенно отличаются своими свойствами.

Значительное варьирование всех факторов водной эрозии в пространстве следует учитывать при оценке и прогнозе

потерь почвы, учитывая современные потребности в пересмотре подходов к формированию и поддержке агроландшафтов с учетом ландшафтной структуры территории [1]. Проведение полевых исследований и измерений считается наиболее точным и достоверным способом оценить интенсивность проявления водной эрозии почв в пределах конкретной территории. Однако, этот способ является чрезвычайно трудоемким и дорогим по затратам времени, ресурсов и кадров, поэтому в мировой практике оценки и прогноза водно-эрозийных потерь почвы прибегают к использованию математических моделей [3].

Несмотря на многочисленные исследования и подтверждения значительной пространственной неоднородности величин, характеризующих основные факторы водной эрозии [2; 4; 6; 7], в большинстве известных на сегодняшний день математических моделей смыва почвы параметры и переменные чаще всего принимают неизменными в пространстве по всему исследуемому участку, будь то поле севооборота, отдельно взятая форма мезорельефа или целое фермерское хозяйство, что в корне ошибочно.

**Материалы и методы.** Решение задачи учета пространственной неоднородности факторов водной эрозии почв, с одной стороны, требует высокого уровня

развития технологий полевых исследований, с другой – нетривиальных подходов к моделированию характеристик, которые напрямую не могут быть измерены (например, гидрометеорологические условия ливневого смыва почвы, или гидрометеорологический фактор). Помимо этого, необходимо четкое осознание сложности и неоднозначности процесса формирования ливневого стока на склоновых поверхностях с разными качественными и количественными характеристиками. Здесь имеются в виду уклон, экспозиция, поперечная и продольная кривизна и их влияние на формирование склонового стока и смыва-аккумуляции почвы [3].

Анализ уравнений физико-статистической модели ливневого смыва почвы, разработанной на кафедре физической географии и природопользования Одесского национального университета имени И.И. Мечникова [5; 9; 11], показывает, что все ее параметры и переменные определяются положением точки пространства в рельефе относительно линии водораздела данного склонового микроводосбора. Таким образом, определяющей основой для расчетов пространственного распределения факторов водной эрозии является гидрологически корректная цифровая модель рельефа (ЦМР) и соответствующие возможности математического и картографического анализа такой модели.

Оптимальным инструментом для реализации задач моделирования являются современные геоинформационные технологии. В частности, в данном исследовании использованы аналитические возможности пакета моделирования окружающей среды *PCRaster*, разработанного в Утрехтском университете в Нидерландах [12]. Достоинством пакета является его свободное распространение, а также богатый набор функций картографической алгебры, в том числе широкие возможности анализа ЦМР с построением карт линий тока, элементов гидрографической сети, экспозиций, уклонов, длин и др. [12].

**Основные результаты.** В физико-статистической модели склонового смыва-аккумуляции гидрометеорологические условия ливневого смыва отображаются интегрированным показателем – гидрометеорологическим фактором ливневого смыва почвы ( $K_{ГМ}$ ), учитывающим особенности ливневой деятельности и увлажнения подстилающей поверхности. Если речь идет об отдельном склоновом участке, то можно считать, что характеристики осадков в его пределах не изменяются, а

вот влажность значительно варьирует, поскольку зависит от рельефа и свойств почв. Определение зависимости  $K_{ГМ}$  от влажности почвы дает возможность считать его пространственное распределение.

На основе аналитической модели пространственного распределения в пределах склонов влажности верхнего полуметрового слоя почвы, опирающейся на обобщение микроклиматических наблюдений, проводившихся на территории бывшего СССР, выполненных Е. Н. Романовой [8], на кафедре физической географии и природопользования ОНУ им. И. И. Мечникова в среде пакета *PCRaster* осуществлена разработка ГИС-модели [13], реализующей расчет пространственного распределения влажности почвы в зависимости от экспозиции, уклона и продольной кривизны склона, а также расстояния от заданной точки пространства до линии водораздела. Далее, основываясь на данных наблюдений на метеостанциях юга Украины (Болград и Вознесенск) и Богуславской полевой гидрологической базы (Киевская область), получено уравнение связи гидрометеорологического фактора и показателя увлажненности почвы, которая в свою очередь определяется водно-физическими характеристиками почвы (максимальной гигроскопичностью и наименьшей полевой влагоемкостью) [10].

Алгоритм расчета пространственного распределения  $K_{ГМ}$  для исследуемой территории включает следующие действия:

- расчет пространственного распределения влажности верхнего полуметрового слоя почвы;
- создание цифровых карт максимальной гигроскопичности и наименьшей полевой влагоемкости с использованием либо данных измерений, либо справочных данных;
- расчет пространственного распределения показателя увлажненности почвы;
- расчет пространственного распределения  $K_{ГМ}$ .

Расчеты пространственного распределения  $K_{ГМ}$  ливневого смыва почвы для разных участков и их анализ показывают, что гидрометеорологические условия ливневой эрозии почв значительно варьируют в пределах одного склона (рис. 1). Значения в разных точках пространства могут отличаться друг от друга почти в два раза.

Поверхностный сток, вызывающий водную эрозию почвы, формируется на склоне в руслах временных водотоков,

возникающих в результате выпадения интенсивного ливня, таяния снега или поверхностного орошения. Эти временные русла формируют особый рисунок стекания воды и транспорта частиц почвы, создавая склоновые микроводосборы. Под склоновым микроводосбором будем подразумевать некоторую площадь поверхности, с которой поверхностные воды стекают в заданную точку с координатами  $i, j$ . Исходя из того, что уравнения физико-статистической модели смыва почвы разработаны на основе данных наблюдений на стоковых площадках постоянной ширины и с выровненной поверхностью [11], где концентрация стока минимальна или отсутствует, степень поперечной концентрации склоновых водотоков может быть оценена по степени развития формы склонового микроводосбора, под которой будем понимать отклонение ширины микроводосбора заданной длины от некоторой средней «эталонной» ширины в данных почвенно-геоморфологических и климатических условиях, или отношение площади данного микроводосбора к неко-

торой «эталонной» площади. Измерения ширины или площади микроводосборов в каждой точке пространства является трудоемкой задачей даже с использованием современных ГИС-приложений. Однако найденная тесная связь между площадью склоновых микроводосборов и их длиной [7] позволяет решить эту задачу. Расчет степени концентрации склоновых потоков осуществляется в несколько шагов:

- расчет «эталонной» площади склоновых микроводосборов в заданных условиях;
- расчет площади микроводосбора в каждой точке пространства с координатами  $i, j$ ;
- расчет пространственного распределения коэффициента степени развития формы склонового микроводосбора, позволяющий учесть степень концентрации склонового стока (рис. 2). Чем выше значение коэффициента, тем выше концентрация склонового стока и, соответственно, тем выше вероятность интенсивного смыва.

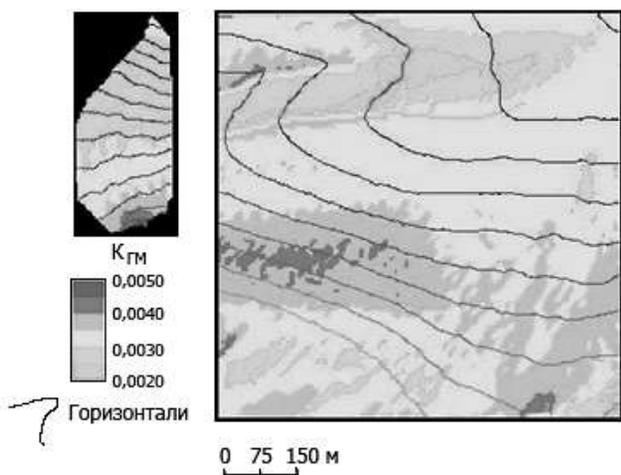


Рис. 1. Пространственное распределение гидрометеорологического фактора ливневого смыва почвы на склоновых участках ( $K_{ГМ}$ )

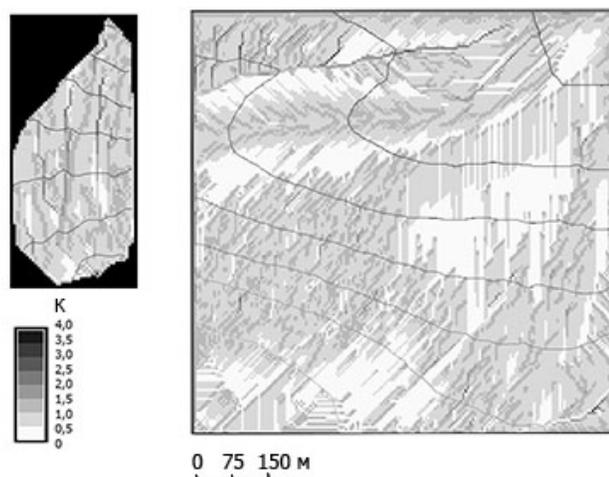


Рис. 2. Пространственное распределение коэффициента развития формы склоновых микроводосборов на склоновых участках ( $K$ )

**Выводы.** Таким образом, помимо методики перехода от модели смыва почвы с сосредоточенными параметрами к профильной [9], моделирование пространственного распределения гидрометеорологических условий смыва почвы, а также концентрации склонового стока позволили реализовать в среде ГИС пространственную версию физико-статистической модели смыва почвы, учитывающей изменчивость основных факторов эро-

зии почвы. Отдельные блоки модели могут быть использованы самостоятельно. В частности, расчет пространственного распределения влажности почвы как составной части расчета  $K_{ГМ}$  необходим, например, для пространственного моделирования поверхностного стока, при оценке действительно возможной урожайности сельскохозяйственных культур в данных почвенно-климатических условиях и т.д. Расчет пространственной изменчивости

концентрации склоновых потоков дает возможность в целом получить представление о структуре склонового стекания на данной территории с целью оценки и прогноза возможных рисков возникновения линейных эрозионных форм.

*Исследования выполнены и дополнены в рамках госбюджетной кафедральной темы № 147 «Разработка основ стратегии природопользования в пределах Причерноморской низменности».*

### Библиографический список

1. Голубцов О. Г. Ландшафтне планування як інструмент реалізації екологічних вимог у територіальне планування України // Український географічний журнал. 2016. №4. С. 29–36.
2. Иванова А. В. Пространственные закономерности характеристик противоэрозионной стойкости почв // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия география. 2003. Т. 16. №1. С. 81–85.
3. Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозиоведения. Белгород: «Константа», 2012. 456 с.
4. Полупан Н.И. Влияние микрорельефа склоновых земель на процессы эрозии // Почвоведение. 1998. №6. С. 753–762.
5. Пяткова А. В. Просторове моделювання водної ерозії ґрунту як основа наукового обґрунтування раціонального використання ерозійно-небезпечних земель: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. геогр. наук: 11.00.11. Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів. Одеса: ФОП Попова Н.М., 2011. 20 с.
6. Проблемы оценки и пространственного моделирования характеристик противоэрозионных свойств почв лесостепи / Светличный А.А. [и др.] // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. Київ: УНДГІ. 2002. № 250. С. 162–178.
7. Пяткова А. В. Урахування структури схилового стікання при просторовому моделюванні зливого змиву ґрунту // Вісник ОНУ. Серія географічні та геологічні науки. 2013. Том 18. № 2(18). С.82–87.
8. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 288 с.
9. Светличный А. А. Принципы совершенствования эмпирических моделей смыва // Почвоведение. 1999. № 8. С. 1015–1023.
10. Світличний О. О., Іванова А. В. Принципи просторового моделювання гідрометеорологічних умов зливого змиву ґрунту // Вісник ОНУ. Серія географічні та геологічні науки. 2004. Т.8. № 5. С. 77–82.
11. Швобс Г. И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 184 с.
12. PCRaster manual, version 2. Utrecht: Faculty of Geographical Sciences Utrecht University & PCRaster Environmental Software. 1998. 368 p.
13. Svetlichny A. A., Plotnitskiy S. V., Stepovaya O. Y. Spatial distribution of soil moisture content within catchments and its modeling on the basis of topographic data // Journal of Hydrology. 2003. V.277. P. 50–60.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДОВ И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ УДМУРТИИ)

В статье рассматривается применение геоинформационных методов и цифровых технологий при создании региональных электронных атласов и тематических карт в различных сферах деятельности: экология и природопользование, медицинская география и туризм.

*Ключевые слова:* Удмуртская Республика, цифровые технологии, география.

E. Rubleva, I. Rysin, rea197@mail.ru

Udmurt state University, Izhevsk, Russia

## USING GEOINFORMATION METHODS AND DIGITAL TECHNOLOGIES IN GEOGRAPHICAL RESEARCH (ON THE EXAMPLE OF UDMURTIA)

The article discusses the use of geoinformation methods and digital technologies in the creation of regional electronic atlases and thematic maps in various fields of activity: ecology and nature management, medical geography and tourism.

*Keywords:* Udmurt Republic, digital technologies, geography.

Геоинформационное картографирование широко используется во многих отраслях народного хозяйства, в том числе и для решения современных проблем здравоохранения. Например, картографические и геоинформационные методы могут использоваться для создания комплексной медико-географической информации в виде картографического произведения, например, специализированных медико-географических карт [2] и региональных атласов (<http://rgo.geoportal.ru>) [1]. При этом их создание, ведение и обновление может быть выполнено с помощью геоинформационных технологий, которые позволяют связывать карты с базами атрибутивных данных и обмениваться данными с другими системами. Электронные атласы являются удачной альтернативой бумажным, т.к. позволяют значительно сократить сроки составления, использовать в качестве носителей компакт-диски, применять анимации и мультимедийные средства. Геоинформационные технологии также использовались при создании электронного медико-статистического атласа Удмуртской Республики, который базировался на статистических материалах, представленных БУЗ УР «Республиканский медицинский информационно-аналитический центр Министерства здравоохранения Удмуртской Республи-

ки». Статистическая база данных была преобразована в реляционную форму и представлена в виде таблицы, состоящей из 305 атрибутов (информация по 12 показателям и их динамике за 1990 – 2015 гг. в расчете на 1000 и 100 тыс. чел.) и 30 объектов (муниципальные районы и города УР). Табличные данные были использованы для создания серии цифровых карт: рождаемость; смертность; естественный прирост; младенческая смертность; смертность населения трудоспособного возраста; смертность населения от болезней системы кровообращения; смертность населения от болезней органов дыхания; смертность населения от злокачественных новообразований; смертность населения от болезней органов пищеварения; смертность населения от инфекционных и паразитарных болезней; смертность населения от несчастных случаев, отравлений и травм; смертность населения от суицида (рис. 1) и др.

Т.к. картографирование проводилось на основе данных медицинской статистики, поэтому карты были выполнены в виде картограмм с использованием сетки административно-территориального деления и в виде круговых и столбиковых диаграмм, что позволило отобразить на картах не только уровень показателя, но и его динамику и структуру.

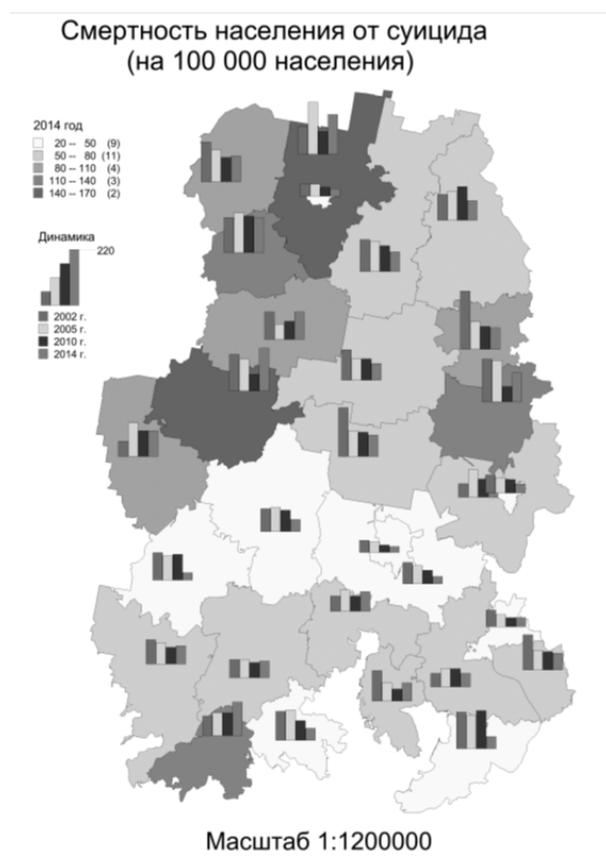


Рис. 1. Карта смертности от суицида

К сожалению, при такой методике картографирования показатели здоровья населения не отражают качественных различий природно-территориальных и территориально-производственных комплексов, в результате чего возникают непреодолимые трудности при проведении медико-географического анализа здоровья населения. Тем не менее, подобные типы карт позволяют проследить динамику и уровень показателя в пределах муниципалитета и республики и их можно использовать как инструмент мониторинга заболеваемости и смертности населения, улучшения качества медицинского обслуживания в проблемных районах.

В текущем году планируется создание электронного интерактивного атласа исчезнувших деревень Удмуртии, где будут представлены различные по тематике и содержанию электронные карты. На картах будут показаны стандартные общегеографические объекты: гидрография, дорожная сеть, растительность, населенные пункты и т.д. В качестве основной тематической информации будут выступать исчезнувшие деревни, которые будут отображаться в виде специально разработанных интерактивных условных знаков. Цвет и форма знака будут нести дополнительную смысловую нагрузку. Помимо

этого, на карте будут присутствовать дополнительные управляющие элементы: кнопки масштабирования, выбор картографической подложки, окно с легендой и т.д., что обеспечит пользователю более удобное использование ресурса.

Также в географических исследованиях широко используются данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ), например, для создания разнообразных тематических карт, а также для мониторинга за объектами и явлениями земной поверхности, основанного на архивных данных за много лет наблюдений. Общеизвестным и надёжно зарекомендовавшим источником таких данных является архив снимков Landsat Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey – <http://landsat.usgs.gov/index.php>). На современном этапе наиболее важными являются следующие факты:

- в архиве данных USGS хранятся снимки за много лет наблюдений (съёмки с космических аппаратов);

- доступ к этому архиву является максимально демократичным (бесплатным). Но при этом, коммерческие свежие данные высокого разрешения здесь отсутствуют. Снимки разрешением от 15 метров и выше представлены в виде весьма обширной коллекции, включая и территорию России;

- в Российской Федерации физлицам можно использовать ДДЗЗ любого разрешения, как российские, так и зарубежные.

Для географического анализа можно скачать многозональные снимки на любую территорию и выбрать временной промежуток, в пределах которого происходит исследование. Многозональный снимок представляет собой черно-белое изображение. Для синтезирования цветного изображения используется палитра цветов RGB. Согласно этой палитре, любое изображение на цветном экране формируется из трех основных цветов: синий, зеленый, красный – которым соответственно присваиваются зоны 0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,8–1,1 мкм. Однако, если изменить комбинацию съемочных каналов и открывать космоснимки не в 8 каналах одновременно, а взять только три: 4, 5, и 6 (0,76–12,5 мкм), то за счет своей отражающей способности все объекты будут показаны в разной цветовой гамме, т.к. для каждой группы объектов выделяются разные длины электромагнитных волн, в которых они регистрируются на снимках более четко (рис. 2).

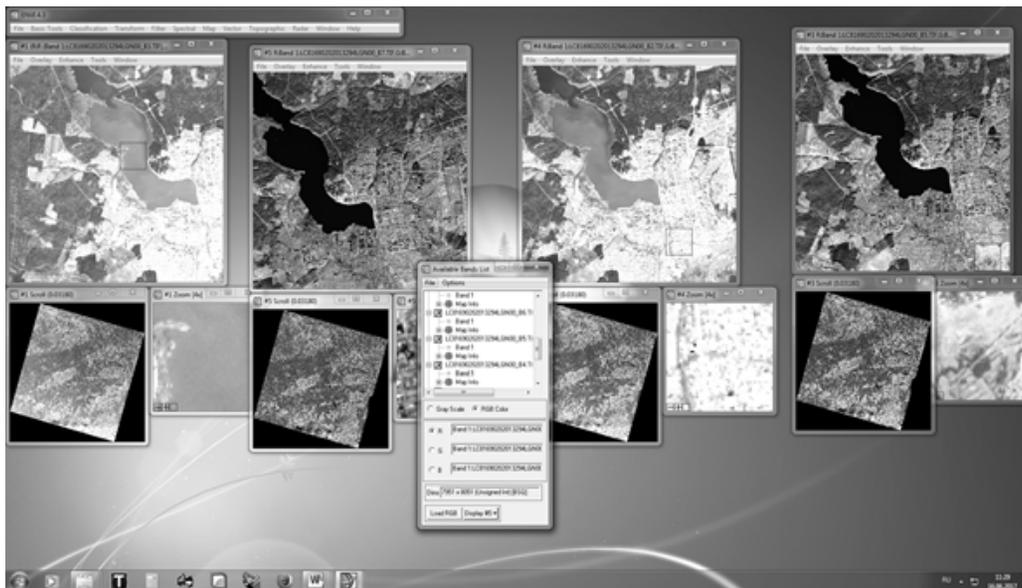


Рис. 2. Варианты создания спектральных снимков

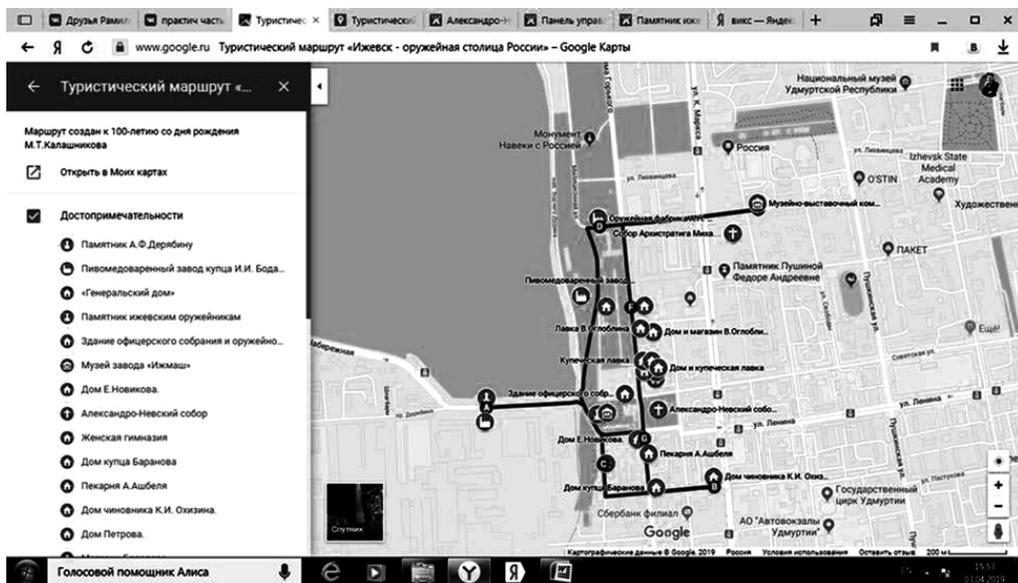


Рис. 3. Веб-карта туристического маршрута «Ижевск – оружейная столица России»

Используя полученный набор снимков, необходимо выбрать те, на которых изучаемые явления или объекты выглядят более контрастно по сравнению с другими, и применить их для дальнейшей обработки в геоинформационных системах. Например, на синтезированном снимке, для создания которого были использованы съёмочные каналы 4–5–6, хорошо дешифрируются контуры лесных массивов, среди которых выделяются хвойные породы – сосна (красный цвет), ель – (зелёный цвет), а также смешанные хвойно-лиственных породы (фиолетовый цвет), но при этом просеки дешифрируются не достаточно четко. Космические снимки, полученные из архива снимков Landsat Гео-

логической службы США на территорию Удмуртии, могут использоваться для:

- создания тематических карт;
- выявления загрязнений окружающей среды (при этом лучше использовать снимки с Landsat 8);
- выявления динамики объектов и явлений с использованием многозональных разновременных снимков;
- мониторинга вырубки лесных массивов;
- выявления несанкционированных прудов и свалок ТКО;
- создания основы для территориального планирования;

– выявления не используемых сельхозугодий (зарастающих подлеском) и т.д.

Геоинформационные методы исследования и цифровые технологии получили широкое применение в сфере туризма и рекреации. На сегодняшний день, цифровые технологии в туризме связаны, в том числе, и с широкими возможностями веб-картографии. Веб-карты очень удобны, т.к. их можно выкладывать в общий доступ и просматривать через Интернет, не устанавливая какое-либо программное обеспечение. Для просмотра веб-карт можно использовать веб-браузер, мобильный телефон или они могут быть выложены в общий доступ. Одним из проектов, связанных со 100-летием конструктора

М.Т. Калашникова было создание веб-карты туристического маршрута «Ижевск – оружейная столица России», состоящего из 26 культурно-исторических объектов г. Ижевска и их тематического описания (рис. 3). Для создания веб-карты был выбран сервис Google Maps, как один из самых популярных и доступных картографических сервисов. После загрузки и отображения всех объектов в сервисе, для каждого из них с помощью онлайн-конструктора сайтов Wix.com. Была создана отдельная интернет-страница с описанием достопримечательности выделенных объектов. В качестве подложки может использоваться как векторная карта местности, так и данные спутниковой съемки.

### Библиографический список

1. *Атлас Удмуртской Республики* / под ред. И.И. Рысина. М.: Изд-во «Феория», 2016. 282 с.
2. *Медико-географический атлас Удмуртской Республики* / под ред. И.Л. Мальковой. Информационно-справочное издание. Ижевск, 2014. 100 с.

И.А. Самофалова<sup>1</sup>, Т.А. Трифонова<sup>2</sup>, П.С. Шутов<sup>3</sup>, samofalovairaida@mail.ru

<sup>1</sup>Пермский государственный аграрно-технологический университет, г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,  
г. Владимир, Россия

## ПОЧВЕННО-ЛАНДШАФТНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «БАСЕГИ» НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Произведен сравнительный анализ установленных групп речных бассейнов по морфометрическим показателям с пространственным положением стратиграфических образований. Территория различна по условиям формирования бассейнов, как в меридиональном, так и широтном аспекте. С помощью информационно-логического анализа определено преобладающее влияние некоторых морфометрических показателей на формирование водосборов. Установлены специфические состояния условий формирования типов геосистем бассейнов рек, в пределах которых планируется построить геомодель почвенно-ландшафтного районирования территории заповедника «Басеги».

*Ключевые слова:* геосистемы, водосборные бассейны, морфометрические показатели, кластерный анализ, специфичное состояние.

I. Samofalova<sup>1</sup>, T. Trifonova<sup>2</sup>, P. Shutov<sup>3</sup>, samofalovairaida@mail.ru

<sup>1</sup>Perm State Agrarian and Technological University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Vladimir State University A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, Russia

## SOIL-LANDSCAPE ZONING TERRITORIES OF THE BASEGI RESERVE BASED ON THE EARTH REMOTE SENSING DATA

A comparative analysis of the established groups of river basins by morphometric indicators with the spatial position of stratigraphic formations is carried out. The territory is different in terms of the formation of basins, both in the meridional and latitudinal aspects. Using information-logical analysis, the predominant influence of some morphometric indicators on the formation of catchments was determined. Specific conditions are established for the formation of types of river basin geosystems, within which it is planned to build a geomodel of soil-landscape zoning of the Basegi nature reserve.

*Keywords:* geosystems, watersheds, morphometric indicators, cluster analysis, specific state.

**Введение.** Особенность современных исследований заключается в преобладании системного, обще-экологического подхода [5; 8; 9; 11], использовании цифровых моделей рельефа и пространственных моделей местности для изучения экосистем [2; 12; 17]. Перспективным направлением является интеграция космического мониторинга и пространственного анализа в ГИС для создания различных моделей [4; 6; 10]. Геопропространственный анализ на основе бассейнового подхода позволяет выделять границы бассейнов по цифровым моделям рельефа [1; 12], проводить типизацию геосистем для различных целей [8; 13; 15], в том числе для различных видов районирования.

В настоящее время существует геолого-экологическая карта Среднего Урала, а также геоэкологическая и ландшафт-

но-геохимическая карта Пермского края [4], где основой районирования являются геоморфологические (генетические) ландшафты. Почвенное районирование горной части Пермского края проведено схематично на основе данных первой половины XX века [7]. Выделены были только крупные иерархические единицы: область, провинции и районы. Более дробное деление территории не произведено. Таким образом, вопросы типизации природной среды Среднего Урала для организации и проведения мониторинга разработаны недостаточно.

В научном сообществе встречаются исследования по типизации бассейнов [12; 15]. Методика типизации геосистем речных бассейнов опробована в глобальном масштабе для всего Камского бассейна [15]. Нам представляется проведение

почвенно-ландшафтного районирования в несколько этапов. На I этапе необходимо выделить типы геосистем по литологии и морфометрии. Далее, в пределах типов геосистем, определить структуру почвенного покрова с учетом растительности. Таким образом, целью исследования на первом этапе почвенно-ландшафтного районирования является проведение типизации геосистем речных бассейнов по морфометрическим показателям на локальном уровне.

**Методы исследования.** Исследования проводили на Среднем Урале (хребет Басеги). Высота местности варьирует от 315 до 954 м над уровнем моря. Басеги – это горная гряда, залегающая западнее от водораздельной части Урала между 58°50' и 60° с.ш. в междуречье р. Усьвы и Вильвы (58°45'–59°00' с.ш., 58°15'–58°38' в.д.) в пределах Волжско-Камского бассейна. Хребет является основой заповедника «Басеги» и относится к низкогорной области Среднего Урала к Вишерско-Чусовскому краевому поднятию. Хребет, протягивающийся, в соответствии с тектоническим строением, в меридиональном направлении, представляет собой цепь из трех гор, самая высокая из которых Средний Басег (994,7 м). Вершины разделены седловинами с абсолютными высотами около 650 м. Чередование скалистых выходов и седловин связано с различной податливостью к денудации слагающих данную местность горных пород. В геологическом отношении территория хребта представляет собой комплекс метаморфизированных, терригенных, вулканогенных и интрузивных образований протерозойского, девонского и кембрийского возраста, перекрытый маломощным чехлом рыхлых четвертичных отложений [16].

Территорию заповедника полностью или частично дренируют 14 водотоков, которые являются притоками различного простираения главной реки – р. Усьвы. Для выделения бассейновой территориальной структуры и элементов литоводосборных бассейнов (ЛВБ) использована методика Т.А. Трифоновой [14]. Картографической основой являлась электронная геологическая карта дочетвертичных отложений Пермского края геологического института им. Карпинского [16].

Для проведения типизации геосистем речных бассейнов необходимо: установить данные о высоте местности на основе широкого круга цифровых моделей рельефа (ЦМР); векторизовать водотоки, границы водосборов автоматически по ЦМР;

на основе ЦМР получить основные морфометрические показатели по бассейнам рек с созданием базы данных; сгруппировать бассейны по морфометрическим показателям методом кластерного анализа; сопоставить результаты классификации с геологическими картами дочетвертичных отложений с выявлением характерного типа геологических пород для каждой группы.

При создании общей ЦМР использованы данные радарной топографической съемки Земли – SRTM 30 (Shuttle radar topographic mission). Выделение гидрологической сети производилось в среде ArcGIS 10.4 с помощью набора инструментов Hydrology. Базисом эрозии выделенных бассейнов является р. Усьва (принятая нами в настоящем исследовании за главную реку 1-го порядка), по данной схеме выделены бассейны до 2-го порядка. Для автоматизации процедуры моделирования бассейнов была применена методика выделения границ водосборов по данным SRTM [3]. Для количественной оценки вклада рельефа в функционирование речных ЛВБ нами использованы группы морфометрических характеристик: показатели геометрической формы; рельефные параметры [18; 19]. Статистическая обработка проведена в программах «Анализ данных» в Microsoft Excel, произведен кластерный анализ по методу Варда в среде STATISTICA 10, в качестве меры подобия принято евклидово расстояние. Обработка показателей также проведена методом информационно-логического анализа.

**Результаты исследования.** Различия типов бассейнов определяются различием рисунков стоковой системы. Так, в западной части от хребта формируются ЛВБ в форме дубового листа, а в восточной – стоковая система формируется в виде лопасти. Таким образом, образование разных горных ЛВБ указывает на различные процессы разрушения горного массива и роста русловой системы трещин вверх по склону в западной и восточной части хребта. Более активно бассейнообразование происходит на западных склонах хребта.

Для водосборов определены морфометрические показатели, на основе которых, проведена кластеризация бассейнов. Определились 4 кластера по близким условиям формирования бассейнов (рис. 1). Проведено совмещение выделенных групп речных бассейнов с электронной геологической картой дочетвертичных образований и установлена корреляция, являющаяся основанием для пространственной

типизации геосистем бассейнов рек, дренирующих хребет Басеги. Типизация геосистем бассейнов рек показывает литологические различия в пределах хребта, а результаты пространственного анализа геологического строения позволяют установить характерный состав пород для каждой типизированной группы. Территория различна по условиям формирования бассейнов, как в меридиональном, так и широтном аспекте.

С помощью информационно-логического анализа определено преобладающее влияние некоторых морфометрических показателей на формирование водосбо-

ров. Так, различия водосборных бассейнов по морфометрическим показателям в меридиональном отношении проявились по следующим критериям с уменьшением влияния: густота речной сети  $\gg$  средняя высота водосбора  $>$  средний уклон бассейна. Геосистемы бассейнов в широтном аспекте достоверно различаются по следующим параметрам с уменьшением эффекта: перепад высот в водосборе  $>$  средний уклон реки  $>$  средняя высота бассейна  $>$  средний уклон бассейна  $>$  коэффициент рельефа  $>$  падение реки. Определены специфические состояния условий формирования литоводосборных бассейнов (табл. 1).

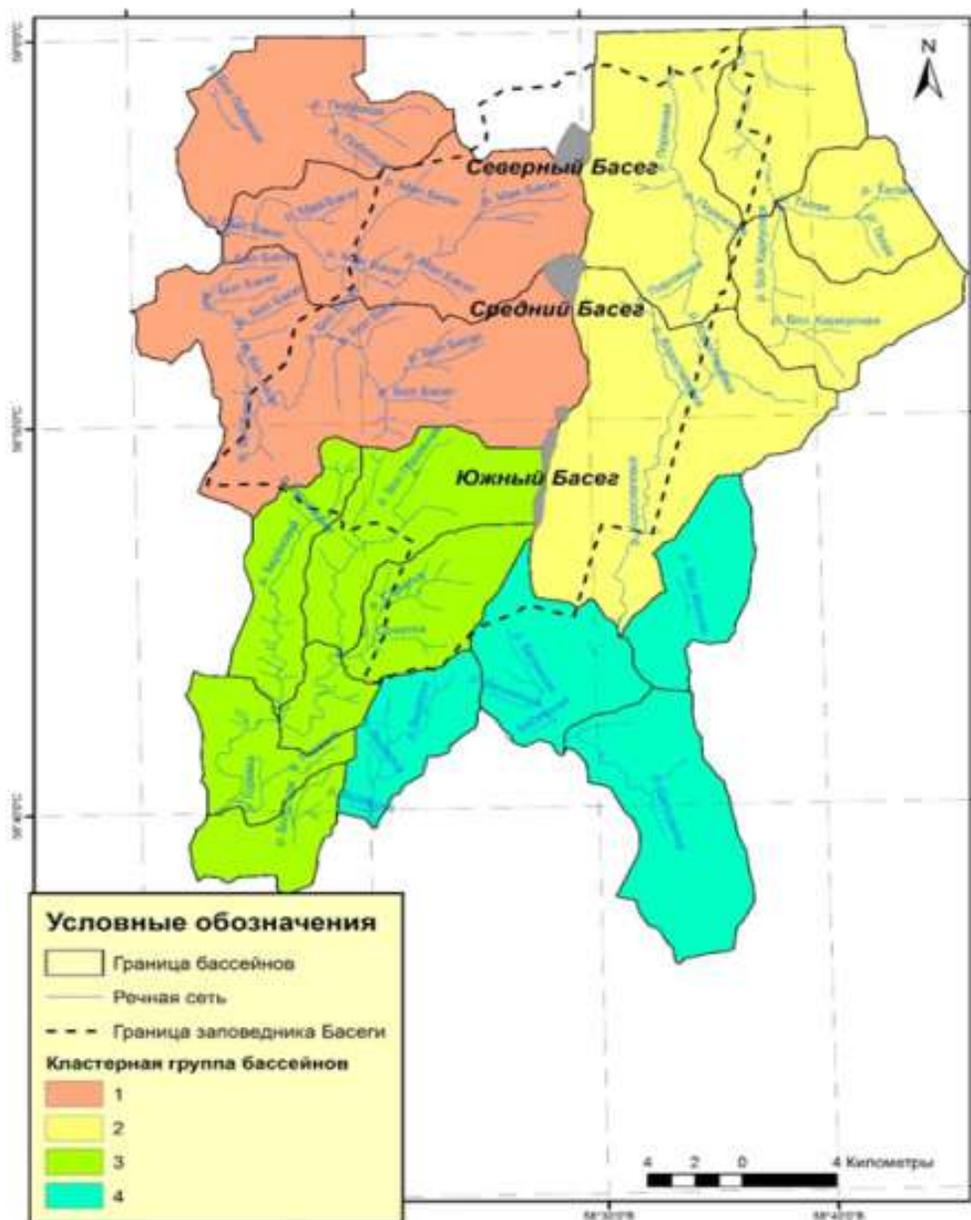


Рис. 1. Геосистемы бассейнов рек хребта Басеги

Таблица 1. Результаты информационно-логического анализа

Морфометрические показатели	Специфичные состояния в меридиональном аспекте: склон		Специфичные состояния в широтном аспекте: часть	
	западный (кластеры 1, 4)	восточный (кластеры 2, 3)	северная (кластеры 1, 2)	южная (кластеры 3, 4)
Средний уклон реки	<15	>25	>25	<15
Протяженность рек	10–15	10–15	<10	>15
Средняя высота бассейна	<400	>500	400–500	>500
Падение рек	<200	>200	<200	>200
Показатель округлости	<0,30	>0,30	>0,30	<0,30
Коэффициент рельефа	35–40	35–40	>40	<35
Густота речной сети	0,5–0,7	<0,5	0,5–0,7	>0,7
Перепад высот в водосборе	<300	300–400	300–400	<300
Средний уклон водосбора	>4	<3	>4	3–4
Средняя длина водосбора	>15	10–15	<10	10–15

**Выводы.** Выявлены показатели (средняя высота бассейна, средний уклон бассейна), влияющие на формирование типов бассейновых геосистем, как в меридиональном, так и в широтном аспектах. Это обстоятельство может оказывать влияние на проявление высотной зональности растительности и почвенного покрова.

Методика типизации бассейновых геосистем опробованная на локальном уровне (для заповедника) показала, что как в

региональном, так и в локальном уровнях удается подразделить бассейновые геосистемы на типы по морфометрическим показателям. Изменение геологических пород диктует и изменение рельефа, что в свою очередь фиксируется по его морфометрическим показателям. Данное обстоятельство позволяет констатировать связь эндогенных и экзогенных процессов, в рамках которых, развивается водосборный бассейн.

### Библиографический список

1. Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Иванов М.А. Автоматизированное построение границ бассейновых геосистем для Приволжского федерального округа // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 33–39.
2. Калюжная И.Ю., Калюжная Н.С., Леумменс Х.Дж.Л. Опыт использования картографических методов и ГИС в проектировании биосферного резервата «Эльтонский» // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М.: Издательство МГУ. 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 337–351. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-337-351.
3. Кацавцева А.Ю. Моделирование речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3. // Ученые записки Таврического нац. универ. им. В.И. Вернадского. Серия «География». 2011. Т. 24 (63), № 3. С. 85–92.

4. Копылов И.С., Лунев Б.С., Наумова О.Б., Маклашин А.В. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. 2014. № 11–10. С. 2196–2201. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35918> (дата обращения: 20.02.2020).
5. Мудрых Н.М., Яшина И.А. Геоинформационные технологии в агрохимическом мониторинге земель сельскохозяйственного назначения / Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. Пермский гос. нац. исслед. университет, ГИС-центр ПГНИУ. Пермь. 2015. Выпуск 8. С. 72–75.
6. Пьянков С.В., Березина О.А., Абдуллин Р.К., Тарасов А.В. Геоэкологическая ГИС ликвидированного Кизеловского угольного бассейна: информационное наполнение и функциональные возможности // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы Междунар. конф. М.: Издательство Московского университета. 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 308–319. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-308-319.
7. Самофалова И.А. Изучение горных почв Урала сотрудниками кафедры почвоведения // АГРОТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА Материалы межд. научно-практ. конференции. ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ. 2018. С. 147–154.
8. Самофалова И.А. Индикационная связь между генетическими признаками почв и высотными ландшафтами на Среднем Урале (хребет Басеги) // Российский журнал прикладной экологии. 2019б. № 2 (18). С. 42–48.
9. Самофалова И.А. Ценные почвенные объекты памятника природы «Вишневая гора» (Пермский край) // Географический вестник. 2019а. № 2 (49). С. 101–114.
10. Самофалова И.А., Шутов П.С. Использование ГИС-технологий для пространственной дифференциации геосистем на территории заповедника «Басеги» // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. Пермский гос. нац. исследовательский университет, ГИС-центр ПГНИУ. Пермь. 2015. Выпуск 8. С. 112–120.
11. Самофалова И.А., Шутов П.С. Геосистемно-бассейновый подход как основа изучения структуры почвенного покрова // Вестник Алтайского ГАУ. 2017. №1(147). С. 49–57.
12. Смирнова Л.Г., Нарожняя А.Г., Кожушков А.А. Типизация бассейнов Белгородской области по морфометрическим характеристикам рельефа для оценки эрозионной опасности на региональном уровне // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 12. С. 66–69.
13. Снитко Г.П., Гай В.В., Суслов С.Б. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Серия Пермская. Лист О-40-ХI (Нововильвенский). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 164 с.
14. Трифонова Т.А. Формирование почвенного покрова гор: геосистемный аспект // Почвоведение. 1999. № 2. С. 174–181.
15. Трифонова Т.А., Шутов П.С. Пространственная типизация геосистем речных бассейнов водосбора реки Камы в связи с особенностями тектонического строения территории [Электронный ресурс] // Геодинамика и тектонофизика. 2019. Т. 10. № 4. Р. 1029–1044. URL: <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0456>.
16. Ушков Б.К., Тетерин И.П., Суслов С.Б. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200000. Серия Среднеуральская: лист О-40 ХI и объяснительная записка к ней. Свердловск. 1989.
17. Чащин А.Н., Кондратьева М.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозаростания угольных отвалов Кизеловского бассейна // Географический вестник. 2019. №2(49). С. 135–147. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147.
18. Schumm S.A. Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. Bull. Geol. Soc. Amer. 1956. v.67, P.597–646.
19. Waikar M. L., Nilawar Aditya P. Morphometric Analysis of a Drainage Basin Using Geographical Information System: A Case study // International Journal of Multidisciplinary and Current Research. 2014. Vol. 2. P. 179–184.

УДК 553.4/.6+681.142:651.8(084.3)(470.41)

Д.А. Семанов<sup>1</sup>, Г.Н. Булатова<sup>2</sup>, Л.П. Лашкова<sup>2</sup>, [gulnara.bulatova@bk.ru](mailto:gulnara.bulatova@bk.ru)

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

<sup>2</sup>ГУП ЦНИИгеолнеруд, г. Казань, Россия

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕВЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Разработан программный пакет для работы с сетевыми тематическими геоинформационными базами данных через интернет (интранет), который позволяет обеспечить специалистов-геологов простым и удобным в пользовательском отношении инструментом для оперативного извлечения и просмотра фактографической и картографической информации по объектам недр нерудных полезных ископаемых.

*Ключевые слова:* база данных, карта, нерудные полезные ископаемые, Республика Татарстан.

D. Semanov<sup>1</sup>, G. Bulatova<sup>2</sup>, L. Lashkova<sup>2</sup>, [gulnara.bulatova@bk.ru](mailto:gulnara.bulatova@bk.ru)

<sup>1</sup>Kazan (Volga) Federal University, Kazan, Russia

<sup>2</sup>State Unitary Enterprise TsNIIgeolnerud, Kazan, Russia

## EXPERIENCE OF APPLICATION OF NETWORK THEMATIC GEOINFORMATION DATABASES THROUGH THE INTERNET ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

A software package has been developed for working with thematic network geographic information databases via the Internet (intranet), which allows geologists to be provided with a simple and user-friendly tool for quickly extracting and viewing factual and cartographic information on mineral resources of non-metallic mineral resources.

*Keywords:* database, map, non-metallic minerals, Republic of Tatarstan.

В современных условиях одной из эффективных форм централизованного хранения и просмотра пространственных данных (географических, геологических, экономических и др.) является система, которая позволяет хранить в базе данных и использовать не только обширный массив информации о состоянии объектов, но и их географические пространственные параметры (геометрию объектов).

Одним из определяющих факторов выбора программного продукта, с которыми работают пользователи, является возможность работы с базами данных без дополнительных установок. Поэтому выбор был сделан на свободную систему управления базами данных PostgreSQL с расширением PostGIS.

В качестве картографического веб-сервиса используется QuantumGIS-сервер (QGIS). Он также является свободным программным продуктом с открытым исходным кодом. Удобство работы с ним обеспечивается возможностью подготовки картографических материалов в программе QGIS.

В качестве веб-сервера используется свободный веб-сервер Apache. Он позволяет подключать внешние модули для предоставления данных, использовать сервер QGIS и другие инструменты для передачи информации через сети интернет (интранет).

Структура организации хранения и использования пространственных данных «Неметаллы России» [1] приведена на рисунке 1:

I – блок подготовки данных предназначен для ввода, корректировки и формирования фактографических (ФактБД) и картографических баз данных (КартБД);

II – блок администрирования данных предназначен для формирования пространственных и фактографических баз данных PostgreSQL;

III – блок работы с базами данных предоставляет пользователю возможность получать оперативную справочную информацию в виде стандартных отчетных документов, паспортов объектов, карт и других справочных материалов с сервера по сети.

Информационную основу фактографического банка данных (ФБнД) составляют геологические данные об объектах неметаллических полезных ископаемых России, их ресурсные характеристики по годам, технологические и экономические данные по объектам недр, технические показатели объекта (объемы добычи, производства, номенклатура товарной продукции и т.д.), данные о лицензиях на право пользования объектами недр, характеристики конъюнктуры, потребления, импорта, экспорта видов минерального сырья.

Фактографический БнД представляет собой систему, которая позволяет осуществлять централизованное хранение и анализ геолого-экономической информации, доступ к ней пользователей, формирование и обеспечение данными текущих работ, выполняемых в институте, на основе накопленной информации.

Картографический банк данных (КБнД) представляет собой сложную систему хранения картографических материалов – это слои и проекты карт различного содержания и назначения (бланковые, общегеографические, геологические, геолого-экономические, прогнозно-минерагенические и прочие тематические карты).

Для создания единого информационного пространства при работе с фактографическими и картографическими базами данных создана программа просмотра ин-

формации по объектам недр совместно с картой (рис.2) [3].

Работа с базами данных (фактографическими, картографическими и документами к объектам недр) продемонстрирована на примере объектов минерально-сырьевой базы твердых нерудных полезных ископаемых Республики Татарстан (МСБ ТНПИ РТ).

МСБ ТНПИ РТ представлена преимущественно общераспространенными полезными ископаемыми (378 месторождений), к ним относятся строительные камни, песчано-гравийные материалы, строительные пески, кирпичные, керамзитовые глины, карбонатные породы для химической мелиорации кислых почв и др. [1]. Набор полезных ископаемых, имеющих федеральную значимость, в республике узок – это немногочисленные месторождения бентонитоподобных глин, а также единичные месторождения гипса, стекольных и формовочных песков.

При работе с картографическим банком данных, пользователю предоставляется возможность просмотра и выбора карт, как по масштабу, так и по региональному признаку; включение и отключение слоев или группы слоев; выбор объектов с карты и создание таблицы с выборкой. Пользователь имеет возможность получить первичную геологическую информацию о выбранном объекте недр.

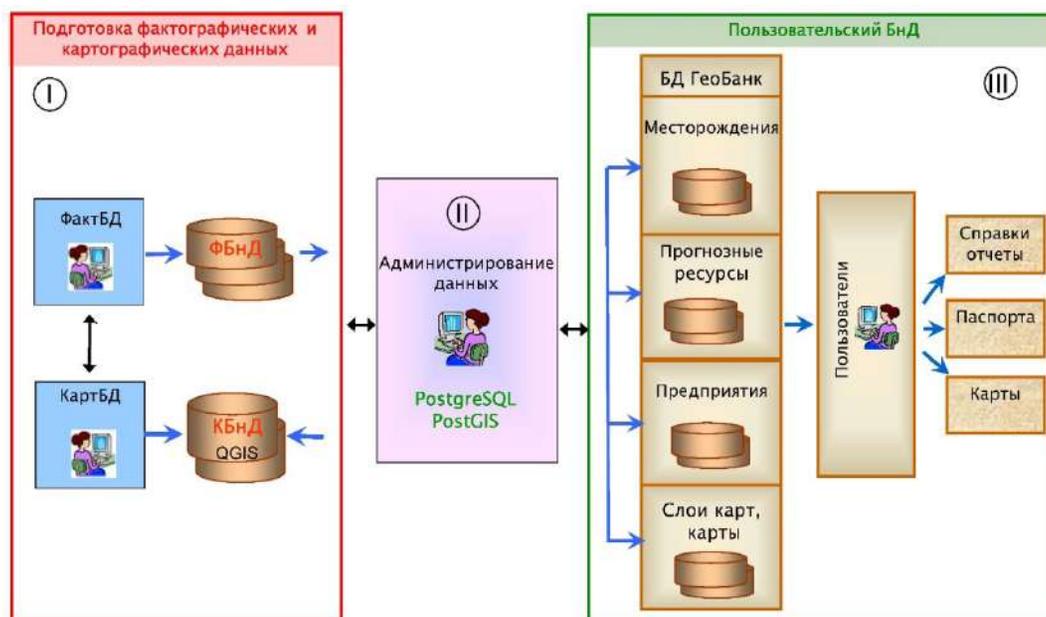


Рис. 1. Структура организации пространственных данных

Работа с фактографическими базами данных обеспечивается с помощью поисковой системы, которая позволяет выбирать объекты (месторождения, объекты прогнозных ресурсов, горнодобывающие

и горнообогатительные предприятия) непосредственно из базы данных как по виду сырья и местоположению, так и по отдельным объектам.

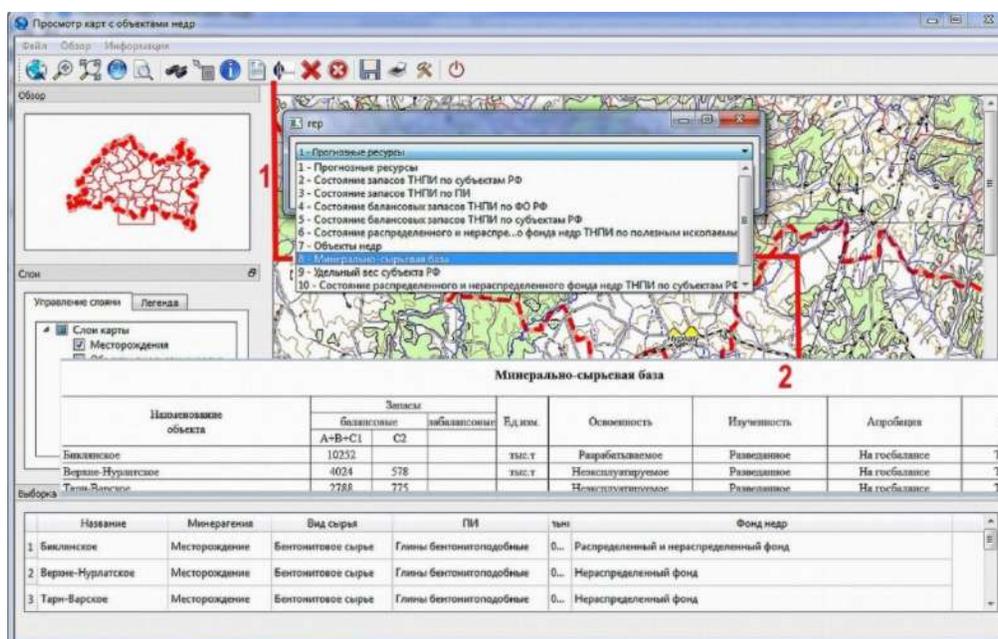


Рис. 2. Работа с фактографической базой данных (1 – выбор стандартного отчета, 2 – просмотр отчетного документа по выбранным объектам)

Система может оперативно создавать тематические выборки из баз данных. Пользователю, также предлагается список заранее разработанных запросов различного содержания – сведения о состоянии запасов полезных ископаемых по федеральным округам, по субъектам федерации на определенный период времени, по виду сырья и др. Формирование отчетного документа происходит автоматически в формате html, который сохраняется на машине пользователя или выводится на печать для дальнейшего анализа (рис. 2).

Использование стандартных отчетных документов существенно облегчает анализ данных, экономит время специалистов на составление и оформление таблиц.

В процессе работы с данной системой, пользователь имеет также возможность получить дополнительную информацию по выбранному объекту как в виде тек-

стового документа (паспорта, экспертного заключения), так и графического представления (карты, схемы, разрезов и т.д.). Данная информация хранится в виде отдельных PDF- файлов в специально организованной системе каталогов на файл-сервере ЦНИИгеолнеруд.

Таким образом, специализированный программный пакет для работы с сетевыми тематическими геоинформационными базами данных через интернет (интранет) позволяет обеспечить специалистов-геологов простым и удобным в пользовательском отношении инструментом для оперативного извлечения и просмотра фактографической и картографической информации по объектам нерудных полезных ископаемых. Кроме того, он также является эффективным средством контроля за достоверностью и актуальностью имеющейся информации в базах данных.

*Исследование выполнено по проекту «Прогнозная оценка социально-экономического развития сельских поселений Республики Татарстан» № 17-12-16005 при финансовой поддержке РФФИ и Республики Татарстан*

## Библиографический список

1. *Геолого-экономический мониторинг как система оперативной оценки состояния, воспроизводства и использования минерально-сырьевой базы твердых нерудных полезных ископаемых Республики Татарстан* // Геоситуационный анализ: мат. докл. Межд. науч.- практ. Конф / Г.Н. Булатова [и др.]. Казань: Изд. Дом «МедДок». 2007. С.175–179.
2. *ГИС «Неметаллы»: инструмент информационно-аналитического обеспечения геолого-разведочных работ и принятия управленческих решений* // Актуальные вопросы геодезии и геоинформационных систем: тез. Межд. н. – п. к. – 5 сентября / Р.Ф. Вафин [и др.]. Казань. 2012. С. 31–36.
3. *Сетевая реализация пространственно-привязанных данных на примере Республики Татарстан* / Д.А. Семанов [и др.] // Георесурсы. 2015. № 4(63). С. 63–66.

УДК.504.064.36

Б.А. Середовских, Н.А. Неволин, geoboris@mail.ru

*Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия*

### ИССЛЕДОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ДЕФОРМАЦИЙ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ РЕКИ КОНДЫ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ РАЗНОВРЕМЕННОГО КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

В статье рассмотрены результаты руслового картографического анализа русловых деформаций реки Конды, протекающей в пределах территории Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Проведен ретроспективный анализ изменения местоположения русла Конды за период с 1988 по 2019 годы методом наложения разновозрастных карт на современные космоснимки.

*Ключевые слова:* русловые процессы, деформации береговой линии, лоцманские карты, русловой картографический анализ.

B. Seredovskikh, N. Nevolin, geoboris@mail.ru

*Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia*

### RESEARCH OF CHANNEL PROCESSES AND DEFORMATIONS OF THE KONDA RIVER SHORELINE ON THE BASIS OF COMPARISON OF DIFFERENT-TIME CARTOGRAPHIC MATERIAL

The article is devoted the results of channel cartographic analysis of channel deformations of the Konda river (territory of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra). A retrospective analysis of changes in the location of the Konda riverbed for the period from 1988 to 2019 was performed using the method of superimposing different-age maps on modern satellite images.

*Keywords:* channel processes, coastline deformations, pilot maps, channel cartographic analysis.

В исследованиях береговой линии, русловых процессов водотоков необходимо использование не только полевых материалов, полученных непосредственно в период наблюдения, но и данных разновременного картографического материала для обеспечения возможности оценки и прогноза характеристик изучаемых процессов [6].

Общие сведения о речных руслах и условиях руслоформирования дают топографические карты разных масштабов, для судоходных рек – лоцманские карты (карты

русла или схемы судовых ходов; картами русла стали называться лоцманские карты с 80-х годов XX в., схемы судовых ходов – схематизированное изображение реки пониженной точности), составляемые и издаваемые регулярно через 5–20 лет. Лоцманские карты позволяют охарактеризовать очертания русла в плане, получить представление о глубинах, расположении отмелей, перекатов, плесовых лоцин, протяженности размываемых берегов. Сопоставление лоцманских карт за многолетний период (для большинства реки Конды – с 1927 г.), а также топографических карт,

аэроснимков и карт (планов) русла, полученных в ходе специальных русловых исследований, позволяют выявить общие тенденции развития горизонтальных русловых деформаций, уточнить параметры русла и определить их изменение по мере развития излучин, разветвлений, рукавов [2; 3].

В качестве инструмента исследования русловых процессов и деформаций береговой линии возможно применение руслового картографического анализа. Задача руслового картографического анализа – выявить режим многолетних и сезонных переформирований русел и на этой основе составить прогноз на различные временные интервалы [6].

Картографический русловой анализ включает:

- определение морфодинамического типа русла, выделение форм русла и форм руслового рельефа;

- сопоставление разновременных карт и планов, фиксирующих очертания русла на момент съемки, что позволяет установить смещение форм русла (излучин, островов), спрямление излучин, развитие, обмеление или отмирание рукавов, отступление берегов реки из-за их размыва;

- установление по лоцманским картам смещения побочней и их отторжение от берегов, образование и размыв осередков, изменение глубин на перекатах в зависимости от их расположения по отношению к формам русла.

В рамках реализации проекта по гранту РФФИ «Природные опасности Ханты-Мансийского автономного округа-Югры в условиях изменяющегося климата: комплексное и рациональное природопользование» на основании государственного контракта 18-45-860001 нами проводились исследования деформации береговой линии реки Конды с целью комплексной оценки состояния защиты населенных пунктов Ханты-Мансийского автономного округа-Югры от разрушения [4].

На первом этапе русловой картографический анализ проводился по данным дистанционного зондирования и топографическим картам масштаба от 1:100000 до 1:200000 методом выделения на исследуемом участке морфодинамических типов русла в соответствии с классификациями, разработанными в МГУ и ГГИ [6]. В результате были выделены морфологически однородные участки с преобладающим типом русла, на которых измерялись ширина

русла, параметры излучин и разветвлений, определялись распространение, ширина и высота поймы. Результаты данных картометрических исследований представлены на фрагменте таблицы 1.

На следующем этапе руслового картографического анализа использовался картометрический метод, который заключался в изменении местоположения русла и береговой линии реки Конды. Для этого производилось наложение разновременных карт на современные спутниковые снимки в программе Google Earth или SAS.Planet.Release.160606 [5]. В качестве исходного картографического материала использовалась навигационная (лоцманская) карта реки Конда (от 760 км до устья), выпущенная Иртышским бассейновым управлением пути Главводпути Министерства речного флота РСФСР в 1988 году. Листы карты составлены в проекции Гаусса в масштабе 1:10 000 [1].

Создание накладываемого изображения выполнялось по следующей технологии [5].

- 1) В окне 3D-просмотра программы SAS.Planet.Release.160606 выбирался участок, на который нужно наложить изображение причем, угол просмотра карты должен максимально соответствовать углу просмотра накладываемого изображения.

- 2) Размер изображения приводился в соответствие с масштабом карты.

- 3) Задавалась соответствующая степень прозрачности, наложение должно быть настолько прозрачным, чтобы можно было видеть и детали самого изображения, и русловые процессы под ним.

- 4) С помощью линейных знаков фиксировалось местоположение русла реки: «старого» (на лоцманской карте 1988 года) – пунктиром, современного на космоснимке – сплошной линией (рис. 1).

Анализ наложенных изображений показал существенные изменения русла и береговой линии реки Конды за последние 30 лет. На некоторых участках (в частности, в районе устья реки Кимы, впадающей в р. Конду ниже городского поселения Кондинское) отступление русла составило около 10 метров (рис. 1А). Также выявлено существенное изменение местоположения русла Конды в районе поселка Выкатной, при этом происходит размыв и деформация береговой линии непосредственно на территории самого населенного пункта (рис. 1Б).

Таблица 1. Распространение морфодинамических типов русел по длине реки и характеристика условий их формирования

Участок реки (интервал, расстояние от устья)	Тип русла и его разновидность	Длина $l$ , км	Ширина $B$ , км		Соотношение $B_n / B_p$	Уклон $I$ , ‰
			русла $B_p$	поймы $B_n$		
Устье Конды – пос. Выкатной 0–10 км	Русловая многорукавность (островной тип). Русло относительно прямолинейное. Пойма параллельно-гривистая, правосторонняя, ширина 8 – 9 км	10	200–270 м	8–9 км	33–40	0,072
Кондинский Сор 11–40 км	Приустьевое озеровидное расширение русла (сор). Параметры непостоянны, в период половодья ширина достигает 8–9 км. В межень представляет собой сеть узких и извилистых протоков, разделенных песчаными отмелями и островками. Пойма правосторонняя, ширина 8 – 9 км.	5	1,0–1,8 км	8–9 км	5–8	0,05
Устье р. Чилимка – протока Алешкинская 40–44 км	Пойменная многорукавность (разветвленное русло) Пойма ложбинно-островная, двусторонняя асимметричная, левая – 2–2,5 км, правая – 3 – 3,5 км.	10	от 100 м на перекатах до 250 м на плесах	левая – 2–2,5 км, правая – 3–3,5 км	14–25	0,06

Таким образом, использование картографического метода наложения разновозрастных карт дает нам возможность увидеть тенденцию и направленность русловых деформаций, а натурные инструментальные измерения позволяют

фиксировать эти изменения и рассчитать скорости размыва береговой линии, что важно для прогнозирования и принятия мер по защите населенных пунктов от негативного воздействия.



А. Участок р. Конды в районе городского поселения Кондинское

Б. Участок р. Конды в районе пос. Выкатной

Рис. 1. Картохема изменения русла р. Конда за период с 1988 г. по 2019 г.

Статья выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-45-860001.

### Библиографический список

1. Ботавин Д.В. Картографирование русел равнинных рек на основе базы пространственных данных // Материалы международной конференции ИнтерКарто/ИнтерГИС-15: Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт (Пермь, Гент, 29 июня – 1 июля). 2009. С.367–372.
2. Река Конда от устья р. Ах (Евра) до впадения в р. Иртыш. Лоцманская карта 1927 г. [Карты] / НКПС. Упр. внутренних водных путей Зап. Сибири / под ред. С. Красков. Омск, 1929. 30 л.
3. Река Конда от 760 км до устья. Лоцманская карта 1988 г. [Карты] // Главводпуть. Иртышское бассейновое управление пути / под ред. В.Н. Бебяков. Омск, 1988. 110 л.
4. Середовских Б.А. Использование картографического метода при обследовании населенных пунктов в бассейне реки Конды, подверженных негативному воздействию вод // Научные труды магистрантов и аспирантов. Выпуск 16 / под ред. Д.А. Погонышев. Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет. 2019. С.299–305.
5. Технология наложения старой карты на спутниковый снимок в Google Earth [Электронный ресурс]. URL: <http://urklad.ru/karty/nalozhenie-staroj-karty-na-sputnikovyj-snimok-v-google-earth/> (дата обращения 26.01.2020 г.).
6. Чалов Р.С. Руслловые процессы (русловедение): учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2016. 565 с.

Г.И. Скрипка<sup>1</sup>, О.В. Ивлиева<sup>1,2</sup>, Л.А. Беспалова<sup>1,2</sup>, Л.В. Сердюк<sup>1</sup>, ivlieva.o@mail.ru

<sup>1</sup>Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНИВХЦ), г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

## ОПЫТ ОЦЕНКИ ГУСТОТЫ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ОСНОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

В статье рассматриваются интенсивность эрозионного расчленения территории водоохранной зоны Цимлянского водохранилища. Выявлена зависимость коэффициента эрозионной расчлененности рельефа от геологического строения берегов, уточнена схема типов берегов.

*Ключевые слова:* водоохранная зона, типы берегов, беспилотные летательные аппараты.

G. Violin<sup>1</sup>, O. Ivlieva<sup>1,2</sup>, L. Bepalova<sup>1,2</sup>, L. Serdyuk<sup>1</sup>, ivlieva.o@mail.ru

<sup>1</sup>Russian Information, Analytical and Scientific Research Water Management Center (FSBI RosINIVHTS), Rostov-on-Don, Russia

<sup>2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

## EXPERIENCE OF ASSESSING THE DENSITY OF THE EROSION NETWORK OF THE WATER-PROTECTED ZONE OF THE TSIMLYAN RESERVOIR ON THE BASIS OF REMOTE SURVEY MATERIALS

The article discusses the intensity of erosive partitioning of the territory of the water protection zone of the Tsimlyansk reservoir. The dependence of the coefficient of erosive dissection of the relief on the geological structure of the coasts is revealed, the scheme of coast types is refined.

*Keywords:* water protection zone, coast types, unmanned aerial vehicles.

Характер и интенсивность эрозионного расчленения территории водоохранной зоны (ВЗ) водного объекта является важным параметром, в значительной степени определяющим возможности её хозяйственного освоения. В автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) расчленённость рельефа ВЗ характеризуется одним параметром – густота эрозионной сети (К), который определяется по формуле  $K=L/P$ , где L – длина эрозионной сети на площади P.

В АИС ГМВО оценка густоты эрозионной сети производится для участков, границы которых обычно совпадают с административными границами, что не позволяет выявить зависимость её величины от природных условий и хозяйственного использования водоохранной зоны. Кроме того, на картографических материалах, прилагаемых к проектам водоохранных зон, отражены далеко не все элементы эрозионной сети.

С целью устранения отмеченных недостатков ФГБУ РосИНИВХЦ на базе (основе) данных, полученных при выполнении обследований ВЗ Цимлянского водохрани-

лища, разработана методика использования для оценки густоты эрозионной сети материалов дистанционного зондирования, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и ГИС-технологий.

Аэросъёмка осуществлялась с БЛА Phantom 4 Pro/Advanced. По её результатам с использованием программного обеспечения Agisoft PhotoScan Professional построены цифровые модели рельефа (ЦМР), позволяющие определить тальвеги всех видов эрозионных форм, развитых в ВЗ Цимлянского водохранилища, вплоть до эрозионных борозд и рытвин. Методика использования данных инструментов для определения величины К была изложена ранее [1; 2]. Для выявления зависимости значения К от природных условий водоохранной зоны предложен способ получения информации об её величине для небольших участков, сопоставимых с шириной долин ручьёв и балок. С этой целью водоохранная зона была разделена на сегменты, протяжённостью до 1 км, с определением значения К для каждого из них.

В данной статье приводятся результаты использования данной методики на

примере оценки величина  $K$  для водоохранной зоны Цимлянского водохранилища в границах Суrowsикинского муниципального района Волгоградской области, характеризующейся разнообразием типов берегов, геологического строения, принадлежностью к разнообразным морфоструктурным элементам рельефа.

На территории ВЗ Суrowsикинского района выделяют [3] низкие ровные берега затопления и аккумулятивные берега, приуроченные как правило к пойме и надпойменным террасам р.Дон и берега абразионно-обвального и абразионно-оползневой типов, развитые в пределах Доно-Донецкой возвышенности и склонов Восточно-Донской гряды. Выделенные типы берегов различаются так же особенностями литологического состава слагающих их толщ.

Основную роль в формировании эрозионной сети на территории ВЗ в Суrowsикинском районе играют овраги и балки. Более мелкие (борозды, рытвины) и более крупные (долины ручьёв и рек) эрозионные формы имеют значительно меньшее распространение. На долю первых приходится около 11%, а вторых чуть больше 2% общей протяжённости тальвегов.

Анализ полученных материалов показывает, что для территории ВЗ Суrowsикинского района характерно крайне неравномерное распределение элементов эрозионной сети. При среднем для района значении  $K$  6,86 км/км<sup>2</sup>, на отдельных участках оно может достигать 27 – 28 и более км/км<sup>2</sup>. В то же время выделяются обширные пространства с полным отсутствием любых типов линейных эрозионных форм. Наименьшей плотностью эрозионной сети отличается водоохранная зона Чирского залива, особенно его левобережная часть. Максимальные значения  $K$  характерны для участка от х. Рычковский до границы с Калачёвским муниципальным районом.

Таблица 1 . Величина  $K$  для участков ВЗ Суrowsикинского района с различным типом берегов

Тип берега	Площадь участка (S)	Суммарная длина тальвегов на территории сегмента(L)	Густота эрозионной сети (K)
Абразионно-обвальный	11,82	155,42	13,11
Абразионно-оползневой	1,3	23,94	18,62
Аккумулятивный	12,11	24,62	2,16
Низкий ровный берег затопления	5,99	11,72	2,98

С целью выявления зависимости густоты эрозионной сети от особенностей строения рассматриваемой территории выполнено определение величина  $K$  для участков, относящихся к разным типам берегов и отличающихся по инженерно-геологическому строению. Результаты расчётов для разных типов берегов приведены в таблице 1.

Анализ полученных данных показывает, что низкие значения густоты эрозионной сети (в среднем от 2,16 до 2,98 км/км<sup>2</sup>) характерны для низких ровных берегов затопления и берегов аккумулятивного типа, которые, согласно схеме инженерно-геологического районирования, приурочены к пойме и первой надпойменной террасе р. Дон. Береговые обрывы как правило сложены песками, переслаивающимися с суглинками.

На участках развития берегов абразионных типов величина  $K$  увеличивается в 3 и более раз не опускаясь ниже 10,7 км/км<sup>2</sup>. В геологических разрезах абразионных берегов на территории Суrowsикинского района обнажаются суглинки, а также широко развиты более устойчивые к эрозионному разрушению породы: алевролиты, известковистые глины, песчаники и отсутствуют пески. В морфоструктурном отношении они относятся к элементам, поверхность которых занимает гораздо более высокое гипсометрическое положений по сравнению с поймой и первой надпойменной террасой. Особенно густая эрозионная сеть (среднее значение  $K$  18,6км/км<sup>2</sup>) характерна для берегов абразионно-оползневой типа. Из элементов инженерно-геологического районирования максимальными значениями  $K$  (среднее значение – 17,4 км/км<sup>2</sup>) выделяется Восточно-Донская гряда, сложенная наиболее устойчивыми к эрозии породами и имеющая максимальные для района абсолютные отметки поверхности рельефа.

В некоторых случаях предлагаемая методика оценки величины густоты эрозионной сети позволяет уточнить положение границ типов берегов. Так выполненные нами расчеты показали, что для сегментов, расположенных на восточном фланге низкого берега затопления, выделенного предыдущими исследователями на левобережье Чирского залива, значение  $K$  составляет 20,8 – 28,2 км/км<sup>2</sup>, что не характерно для данного типа берегов. Детальный анализ фотоматериалов, полученных с помощью БЛА, показал, что берега на данном участке относятся к абразионно-обвальному типу.

Предложенная методика оценки густоты эрозионной сети позволяет осуществлять анализ изменения её величины в зависимости от факторов природного с разной степенью детальности. Так, например, с целью выявления различий между типами берегов определена средняя величина густоты эрозионной сети для всех участков берегов абразионно-обвального типа в Суровикинском районе. Но данный тип берегов характерен для двух макроструктурных элементов рельефа и единиц инженерно-геологического районирования: Доно-Донецкой возвышенности и Восточно-Донской гряды. Результаты расчётов  $K$ , выполненных отдельно для указанных единиц инженерно-геологического районирования, показывают, что

хотя густота эрозионной сети для данного типа берега во всех случаях остаётся высокой (более 11 км/км<sup>2</sup>) она заметно отличается в пределах участков, относящихся к разным морфоструктурным элементам и имеющих разное геологическое строение. Для Восточно-Донской гряды она составляет 16,76 км/км<sup>2</sup>, а для Доно-Донецкой возвышенности 11,38 км/км<sup>2</sup>.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о наличии в границах Суровикинского района Цимлянского водохранилища значимой корреляции величины густоты эрозионной сети с типами берегов водохранилища и особенностями их инженерно-геологического строения.

Кроме того, выделяя участки водоохранной зоны с величиной  $K$  в заданном диапазоне значений мы получаем инструмент для ранжирования побережья водного объекта по возможности его хозяйственного освоения (например, дорожного строительства), потенциальной опасности активизации склоновых ЭГП, условиям, способствующим эрозионному разрушению суши и выносу материала в акваторию водохранилища. Соответственно у органов управления появляются дополнительные критерии определения необходимости, и последовательности принятия мер по обеспечению экологической безопасности на территории суши, прилегающей к водному объекту.

### Библиографический список

1. *Методика* оценки густоты эрозионной сети водоохранных зон водохранилищ с использованием съёмок с беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и ГИС-технологий (на примере Цимлянского водохранилища) / Г.И. Скрипка [и др.] // *Естественные и технические науки*. 2018. №5. С.162–168.
2. *Мониторинг* опасных экзогенных геологических процессов водоохранной зоны Цимлянского Водоохранилища с использованием беспилотных летательных аппаратов / О.В. Ивлиева [и др.] // *Водные ресурсы России: современное состояние и управление: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции в 2-х томах* (г. Сочи, 08-14 октября 2018 г.). Новочеркасск: Лик. 2018. Т. I. С. 313–317.
3. *Схема* улучшения технического состояния и благоустройства Цимлянского водохранилища и его прибрежной полосы. / Южгипроводхоз. Ростов-на-Дону, 1982.

## **ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ И СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ**

В статье описан программный комплекс, предназначенный для обработки и анализа индексов растительности на основе спутниковых данных. Программа разработана в свободно распространяемой среде Octave. Программный комплекс обладает широким функционалом и позволяет анализировать данные без привлечения стороннего программного обеспечения.

*Ключевые слова:* ДЗЗ, NDVI, MODIS, AVHRR, Octave.

## **INFORMATION AND TECHNICAL SUPPORT FOR EVALUATING THE DYNAMICS AND STATE OF FOREST VEGETATION**

The article describes a software package designed for processing and analysis of vegetation indices based on satellite data. The program is developed in a free Octave environment. The software complex has wide functionality and allows you to analyze data without involving third-party software.

*Keywords:* remote sensing, NDVI, MODIS, AVHRR, Octave.

Усовершенствование старых и создание новых методов обработки данных ДЗЗ являются актуальными задачами для получения дополнительной информации о состоянии лесного покрова, а также прогнозирования его изменения [1]. Использование различных вегетационных индексов (ВИ) является одним из распространенных подходов оценки состояния растительности по данным ДЗЗ. Наиболее часто применяемым ВИ является нормализованный относительный индекс растительности (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), основанный на отражении и поглощении солнечного излучения растительностью в ближней инфракрасной и красной частях спектра. Для определения динамики и прогнозирования изменения растительного покрова широкое применение нашло использование временных серий NDVI.

Программный продукт, разработанный авторами, предназначен для обработки и анализа временных рядов спектральных данных, полученных по спутниковым снимкам высокого временного разрешения, например спектрорадиометров MODIS и AVHRR [2; 3]. Язык программирования – Octave, совместимый с языком высокого уровня MATLAB, предназначенным для численных расчетов. Исходный код для Octave распространяется бесплатно в соответствии с условиями GNU General Public License.

Предварительная обработка данных заключается в создании пространственных и временных композитов снимков, что позволяет снизить влияние атмосферы на их качество; формировании временных рядов данных и восстановлении его отсутствующих значений. В случае обнаружения некорректных значений проводится замена его средним значением за весь период. В случае если отсутствуют два подряд значения (т.е. нет данных в двух композитах), то данный пиксель в дальнейшей обработке не участвует. Также реализована возможность фильтрации данных по флагам качества, создания ограниченных по размеру изображений (тайлов) для ускорения загрузки и обработки данных, экспорта полученных тайлов или отдельных временных рядов.

Временные ряды могут быть представлены в виде суммы трех компонентов: сезонная компонента, тренд и шум. Так как наибольший интерес с точки зрения анализа долгосрочных рядов представляет трендовая составляющая, необходимо из ряда удалить сезонную компоненту и шум, а также исключить влияние открытой почвы и снега, в случае анализа изменений растительного покрова [2]. Удаление сезонной компоненты временных рядов возможно как с использованием фильтров, например, скользящего среднего, так и с помощью использования быстрого преобразования Фурье. Получен-

ные после сезонной декомпозиции данные используются для построения линейной регрессионной модели и определения углового коэффициента (тренда), а также его статистической значимости с помощью различных параметрических и непараметрических тестов. Опционально имеется возможность использование фильтра Савицкого-Голея для удаления шумов и выбросов.

Также в программном продукте реализованы методы определения фенологических параметров (начало и конец вегетационного периода, максимум вегетации и др.), которые представляют как отдельный интерес для исследований, так и необходимы для ограничения временного ряда только вегетационным периодом. Первый метод основан на предположении, что фенологические даты соответствуют датам достижения годового хода определенных пороговых значений. Второй метод заключается в аппроксимации сезонного хода ВИ различными аналитическими функциями, например, двойной логистической функцией, асимметричной гауссовой функцией и др. Третий метод основан на использовании метеопараметров, в первую очередь

температуры. Предполагается, что начало и конец вегетации соответствуют датам стабильного перехода суточной температуры определенных значений.

Реализована возможность расчета среднего, минимального и максимального значения, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации, коэффициента корреляции и других характеристик временного ряда. Вычисление может проводиться как с временными рядами обработанных данных, так и со сторонними данными: метеорологические параметры, индексы годовых колец, индексы крупномасштабных атмосферных мод и др. Для правильного расчета коэффициента корреляции ряд сторонних данных сводится к тому же временному разрешению, что и ряд спутниковых данных.

Конечным результатом обработки являются различные тематические карты, которые нашли широкое применение при анализе растительности. В дальнейшем планируется модифицировать программный продукт, расширить функциональные возможности, реализовать на других языках программирования.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-55-91047 и в рамках государственного задания БИП СО РАН.*

### Библиографический список

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений. М.: Техносфера, 2010. 582 с.
2. Fensholt R., Proud S.R. Evaluation of Earth observation based global long term vegetation trends – Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series Remote Sensing of Environment. 2011. № 119. P. 131–147.
3. Huete A., Justice C., Van Leeuwen W. Modis vegetation index (MOD13): Algorithm theoretical basis document, Version 3. USGS Land Process Distributed Active Archive Center, 1999. 129 p.

УДК 631.459.22

А.Г. Супруненко, А.А. Аюржанаев, Б.В. Содномов, Б.З. Цыдыпов, [suprunenko@binm.ru](mailto:suprunenko@binm.ru)  
 Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

## ОЦЕНКА СМЫВА ПОЧВЫ В ОЗ. ГУСИНОЕ С ОТВАЛОВ ГОРНЫХ ПОРОД ХОЛБОЛЬДЖИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Проведена оценка эрозионной опасности с отвалов горных пород угольного разреза на основе данных по составу почв и дождевым осадкам за последние 50 лет. Исследуемый участок расположен на территории угольного разреза «Холбольджинский» (Республика Бурятия) в непосредственной близости к оз. Гусиное. Для расчетов объемов смытого грунта в оз. Гусиное использовалось универсальное уравнение потери почв RUSLE. Выявлены эрозионный потенциал осадков по модели реанализа NOAA, морфометрические показатели рельефа (высота, угол и экспозиция склона) при помощи ЦМР SRTM. Установлено, что с площади расчетного участка в оз. Гусиное ежегодно смывается до 219 т загрязненных грунтов.

*Ключевые слова:* озеро Гусиное, Холбольджинский угольный разрез, эрозия, универсальное уравнение потери почв.

A. Suprunenko, A. Ayurzhanayev, B. Sodnomov, B. Tsydyppov, [suprunenko@binm.ru](mailto:suprunenko@binm.ru)  
 Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russia

## ASSESSMENT OF SOIL LOSSES IN LAKE GUSINOE FROM MINE ROCK'S DUMPS OF THE KHOLBOLZHINSKY COAL MINE (REPUBLIC OF BURYATIA)

Erosion hazard assessment from mine rock dumps of the coal mine was carried out on the basis of data of soil composition and rainfall over the past 30 years. The investigated area is located on the territory of the Kholboldzhinsky coal mine (Republic of Buryatia) in close proximity to Lake Goose. The universal equation of soil losses RUSLE was used to calculate the volume of washed soil in the lake Gusinoe. The erosion potential of rainfall was of revealed according to the NOAA reanalysis model, morphometric relief parameters (height, slope and aspect) using the DEM SRTM. It is established that from the area of the key site in the lake Gusinoe annually washed up to 219 tons of contaminated soils.

*Keywords:* Lake Gusinoe, Kholboldzhinsky coal mine, erosion, universal soil loss equation.

Целью данной работы является выявление объемов смытого грунта в оз. Гусиное с отвалов горных пород угольного разреза «Холбольджинский». Исследования проведены в пределах угольного разреза, где на бортах карьеров и склонах отвалов наблюдаются многочисленные эрозионные формы разных размеров. Исследуемый участок эрозионных образований и сноса почв расположен с восточной стороны оз. Гусиное на территории угольного разреза «Холбольджинский».

Для определения поверхностного смы-

ва почвы существует несколько десятков разнообразных математических уравнений эрозии почв. К наиболее известному можно отнести разработанное американскими учеными универсальное уравнение потерь почвы USLE (Universal Soil Loss Equation). Это уравнение в дальнейшем было усовершенствовано российскими учеными и получило название RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) [1; 2].

Универсальное уравнение потери почв выглядит так:

$$Q = 0,224Ч$$

Годы	Период	Значения (min-max)	Среднее значение (ед.)
1970-1980	увлажненный	1,41-18,44	10,18
1980-1990	увлажненный	1,41-24,08	10,85
1990-2000	увлажненный	1,54-20,25	7,10
2000-2010	засушливый	0,46-10,12	3,96
2010-2019	засушливый	1,02-7,01	4,31

Выявлены морфометрические показатели рельефа (высота, угол и экспозиция склона) при помощи ЦМР SRTM [4]. В общем виде влияние рельефа на процессы эрозии

на водосборе может быть представлено в виде фактора рельефа, численно равного  $LS = L \cdot 0,4^C$

Участок	Уклон, угловые градусы	Длина, м	LS	Потери почвы, т/га/год
1	10	340	0,854	5,6
2	15	260	1,377	9,0
3	11	255	0,816	5,3

С учетом полученных параметров рассчитан смыв оголенного техноэлювия с отвалов горных пород Холбольджинского угольного разреза в оз. Гусиное по универсальному уравнению потери почв: с территории расчетного участка ежегодно смывается до 219 т загрязненных песков.

Важно отметить, что при стоке воды и смыве почвы со склонов отчуждаются остатки от угольной добычи, оказывающие огромное негативное влияние на экологическое состояние территории, особенно на качество воды в озере. В дальнейшем планируется применение ГИС-технологий

для экологического анализа нарушенных территорий. Использование геоинформационных систем позволит значительно сократить время на проведение оценки, а также получать пространственную информацию об исследуемом объекте и количественно оценивать распределение данных в пределах рабочих участков. Полученные результаты исследования позволяют спрогнозировать риск развития экологически неблагоприятных процессов в целях проведения современных и комплексных работ по защите и рекультивации земель.

*Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН и при поддержке гранта РФФИ № 19-55-53026.*

#### Библиографический список

1. Кузнецов М.С., Глазунов Г.П. Эрозия и охрана почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1996. 335 с.
2. Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Изд-во МГУ, 1993. 200 с.
3. О количественных параметрах загрязнения урбанизированных территорий в контексте процессов опустынивания (на примере г. Закаменск, Бурятия) / А.И. Куликов, Б.З. Цыдыпов, Г.Г. Хамнаева, Б.В. Содномов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 12. С. 75–82.
4. Farr T.G., Kobrick M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data // EOS Trans. AGU. 2000. Vol. 81. P. 583–585.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

В статье рассматривается опыт применения методов машинного обучения (градиентного бустинга) для детектирования облачности на примере территории Пермского края по снимкам высокого пространственного разрешения в видимом диапазоне (Sentinel-2). Проведено сравнения с существующими алгоритмами выявления облачности (Fmask), а также с базовой маской облачности, которая предоставляется вместе со снимками Sentinel-2.

*Ключевые слова:* космические снимки, машинное обучение, Sentinel-2.

A. Tarasov, andrew.tarasov1993@gmail.com

Perm State University, Perm, Russia

## EXPERIENCE OF APPLICATION MACHINE LEARNING BASED METHODS FOR CLOUD DETECTION

The article discusses the experience of using machine learning methods (gradient boosting) for cloud detection on the example of the Perm Region using high spatial resolution images in the visible range (Sentinel-2). Comparisons are made with existing cloud detection algorithms (Fmask), as well as with the basic cloud mask provided with Sentinel-2 images.

*Keywords:* satellite images, machine learning, Sentinel-2.

**Введение.** На сегодняшний день появляются все новые источники данных дистанционного зондирования Земли, которые обладают высоким пространственным и временным разрешением. Это позволяет увеличить точность и оперативность мониторинга различных природных и антропогенных процессов. Для решения этих задач необходимо использовать автоматические методы анализа данных. Для успешного решения этой задачи необходимо создавать безоблачные покрытия территории, что делает задачу выявления облачности актуальной. С появлением новых методов обработки данных дистанционного зондирования Земли, возникает вопрос их применимости для решения этих задач. На сегодняшний день существует множество алгоритмов машинного обучения, начиная от традиционных (SVM, KNN, RandomForest) заканчивая современными (сверточные нейронные сети, полносвязные сети, рекуррентные и др.) [2].

**Территория исследования.** В качестве тестового участка была выбрана часть территории Гайнского района Пермского края. Для анализа был выбран один снимок съемочной системы Sentinel-2 за 14 июня 2019 года. Выбор снимка был обусловлен наличием на нем разных типов облаков кучевых и полупрозрачных перистых. Возможности детектирования дым-

ки в данном исследовании не рассматривались.

**Методы.** В работе сравнивалась работа двух алгоритмов: известного алгоритма Fmask [9] и алгоритма, разработанного Европейским космическим агентством (ESA) на основе градиентного бустинга (LightGBM), обученного для детектирования облачности (далее ESABoosting) [6].

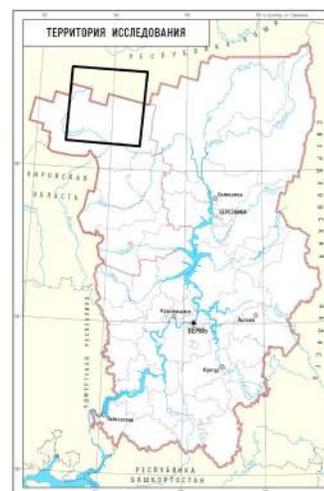


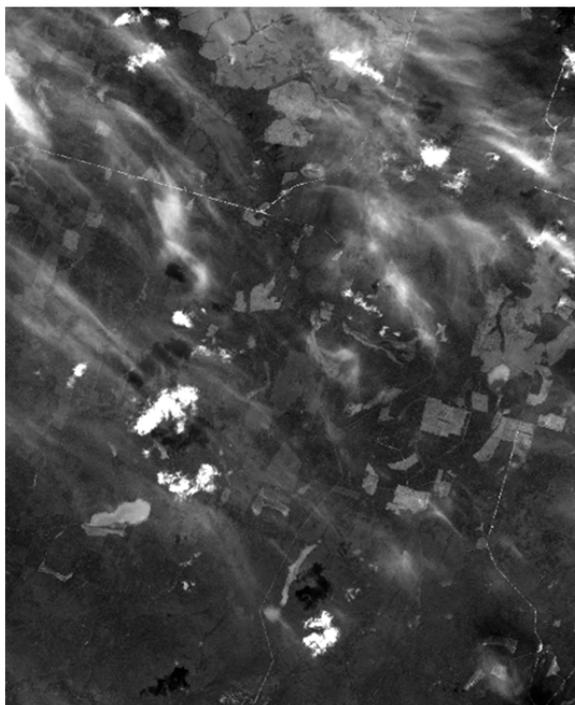
Рис. 1. Территория исследования

Fmask – алгоритм детектирования облачности, который изначально был разработан для съемочной системы Landsat, а в

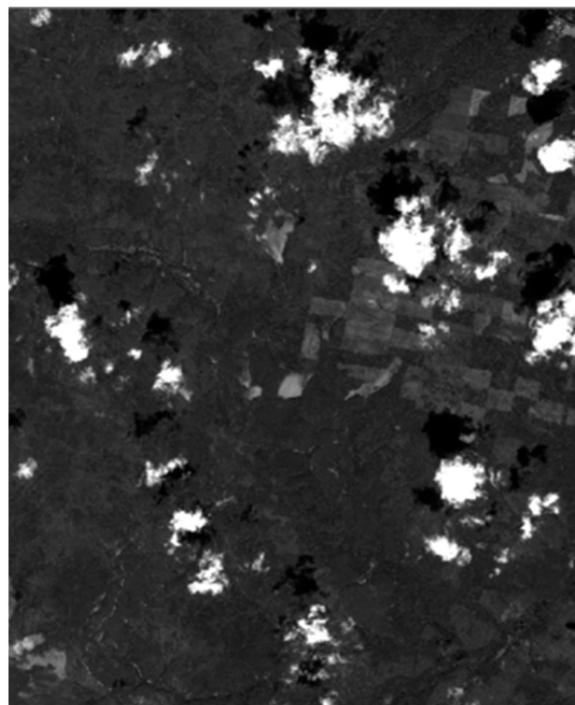
последней версии адаптирован для Sentinel-2 [7; 9]. В основе метода – дерево принятия решений, которое учитывает совместно яркости в различных диапазонах спектра. Последовательно отбираются значения на основе нескольких установленных правил. В результате выделяются несколько классов – облачность, тень, вода, снег и безоблачная территория. Второй метод разработан Европейским космическим агентством (ESA). В основе – алгоритм градиентного бустинга (LightGBM [4]), который относится к ансамблевым методам машинного обучения. Эта группа методов позволяет обучать несколько

моделей, для итогового предсказания. В градиентном бустинге каждая новая модель учится на ошибках предыдущих, тем самым делая общее предсказание точнее с каждой итерацией. Алгоритм LightXBM также отличается скоростью работы (в два раза быстрее своего аналога XGBoost).

Обе модели имеются в открытом доступе [1; 8]. Параметры работы алгоритмов подбирались итеративно экспертным путем. Результаты работы алгоритмов были переведены в векторный вид и загружены в программу ArcMap для дальнейшей оценки точности.



а



б

Рис. 2. Фрагмент снимка с двумя типами облачности (а) частичная, (б) сплошная

**Сравнение методов.** В качестве контрольного результаты экспертным путем была создана маска облачности на исследуемой территории. Были выделены объекты двух типов – сплошная облачность и полупрозрачная облачность. Критерием разделения была видимость поверхности Земли и наличие тени от объекта. Дополнительно был проведен анализ стандартной маски облачности, которая доступна при загрузке снимка Sentinel-2 (далее – Sentinel-2 standard mask). Она рассчитывается на основе соотношения яркости в голубом, и средних инфракрасных каналах. Объекты в маске облачности также делятся на два класса – непрозрачная об-

лачность (opaque) и перистые (cirrus) [3].

Сначала проведено сравнение выделенной облачности без разделения типов. В качестве показателей использовались общая точность, точность производителя (producer's accuracy) и точность пользователя (user accuracy) [5].

По всем критериям лучший результата показал алгоритм Fmask. Высокая точность стандартной маски Sentinel-2 обусловлена низким числом ложно выявленных объектов, при этом их контуры правильно выделенных совпадают с эталонами. Далее рассчитывались значения точности для отдельных классов облачности.

Таблица 1. Точность классификации облачности

Критерий	Fmask	EsaBoosting	Sentinel-2 standart mask
Общая точность, %	<b>44,5</b>	30,1	33,4
Точность пользователя, %	<b>46,7</b>	32,9	33,4
Точность производителя, %	91,0	78,0	<b>99,7</b>

Для второго типа лучший результат показал алгоритм Fmask по двум критериям. Однако, точность производителя оказалось выше у стандартной маски Sentinel-2, которая чуть точнее выделяет площади.

Таблица 2. Точность классификации полупрозрачной облачности

Критерий	Fmask	EsaBoosting	Sentinel-2 standart mask
Общая точность, %	43,8	32,4	37,2
Точность пользователя, %	<b>45,2</b>	33,2	37,3
Точность производителя, %	93,2	92,6	<b>96,5</b>

Таблица 3. Точность классификации сплошной облачности

Критерий	Fmask	EsaBoosting	Sentinel-2 standart mask
Доля правильно выделенных объектов, %	<b>96,8</b>	50,0	2,0
Доля ложно выделенных объектов, %	3,0	0,0	0,0
Точность пользователя, %	<b>95,1</b>	63,9	5,0
Точность производителя, %	45,8	23	<b>95,0</b>

Для второго типа облачности были подсчитаны дополнительные критерии. Для каждого экспертно выделенного полигона, подсчитывалось количество детектированных алгоритмами объектов, которые пересекают этот полигон. Если хотя бы один объект попадает на полигон, считалось что алгоритм правильно выделил объект. Количество правильно выделенных объектов нормировалось по общему числу экспертно выделенных полигонов. Стоит отметить почти двукратное преимущество алгоритма Fmask над остальными методами. Этот алгоритм выделяет и небольшие по площади участки сплошной облачности.

**Результаты и обсуждение.** В работе проведено сравнение методов выявления облачности на снимках высокого пространственного разрешения с помощью традиционных и современных методов обработки данных дистанционного зондирования Земли. Алгоритм Fmask показал точность выше 90% для отдельных видов облачности. Стандартная маска облачности Sentinel-2 имеет высокую точность производителя по двум типам облачности, но в ней пропущено очень много объектов класса сплошной облачности. Метод ESABosting лучше выявляет объекты сплошной облачности по сравнению со стандартной маской Sentinel-2. В целом, лучший результат показал алгоритм Fmask.

Низкая эффективность методов машинного обучения для решения данной задачи говорит о необходимости усложнения моделей и использования других архитектур для улучшения точности выявления облачности на снимках высокого пространственного разрешения. Более сложная архитектура в данном исследовании не использовалась, в связи с недоступностью вычислительных ресурсов.

### Библиографический список

1. Алгоритм FMask, реализация для Python [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pythonfmask.org/en/latest/> (дата обращения: 21.01.2020).
2. Camps-Valls, G. Machine Learning in Remote Sensing Data Processing // Proceedings of the 2009 IEEE Signal Processing Society Workshop. United States, 2009.
3. Heenkenda M., Joyce K., Maier S., Bartolo R. Mangrove Species Identification: Comparing WorldView-2 with Aerial Photographs // Remote Sensing. 2012. Vol. (6). P. 6064–6088.
4. Improving Cloud Detection with Machine Learning [Электронный ресурс]. URL: <https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d-7cf13> (дата обращения: 21.01.2020).
5. Level-1C Cloud masks Sentinel-2 MSI Technical guide. URL <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/level-1c/cloud-masks> (дата обращения: 21.01.2020).
6. LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree / Guolin K. [and others] // Proceeding of 31st Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017). California, United States. 2017. P. 3149–3157.
7. Qiu S., Zhu Z., Binbin H. Fmask 4.0: Improved cloud and cloud shadow detection in Landsats 4–8 and Sentinel-2 imagery // Remote Sensing of Environment. 2019. Vol (231).
8. Sentinel cloud detector. URL: <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector> (дата обращения: 21.01.2020).
9. Zhe Z., Curtis E.W. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2012. Vol (118). P. 83–94.

УДК 904. 910.27

Б.М. Усманов<sup>1</sup>, И.И. Гайнуллин<sup>2</sup>, Д.Р. Шарипова<sup>1</sup>, busmanof@kpfu.ru<sup>1</sup>Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия<sup>2</sup>АНО «НИЦ «Страна городов», г. Казань, Россия

## МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА РАЗРУШЕНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ НА БЕРЕГУ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В статье представлены исследования, проведенные в прибрежной зоне Куйбышевского водохранилища, в месте расположения средневекового городища периода Волжской Булгарии, Республика Татарстан. Проведена оценка скорости переформирования береговой линии, выявлены наиболее динамичные участки. В работе использованы архивные аэрофотоснимки, космоснимки высокого разрешения и результаты полевых исследований.

*Ключевые слова:* Куйбышевское водохранилище, переработка берега, средневековое городище, цифровая система анализа береговой линии.

B. Usmanov<sup>1</sup>, I. Gainullin<sup>2</sup>, D. Sharipova<sup>1</sup>, busmanof@kpfu.ru<sup>1</sup>Kazan Federal University, Kazan, Russia<sup>2</sup>Research Centre "Country of Cities", Kazan, Russia

## MONITORING AND ASSESSING OF ARCHAEOLOGICAL SITES DESTRUCTION ON THE KUIBYSHEV RESERVOIR SHORE

The paper presents the research undertaken in the coastal area of Kuibyshev Reservoir in the location of the Volga Bulgaria medieval fortified settlement, Republic of Tatarstan, Russia. The aim of the research is to assess the erosion rate of the shoreline, to identify the most dynamic parts. Soviet aerial images, high-resolution satellite images and field surveys were used for this study.

*Keywords:* Kuibyshev reservoir, shore erosion, medieval hillfort, digital shoreline analysis system.

**Введение.** Куйбышевское водохранилище является крупнейшим водохранилищем в системе Волго-Камского каскада. Среди искусственных водохранилищ России почти по всем показателям оно отличается самыми высокими значениями переформирования прибрежной зоны. Именно поэтому необходимо осуществлять постоянный сбор информации о состоянии и тенденциях развития опасных экзогенных процессов, представляющих опасность для разрушения берегов. Одним из последствий развития таких процессов является разрушение археологических памятников. Актуальными также остаются вопросы, связанные с изъятием больших площадей из землепользования, несоответствие границ кадастрового деления и реального положения береговой линии.

**Район исследования.** Район исследования расположен в Спасском муниципальном районе Республики Татарстан, на левом берегу Куйбышевского водохранилища, в 1,5 км к северо-западу от с. Измери [5]. Ранее здесь находился уникальный памятник, относящийся к Булгарской культуре (X-XIII вв.), укрепленное поселение «Девичий городок». В результате за-

полнения Куйбышевского водохранилища памятник был полностью разрушен.

Комплексные исследования береговой линии у с. Измери с целью получения оперативных данных о современном состоянии археологических памятников в зонах интенсивных берегоформирующих процессов ведутся с 2012 г. Длина наблюдательного участка в районе разрушенного городища «Девичий городок» и селища «Девичий городок I» – 600 м. Береговой уступ на изучаемом участке абразионно-обвального типа, сложен толщей лессовидных суглинков глыбистой структуры, с многочисленными вертикальными трещинами, возникающими в процессе набухания и усадки суглинков. Берег сильно изрезан, имеет характерный клифовый уступ крутизной до 90° и высотой до 7–9 м [2].

**Материалы и методика.** Для оценки интенсивности переформирования берега использовались разные источники информации. Положение береговой линии в 1958 и 1980 годы получено по данным архивной аэрофотосъемки (спецфонд библиотеки КФУ); в 2012, 2013 и 2014 гг. – при помощи

тахеометра Trimble M3. В 2015 году съемка берегового уступа проводилась с использованием ГНСС-приемника Trimble Geoexplorer Geo XR. Начиная с 2017 года полевые исследования включают съемку квадрокоптером DJI Phantom 4.

Для количественной оценки смещения береговой линии использовалась цифровая система анализа береговой линии (DSAS) как расширение-модуль программного обеспечения ArcGIS. Основное применение DSAS заключается в использовании полилинейных слоев в качестве представления конкретного объекта береговой линии в определенный момент времени. На основе сопоставления позиций береговой линии составляется ряд статистических показателей ее изменений: изменение положения береговой линии (NSM), огибающие изменения береговой линии (SCE), скорость конечной точки (EPR), скорость линейной регрессии (LRR) и взвешенная скорость линейной регрессии (WLR) [3]. Данный модуль эффективен для упрощения анализа изменения положения береговой линии [4].

Была создана база геоданных в программе ArcGIS, в которую были внесены слои береговых линий (shorelines) в виде .shp-файлов. Затем на береговой части строилась базовая линия (baseline), на ос-

нове которой были выбраны следующие параметры построения трансект-разрезов (transects): расстояние между трансектами – 10 м, их длина – 380 м. В автоматическом режиме были построены трансекты, в пределах крайних положений береговой линии (1958 г. и 2017 г.)

По полученным трансектам в автоматическом режиме были рассчитаны такие показатели береговых линий, как линейная скорость переработки (м/год), смещение береговой линии (м) и следующие статистические характеристики: коэффициенты линейной регрессии скорости, взвешенной линейной регрессии скорости, их коэффициенты детерминации, стандартные ошибки и доверительные интервалы. Также получена таблица данных о местах пересечения трансект с береговой линией за каждый год.

#### Анализ полученных результатов.

Для проведения исследований по данным с модуля DSAS были построены карты-схемы смещения береговой линии по 3 периодам (рис. 1): в 1 периоде 22 года, во 2 – 32 года, а в 3 – 5 лет. Линейные скорости в мысовой части в каждом периоде в среднем остаются постоянно высокими, а в береговой части исследуемого участка они увеличиваются с каждым периодом. Исходя из этого следует, что интенсивность переформирования берега растет.

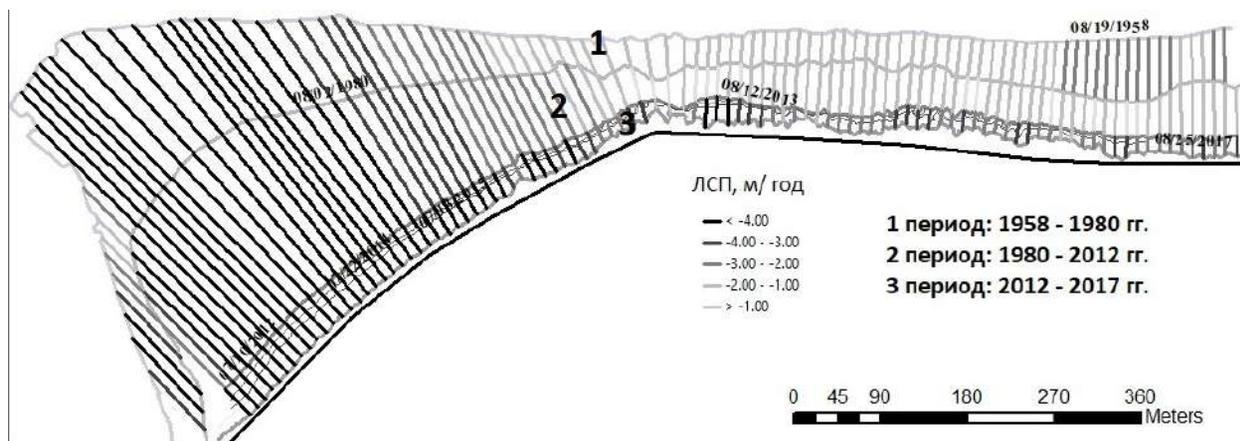


Рис. 1. Карта-схема смещения береговой линии

За весь период исследования максимальные значения переработки наблюдаются в мысовой части (рис. 2) – смещение береговой линии 347,42 м, а средняя скорость – 5,9 м/год, минимальные между мысовой частью и береговой – смещение 7,66 м, а скорость – 1,2 м/год.

По статистическим данным из модуля DSAS была построена таблица средних скоростей переработки по периодам вре-

мени, по стадиям развития переработки и по участкам (мыс и берег). Для оценки интенсивности переработки берега на исследуемом участке использовалась типизация берегов по степени опасности развития процесса их переработки, предложенная А.Л. Рагозиным [1]. Как можно увидеть (табл. 1) интенсивность переработки довольно сильно возросла за 5 лет и из опасной стала весьма опасной.

На публичной кадастровой карте видно, что граница кадастрового деления не совпадает с границей берега по космоснимку. За последние несколько лет часть берега разрушилась (по границе

линии можно предположить, что данные кадастровой карты последний раз обновлялись в 2015–2016 гг.), их землепользования изъято около 4 га земель сельскохозяйственного назначения (рис. 3).

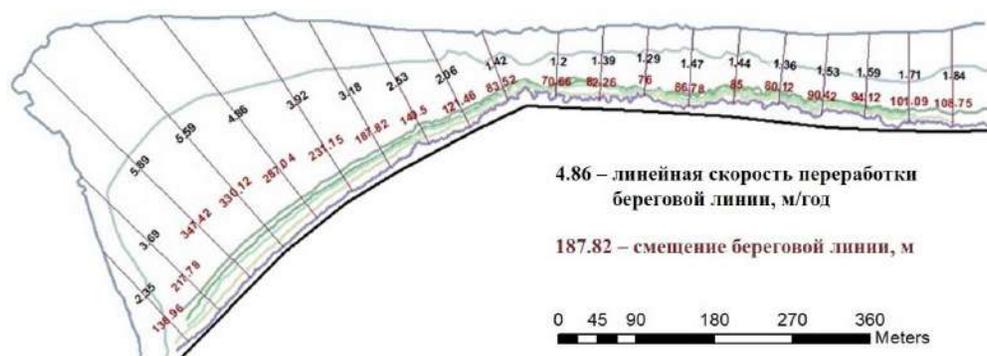


Рис. 2. Карта смещений и скоростей переработки береговых линий по трансектам с шагом в 50 м за весь исследуемый период времени

Таблица 1. Значения средних линейных скоростей по участкам и стадиям развития, оцененных по степени опасности

Период	Лет в периоде	Участок	Средняя скорость переработки берегов, м/год	Средняя скорость переработки по отдельным участкам, м/год	
				1 стадия	2 стадия
1958-1980	22	мыс	2.7	3.7	–
		берег		1.7	–
1980-2012	32	мыс	2.3	–	3.5
		берег		–	1.2
2012-2017	5	мыс	3.8	–	5
		берег		–	2.8
1958-2017	59	–	2.6	–	

	Весьма опасный		Умеренно опасный
	Опасный		Малоопасный

**Заключение.** Переформирование берегов водохранилищ является сложным процессом, который зависит от многих природных и антропогенных факторов. Поскольку высокая интенсивность их переработки приводит к негативным последствиям, необходимо осуществлять постоянный сбор информации о состоянии и тенденциях развития экзогенных процессов, представляющих опасность для разрушения берегов. Проблема пе-

реформирования берегов водохранилищ актуальна и для кадастровой деятельности. Необходим постоянный сбор данных и мониторинг для корректировки границ. Для того, чтобы отслеживать постоянные изменения, и чтобы сведения на кадастровых картах были актуальными, следует осваивать программы для автоматических расчетов данных и своевременно вносить полученные результаты на карты.



Рис. 3. Исследуемый участок на публичной кадастровой карте

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-09-40114 Древности. «Страна городов» – комплексное изучение городищ Волжской Булгарии современными методами.*

### Библиографический список

1. Рагозин А.Л., Бурова В.Н. Региональный анализ абразионной опасности и риска на морях и водохранилищах России // Современные проблемы изучения берегов. 1995. С. 45–46.
2. Gaynullin I., Sitdikov A., Usmanov B. Destructive abrasion processes study in archaeological sites placement (Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs, Russia) // International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences & Arts SGEM. Bulgaria. 2014. P. 339–346.
3. Himmelstoss E.A. DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide / Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change. 2009.
4. Oyedotun T.D.T. Shoreline Geometry: DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis // British Society for Geomorphology. Geomorphological Techniques. 2014. Chap. 3, Sec. 2.2.
5. Usmanov B., Nicu I.C., Gainullin I. Monitoring and assessing the destruction of archaeological sites from Kuibyshev reservoir coastline, Tatarstan Republic, Russian Federation. A case study // Journal of Coastal Conservation. 2018. Vol. 22, Is.2. P. 417–429.

УДК 528.7; 551.32

И.В. Флоринский<sup>1</sup>, Т.Н. Скрыпицына<sup>2</sup>, Д.П. Бляхарский<sup>3</sup>,  
О.Т. Ишалина<sup>3</sup>, А.С. Киселева<sup>2</sup>, iflor@mail.ru<sup>1</sup>Институт математических проблем биологии РАН – филиал Института прикладной математики им.  
М.В. Келдыша РАН, г. Пущино, Россия<sup>2</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва, Россия<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

## ЦИФРОВОЙ МИКРОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕДНИКОВ ПО ДАННЫМ БЕСПИЛОТНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В статье кратко рассматривается вновь начатый российско-китайский проект, целью которого является разработка теории и методики цифрового моделирования и анализа микро рельефа поверхности ледников по данным беспилотной аэрофотосъемки сверхвысокого разрешения. Аргументируется актуальность исследования, приводится обзор основных работ по применению цифрового моделирования рельефа и геоморфометрии в гляциологии. Описаны цели и задачи, выполняемые российской стороной, а также используемые материалы и методы.

*Ключевые слова:* моделирование рельефа, геоморфометрия, фотограмметрия, беспилотная аэрофотосъемка, ледник.

I. Florinsky<sup>1</sup>, T. Skrypitsyna<sup>2</sup>, D. Bliakharskii<sup>3</sup>,  
O. Ishalina<sup>3</sup>, A. Kiseleva<sup>2</sup>, iflor@mail.ru<sup>1</sup>Institute of Mathematical Problems of Biology, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of  
Sciences, Pushchino, Russia<sup>2</sup>Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia<sup>3</sup>St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia

## DIGITAL MICROTOPOGRAPHY OF GLACIERS FROM UNMANNED AERIAL SURVEY DATA: STATEMENT OF THE PROBLEM

We briefly describe a newly launched Russian-Chinese project aimed at developing a theory and methodology for digital modeling and analysis of the glacier microtopography using very high resolution data from unmanned aerial surveys. We argue the relevance of the study and review key publications on the application of digital terrain modeling and geomorphometry in glaciology. Finally, we discuss the goals and tasks performed by the Russian side, as well as materials and methods used in the study.

*Keywords:* terrain modeling, geomorphometry, photogrammetry, unmanned aerial survey, glacier.

**Актуальность.** Области оледенения являются важными объектами междисциплинарных исследований. Это связано с рядом политических, экономических и научных факторов.

Во-первых, одной из важнейших задач государства является обеспечение развития территорий Арктики – зоны стратегических интересов России. Не менее важной геополитической задачей является обеспечение присутствия Российской Федерации в Антарктическом регионе. Серьезным политическим инструментом становится доступ к источникам пресной воды, которыми являются ледники.

Во-вторых, области оледенения оказывают существенное влияние на изменения климата на глобальном и региональном уровне. С другой стороны, динамика ледников является косвенным индикатором региональных климатических изменений.

В-третьих, ледники находятся в непрерывном движении, что приводит к постоянным изменениям геометрии их поверхностей, что проявляется на разных масштабных уровнях (от макро- до микро- рельефа). Эти изменения могут быть как медленными, так и катастрофическими. В частности, на поверхности ледников образуются трещины, которые представляют опасность для исследователей. В этой связи актуально безопасное изучение, оперативный мониторинг и компьютерное моделирование ледников.

В последней четверти прошлого века произошло изменение подходов наблюдения за ледниками: от полевых работ к дистанционному зондированию. Для этих целей все чаще применяется беспилотная аэрофотосъемка (БАФС). Одним из перспективных подходов является изучение ледников с использованием их цифровых

моделей рельефа (ЦМР) сантиметрового и дециметрового разрешения, полученных по материалам БАФС.

**Обзор.** Применение цифрового моделирования рельефа в гляциологии началось в 1990-е гг. И.А. Суетова и С.В. Чистов [6] создали по картографическим материалам мелкомасштабные ЦМР фрагмента Антарктиды. В. Etzelmüller и J.L. Sollid [13] ввели понятие ледниковой геоморфометрии и составили по аэроснимкам серию ЦМР Шпицбергена. В дальнейшем в гляциологии использовались средне- и мелкомасштабные ЦМР отдельных ледников, их фрагментов, а также всей Антарктиды и Гренландии. Такие ЦМР (разрешение: метры, десятки и сотни метров) создаются по топокартам, материалам аэро- и космических съемок, наземных топографических и лидарных съемок и используются для оценки и изучения динамики ледников, их объемов и пр. [2; 3; 5; 8; 11; 12; 19; 20; 25; 26]. Низкое разрешение таких ЦМР накладывает ограничения на возможности изучения ледниковых процессов.

БАФС ледников впервые применили А. Hodson et al. [22]. Этот подход и получаемые с его помощью ЦМР сантиметрового и дециметрового разрешения используются для детального анализа динамики ледников, скорости их движения, изучения ледниковой дренажной сети и др. [4; 7; 9; 23; 24; 27; 28; 31; 32]. Разрешение таких ЦМР позволяет проводить исследования ледниковых процессов на уровне микрорельефа.

Нерешенной проблемой БАФС ледников является сложность или невозможность выполнения условий плано-высотного обоснования (отсутствие наземных опорных точек). Это связано как с ограничениями по технике безопасности (ледниковые трещины), так и непрерывным движением ледниковой поверхности. Решением этой проблемы могло бы стать применение подхода прямой геопривязки [30].

За последние 20 лет в развитии теории и методов моделирования рельефа и геоморфометрии произошел существенный прогресс [14; 15; 21; 29; 33]. Однако эти достижения до сих пор не нашли должного применения ни при использовании материалов БАФС, ни в гляциологических исследованиях.

**Цель и задачи.** В этом году нами начаты работы по российско-китайскому проекту, призванному, в определенной степени, решить указанные проблемы. Це-

лю проекта, который продолжает наши недавние работы [1; 10; 16–18], является разработка теории и методики цифрового моделирования и анализа микрорельефа поверхности ледников по материалам БАФС сверхвысокого разрешения. Российской стороной решаются, в частности, следующие задачи:

1. Разработка теории моделирования микрорельефа ледников по данным БАФС.
2. Разработка вычислительного геоморфометрического метода выявления ледниковых трещин по данным БАФС (с применением подхода прямой геопривязки).
3. Разработка геоморфометрического метода определения горизонтальной и вертикальной скорости течения ледников по разновременным материалам БАФС.
4. Проведение трехмерного моделирования поверхности ледника по данным БАФС.
5. Апробация разработанных теории и методов для анализа эволюции микрорельефа поверхности ледников.

#### Материалы и методы

В качестве исходных данных используются разновременные цифровые аэрофотоснимки сверхвысокого разрешения (5 см), которые были получены с помощью БАФС ледников в районе холмов Ларсеманн (Восточная Антарктида), в частности, в ходе 62-й Российской антарктической экспедиции [10].

Для обработки этих материалов нами применяются программные комплексы Agisoft PhotoScan Professional 1.3.2, Agisoft Metashape Professional 1.5 и Photomod 6.0. Для реализации подхода прямой геопривязки при обработке измерений бортовых ГНСС-приемников и наземных геодезических измерений нами используются программы Pinnacle 1.0, Trimble Business Center 2.0 и Magnet Office Tools 2.8. Для геоморфометрического моделирования и визуализации результатов нами применяются программы LandLord 4.0 [14], MatLab R2008b, QGIS 3.00 и MapInfo Pro 16.0.1.

**Заключение.** Научная значимость результатов проекта будет состоять в развитии теории цифрового моделирования рельефа и геоморфометрии в контексте гляциологических исследований. Практическая значимость результатов проекта будет состоять в возможности их использования в условиях оледенения Арктики, Антарктики и высокогорья.

### Библиографический список

1. Бляхарский Д.П., Волгушева Н.Э., Казаков Э.Э. Мониторинг ледников в сезон абляции с использованием беспилотных аэрофотосъёмочных комплексов на примере ледников Потанина и Александры, горный массив Табын-Богдо-Ола (Монголия) // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2019. Т. 63. С. 168–179.
2. Книжников Ю.Ф., Золотарев Е.А., Кравцова В.И. и др. Дистанционный мониторинг горных ледников: изменения технологии за последние 50 лет (на примере Эльбруса) // Материалы гляциологических исследований. 2000. № 89. С. 58–64.
3. Погорелов А.В. Исследование структуры снегозапасов в горном бассейне и их оценка с применением цифровых моделей рельефа // Материалы гляциологических исследований. 1999. Вып. 86. С. 160–164.
4. Погорелов А.В., Бойко Е.С., Петраков Д.А. и др. Динамика ледника Фишт (Западный Кавказ) в 1909–2015 гг. // Лёд и снег. 2017. Т. 57. С. 498–506.
5. Семакова Э.Р., Семаков Д.Г. О возможности использования методов дистанционного зондирования Земли при расчётах гляциологических показателей для горных районов Узбекистана // Лёд и снег. 2017. Т. 57. С. 185–199.
6. Суетова И.А., Чистов С.В. Исследования динамики льда Антарктиды с помощью ЭВМ-моделирования // Геодезия и картография. 1993. № 3. С. 45–50.
7. Bash E.A., Moorman B.J., Gunther A. Detecting short-term surface melt on an Arctic glacier using UAV surveys // Remote Sensing. 2018. Vol. 10. P. 1547.
8. Bhambri R., Bolch T. Glacier mapping: A review with special reference to the Indian Himalayas // Progress in Physical Geography. 2009. Vol. 33. P. 672–704.
9. Bhardwaj A., Sam L., Akanksha, et al. UAVs as remote sensing platform in glaciology: Present applications and future prospects // Remote Sensing of Environment. 2016. Vol. 175. P. 196–204.
10. Bliakharskii D.P., Florinsky I.V., Skrypitsyna T.N. Modelling glacier topography in Antarctica using unmanned aerial survey: Assessment of opportunities // International Journal of Remote Sensing. 2019. Vol. 40. P. 2517–2541.
11. DiMarzio J.P., Brenner A.C., Fricker H.A., et al. Digital elevation models of the Antarctic and Greenland ice sheets from ICESat // American Geophysical Union, Fall Meeting 2005. № C51B-0276.
12. Etzelmüller B. On the quantification of surface changes using grid-based digital elevation models (DEMs) // Transactions in GIS. 2000. Vol. 4. P. 129–143.
13. Etzelmüller B., Sollid J.L. Glacier geomorphometry – An approach for analysing long-term glacier surface changes using grid-based digital elevation models // Annals of Glaciology. 1997. Vol. 24. P. 135–141.
14. Florinsky I.V. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. 2<sup>nd</sup> ed. Amsterdam: Academic Press, 2016. 486 p.
15. Florinsky I.V. An illustrated introduction to general geomorphometry // Progress in Physical Geography. 2017. Vol. 41. P. 723–752.
16. Florinsky I.V., Bliakharskii D.P. Detection of crevasses by geomorphometric treatment of data from unmanned aerial surveys // Remote Sensing Letters. 2019. Vol. 10. P. 323–332.
17. Florinsky I.V., Bliakharskii D.P. The 2017 catastrophic subsidence in the Dălk Glacier, East Antarctica: Unmanned aerial survey and terrain modelling // Remote Sensing Letters. 2019. Vol. 10. P. 333–342.
18. Florinsky I.V., Kurkov V.M., Bliakharskii D.P. Geomorphometry from unmanned aerial surveys // Transactions in GIS. 2018. Vol. 22. P. 58–81.
19. Fox A.J., Cziferszky A. Unlocking the time-capsule of historic aerial photography to measure changes in Antarctic Peninsula glaciers // Photogrammetric Record. 2008. Vol. 23. P. 51–68.
20. Fretwell P., Pritchard H.D., Vaughan D.G., et al. Bedmap2: Improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica // Cryosphere. 2013. Vol. 7. P. 375–393.
21. Hengl T., Reuter H.I. (Eds.) Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Amsterdam: Elsevier, 2009. 796 p.

22. Hodson A., Anesio A. M., Ng F., et al. A glacier respires: Quantifying the distribution and respiration CO<sub>2</sub> flux of cryoconite across an entire Arctic supraglacial ecosystem // *Journal of Geophysical Research*. 2007. Vol. 112. № G04S36.
23. Immerzeel W.W., Kraaijenbrink P.D.A., Shea J.M., et al. High-resolution monitoring of Himalayan glacier dynamics using unmanned aerial vehicles // *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 150. P. 93–103.
24. Jouvét G., Weidmann Y., Seguinot J., et al. Initiation of a major calving event on the Bowdoin Glacier captured by UAV photogrammetry // *Cryosphere*. 2017. Vol. 11. P. 911–921.
25. Kääb A. Glacier volume changes using ASTER satellite stereo and ICESat GLAS laser altimetry. A test study on Edgeøya, Eastern Svalbard // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2008. Vol. 46. P. 2823–2830.
26. Racoviteanu A.E., Manley W.F., Arnaud Y., et al. Evaluating digital elevation models for glaciologic applications: An example from Nevado Coropuna, Peruvian Andes // *Global and Planetary Change*. 2007. Vol. 59. P. 110–125.
27. Rippin D.M., Pomfret A., King N. High resolution mapping of supra-glacial drainage pathways reveals link between micro-channel drainage density, surface roughness and surface reflectance // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2015. Vol. 40. P. 1279–1290.
28. Ryan J.C., Hubbard A.L., Box J.E., et al. UAV photogrammetry and structure from motion to assess calving dynamics at Store Glacier, a large outlet draining the Greenland ice sheet // *Cryosphere*. 2015. Vol. 9. P. 1–11.
29. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // *Geoderma*. 2002. Vol. 107. P. 1–32.
30. Turner D., Lucieer A., Wallace L. Direct georeferencing of ultrahigh-resolution UAV imagery // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2014. Vol. 52. P. 2738–2745.
31. Whitehead K., Moorman B.J., Hugenholtz C.H. Lowcost, on-demand aerial photogrammetry for glaciological measurement // *Cryosphere*. 2013. Vol. 7. P. 1879–1884.
32. Wigmore O., Mark B. Monitoring tropical debris-covered glacier dynamics from high-resolution unmanned aerial vehicle photogrammetry, Cordillera Blanca, Peru // *Cryosphere*. 2017. Vol. 11. P. 2463–2480.
33. Wilson J.P., Gallant J.C. (Eds.). *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: Wiley, 2000. 479 p.

УДК 528.854.2

В.В. Хлюстова, leraletto18@gmail.com

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЮЖНОЙ ЧАСТИ О. КУНАШИР

В работе изучена возможность применения данных дистанционного зондирования, включая тепловые инфракрасные снимки, для исследования ландшафтов. Используются данные съемок в различных диапазонах длин волн Landsat-8/OLI, TIRS. Рассмотрена комплексная территория с разнообразными ландшафтами, включающая участки смешанного и хвойного леса, озера, дюны.

*Ключевые слова:* ландшафтное дешифрирование, многовременной синтез, Landsat, температура земной поверхности, тепловая съемка.

V. Khliustova, leraletto18@gmail.com

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

## REMOTE SENSING DATA USING FOR ANALYSIS OF SOIL AND PLANT COVER OF THE KUNASHIR ISLAND SOUTH PART

The paper considers the possibility of using the data of remote sensing including thermal infrared satellite images in studying landscapes. For determination and classification landscapes properties Landsat-8/OLI, TIRS data were used. The complex territory with various landscapes is considered: there are mixed coniferous and coniferous forest, lake, dunes.

*Keywords:* landscape interpretation, multi-temporal imagery, Landsat, Earth surface temperature, thermal infrared images.

**Введение.** Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) активно применяются во многих областях науки, в том числе в почвоведении и геоботанике. Разные виды земной поверхности характеризуются различными излучательными и отражательными свойствами, зависящими от ее электромагнитных характеристик. Особенности излучения и отражения электромагнитных волн связаны с состоянием растительности, ее видовым составом, проективным покрытием, типом почв, влажностью почв, особенностями рельефа, типом застройки и т. п. [3].

Разные свойства поверхности находят отражение на снимках всего используемого диапазона длин волн от видимого до длинноволнового радиоизлучения [2]. Применяя методы индикационного дешифрирования, возможно с высокой точностью установить границы ландшафта, фитоценоза, почвенного ареала.

**Постановка проблемы.** В настоящее время доступно множество снимков, сделанных в различных частях электромагнитного спектра. Для успешного использования данных ДЗЗ, важно комбинирование различных типов снимков. Изображения, полученные при съемке в оптическом диапазоне длин волн, широко применяются

при изучении почвенно-растительного покрова различных территорий.

Однако мало распространено использование данных тепловой съемки в инфракрасной (ИК) части спектра. Такие сведения, как температура объектов земной поверхности, распределение влаги в верхнем горизонте почв и растительности, могут оказать значительное влияние на качество дешифрирования ландшафтов [2]. Это делает актуальной разработку методик эффективного извлечения из мультиспектральных снимков информации, полезной для мониторинга состояния окружающей среды, в т. ч. растительного и почвенного покровов.

### **Материалы и методы исследования.**

Целью работы является изучение возможности применения различных данных ДЗЗ и их комбинирования с данными полевых обследований для изучения почвенно-растительного покрова. Рассмотрена территория южной части о. Кунашир – самого южного острова Большой Курильской гряды. Данный участок выбран в связи с разнообразием ландшафтов, а также наличием данных о растительности и почвах, собранных в ходе полевых экспедиций.

Курильские острова характеризуются ярко выраженным муссонным клима-

том, что обуславливает частые туманы и плотную облачность [4]. Самым холодным месяцем здесь является февраль с температурой  $-6,0^{\circ}\text{C}$ . Среднемесячная температура воздуха самого теплого месяца – августа, составляет  $+15,8^{\circ}\text{C}$ . Однако абсолютные максимумы температуры воздуха могут достигать  $+30^{\circ}\text{C}$  и более, при этом поверхность почвы на открытых участках может подниматься до  $+50^{\circ}\text{C}$  [6].

Значительная часть исследуемой территории покрыта лесами, сформированными темнохвойными и широколиственными видами. Характерны заросли кедрового стланика (*Pinus pumila*), покрывающие вершины и склоны некоторых сопок. На возвышенностях повсеместно развиты буроземы и буроземы темные (по «Классификации и диагностике почв России», 2004). На открытых участках развиты разнотравные луговые сообщества, приуроченные к хорошо дренированным почвам – стратоземам. В понижениях морских террас, на низких берегах озер и водотоков встречается болотная растительность на псаммоземах. На открытых возвышенностях и в лесах повсеместно распространен бамбучник курильский (*Sasa kurilensis*). Почвенный покров территорий с разреженной растительностью представлен молодыми слаборазвитыми почвами – литоземами.

Общая неоднородность почвенного покрова связана современным вулканизмом, периодическими пеплопадами. Характер почвообразующих пород и рельефа обуславливает склонность почв к эрозии [5].

В связи с данными особенностями климата, почвенного и растительного покровов подобраны данные ДЗЗ для дальнейшего исследования. В качестве основного материала для работы выбраны снимки Landsat-8/OLI, TIRS. Преимуществом данной системы является наличие теплового ИК канала. Кроме теплового канала, для синтеза использованы каналы видимого, ближнего и среднего ИК диапазонов.

**Методика обработки снимков.** На изучаемой территории встречаются хвойные и широколиственные леса, луга, заросли кедрового стланика, морской пляж, озера, открытый грунт, строения – объекты, обладающие разными температурными характеристиками. Для исследуемого участка интересно рассмотрение тепловой структуры местности – пространственного расположения участков местности, характеризующихся разными типами интенсивности теплового излучения и его

сезонной динамики [3].

Первым этапом работы является подбор безоблачных снимков за разные сезоны года. Были выбраны три снимка Landsat-8 для весеннего периода начала вегетации, летнего пика развития растительности и осеннего периода после листопада. Данные за зимний период не учитывались в связи с наличием снегового покрова. Изображения были корегистрированы, после чего получено синтезированный многовременной снимок на основе теплового ИК канала с длиной волны 10,6–11,2 мкм.

На втором этапе проводится кластеризация полученного синтезированного снимка методом K-среднее. Корректировка полученной схемы дешифрирования и идентификация ландшафтов по выделенным классам проводилась с привлечением космических снимков высокого пространственного разрешения, картографическим материалам [1] и данных полевых обследований.

Также была проведена аналогичная кластеризация на основе теплового канала одного снимка за 3 августа 2019 года для установления тепловой структуры местности в период проведения полевых изысканий. Следующим этапом был расчет физических температур объектов земной поверхности в границах выделенных классов.

Далее были синтезированы четыре многозональных изображения на основе снимка за 3 августа 2019 года с использованием таких каналов съемки Landsat-8 как красный (R; 0,450–0,5015 мкм), зеленый (G; 0,525–0,600 мкм), синий (B; 0,630–0,680 мкм), ближний ИК (NIR; 0,845–0,885 мкм), средний ИК (SWIR; 1,560–1,660 мкм), тепловой ИК (TIR; 10,6–11,2 мкм). С целью выявления целесообразности применения теплового канала снимки составлены в следующих комбинациях: R-G-B, R-G-NIR, R-NIR-SWIR, R-NIR-TIR. На следующем этапе проведено разбиение на десять классов методом K-среднее с одинаковыми параметрами кластеризации. Затем проводилось сравнение качества кластеризации, а именно выделения некоторых ландшафтов.

**Результаты.** В ходе исследования тепловой структуры участка по многовременному снимку было выделено девять классов. Данный вариант выбран из множества результатов кластеризации, проводившейся многократно с разными параметрами. К критериям качества кла-

стеризации относятся низкая дробность контуров и возможность подтверждения их выделения дополнительной информацией [3].

Схема дешифрирования представлена на рисунке 1. Выделены следующие закономерности. Отчетливо дешифрируются наиболее нагретые участки открытого грунта. Участками с самыми низкими температурами поверхности являются побережья водоемов, с которых активно идет испарение влаги. Аналогичное влияние оказывает транспирация у расти-

тельности. Соответственно, чем больше биомасса растительности, тем ниже температура за счет испарения влаги поверхности листьев. На схеме дешифрирования последовательно сменяют друг друга по увеличению температуры поверхности смешанные леса, хвойные леса, влажные и приморские луга, леса, поврежденные вредителями, бамбучник, ветровалы. Стоит отметить, что участки редколесий при данной методике работы достоверно не дешифрируются и попадают в разные классы.

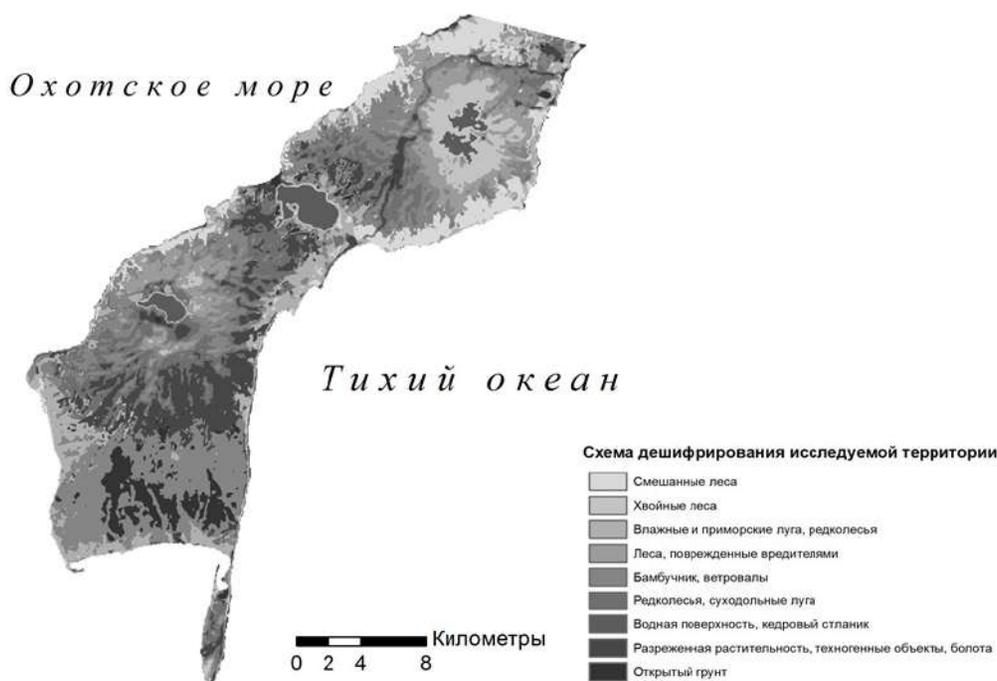


Рис. 1. Схема дешифрирования исследуемого участка на основе тепловых данных

Расчет физических температур позволяет говорить о существенном охлаждающем эффекте растительности. Температуры лесной зоны более чем на  $10^{\circ}\text{C}$  ниже температур открытого грунта и техногенных объектов. Также более активная транспирация лиственных деревьев способствует сохранению в смешанных лесах более низких температур земной поверхности, чем в хвойных, в среднем на  $1-1,5^{\circ}\text{C}$ .

На следующем этапе проведено сравнение качества автоматизированного выделения различных объектов. Наиболее показательным дешифрированием дюн с темноцветным ре-экспонированным горизонтом погребенных почв, а также выделение массивов кедрового стланика и безлесых зарослей бамбучника на фоне густого леса. При синтезе по схеме R-G-V неболь-

шие дюны не выделяются вовсе, однако отчетливо оконтурены при включении в синтез каналов SWIR или TIR.

Аналогично включение теплового канала улучшает выделение участков, на которых отсутствует древесная растительность: полян, покрытых бамбучником или кедровым стлаником. Растительность с высокой биомассой имеет схожие характеристики в ближнем и среднем ИК диапазонах. Однако характер транспирации и, соответственно, терморегуляции у данных видов различен, что способствует более четкому разделению этих групп растительности при включении теплового канала, чем без него.

**Выводы:**

— использование данных, полученных в тепловом ИК диапазоне, позволяет выделять многие ландшафты о. Кунашир, такие как смешанные и хвойные леса, заросли кедрового стланика, скальные обнажения, бамбуковые сообщества. Ключевым свойством ландшафтов при использовании данного метода является характерная сезонная динамика температур земной поверхности;

— дифференциация растительных сообществ возможна на основании физических температур земной поверхности, что связано с особенностями биофизических процессов растений, а именно интенсивностью испарения влаги;

— включение в многозональный синтез теплового ИК канала повышает точность автоматизированного выделения некоторых ландшафтов (дюны с погребенными почвами, массивы кедрового стланика, заросли бамбучника).

**Библиографический список**

1. Алексеевко Н.А., Грищенко М.Ю. Картографирование растительности южной части острова Кунашир с целью ее мониторинга // Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. №6. С. 75–81.
2. Аншаков Г.П., Журавель Ю.Н., Федосеев А.А. Эффективность использования мультиспектральных и гиперспектральных данных дистанционного зондирования в задачах мониторинга окружающей среды // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2013. №4(42). С. 38–48.
3. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования разновременных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2014. №3. С. 35–42.
4. Ганзей К.С. Геосистемы южных и средних Курильских островов // География и природные ресурсы. 2008. №3. С. 90–95.
5. Ганзей К.С. Ландшафтная типология Курильских островов // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2009. С. 153–159.
6. Памятник природы «Вулкан Менделеева» на острове Кунашир / Р.Н. Сабиров [и др.] // Вестник Сахалинского областного краеведческого музея. 2014. №21. С. 290–318.

УДК 910.1

В.В. Хромых, khromykh\_vadim@mail.ru

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

## **ЦИФРОВАЯ ГЕОГРАФИЯ В ТОМСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ: 25-ЛЕТНИЙ ОПЫТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ И НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Рассмотрен опыт применения цифровых геотехнологий в образовательной и научной деятельности кафедры географии Национального исследовательского Томского государственного университета. Представлена современная схема обучения технологиям ГИС и ДЗ в ТГУ.

*Ключевые слова:* географическое образование, цифровые технологии, ГИС.

V. Khromykh, khromykh\_vadim@mail.ru

*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

## **DIGITAL GEOGRAPHY AT TOMSK STATE UNIVERSITY: 25 YEARS EXPERIENCE IN EDUCATIONAL AND RESEARCH ACTIVITY**

The experience of using digital geotechnologies in the educational and research activities of the Geography Department at the National Research Tomsk State University is considered. A modern conceptual scheme of teaching GIS and RS technologies at TSU is presented.

*Keywords:* geographic education, digital technologies, GIS.

Новые геоинформационные технологии стали активно внедряться в учебный процесс и научные исследования на кафедре географии ТГУ в середине 1990-х годов. Ощутимым толчком к этому послужили стажировки молодых преподавателей геолого-географического факультета ТГУ в Межуниверситетском Аэрокосмическом центре МГУ по программе «Геоинформатика и учебные ГИС» (1995 г.) и компании «Дата+». Первым успешным опытом стала цифровая модель рельефа, созданная на основе оцифрованных горизонталей и высотных отметок с топографических карт на район учебных географических практик в Северной Хакасии. В качестве программного обеспечения первоначально использовалась программа МАГ, разработанная на кафедре картографии и геоинформатики МГУ [10] и предоставленная географам ТГУ. Эта модель легла в основу учебной ГИС «Июс», созданной на территорию района учебных практик [11] по аналогии с учебной ГИС «Сатино» в МГУ [5; 9]. Уже в 1998 г. на полигоне практик в Хакасии состоялся полевой семинар по технологиям ГИС и ДЗ совместно с компанией «Дата+», которую представлял Ю.К. Королёв, благодаря которому ТГУ стал одним из первых российских вузов, где появилось ПО ESRI Inc.: ARC/INFO 7.0.1 и ArcView GIS 3.0. В конце 1990-х гг. была создана вторая учебная ГИС «Актру» [12].

Появление и быстрое развитие новых геоинформационных технологий потребовало переосмысления структуры подготовки географов в ТГУ и изменений в учебном плане. До 1998 г. в учебном плане географов была лишь одна учебная дисциплина, связанная с новыми цифровыми технологиями – геоинформатика (36 ч.). Этого было явно недостаточно. Поэтому с 1998 г. по инициативе автора на кафедре географии ТГУ в учебный процесс была внедрена концептуальная схема обучения геоинформационным технологиям. Так, были разработаны новые курсы: «Компьютерная графика», «ГИС», «Настольные картографические системы», «Построение баз геоданных», «Цифровые модели рельефа». Изначально использовались немногочисленные учебники [6; 15; 21–23], но позже были изданы собственные учебные пособия по новым дисциплинам [18; 19]. Основным принципом ГИС-образования стала непрерывность обучения, т.е. учебные курсы были построены так, чтобы обучение велось от простого к сложному в каждом семестре без существенных перерывов, что позволяло студентам не «забывать» и не терять полученные навыки и компетенции. В дальнейшем добавлялись новые дисциплины, появилась магистратура и двухступенчатая система образования (рис. 1), но, как показал наш опыт, такой подход полностью оправдывает себя,

что доказывает увеличившийся процент трудоустроенных выпускников. С 2019 г. на кафедре географии ТГУ открыта новая магистратура «Цифровые технологии в географии», а в бакалавриате появился профиль подготовки «Цифровая картография и геомаркетинг».

Многие методики пространственного анализа с использованием новых технологий геоинформационного картографирования, вошедшие впоследствии в электронные образовательные ресурсы, были разработаны на кафедре географии ТГУ в процессе выполнения научно-исследовательских проектов, грантов и хозяйственных работ.

При создании нормативной документации экологического сопровождения проектов обустройства Чкаловского и Крапивинского нефтяных месторождений (совместные проекты с «ТомскНИПИ-нефть»), а также при проведении изысканий для выбора площадки строительства

Северской АЭС (договор с ФГУП «Росатом») была разработана методика оценки эрозионной устойчивости ландшафтов, суть которой заключается в расчёте цифровой модели рельефа и вычисления на основе ЦМР средних уклонов ландшафтов с помощью функции зональной статистики модуля ArcGIS Spatial Analyst [13]. В результате была проведена интегральная оценка устойчивости ландшафтов исследуемых районов к антропогенному воздействию и создана серия цифровых тематических карт. В дальнейшем методики морфометрического анализа ландшафтов были использованы при создании ГИС долины Томи, а крупномасштабная ЦМР долины нижней Томи была использована для поиска разрывных тектонических нарушений (геологических разломов) и оценки экологических рисков. Эти исследования нашли отражение в ряде научных статей и монографий [7; 16; 17; 20], в т.ч. на английском языке [24; 25].



Рис. 1. Схема обучения цифровым геотехнологиям на кафедре географии ТГУ

В 2016 г. в ТГУ начата работа по созданию Геопортала Томской области, в основе которого лежит I-GIS – высокопроизводительная геоинформационная система мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов [1]. Система включает модули «Лесоустройство», «Пожары», «Паводок», «Дикоросы», «Экстрем. метео» и работает на базе суперкомпьютера ТГУ SKIF Cyberia с использованием системы хранения данных более 40 Тб. Программное обеспечение: ArcGIS Server (ESRI Inc.), Agisoft PhotoScan (GeoScan), EasyTrace (EasyTrace Group) и бесплатное программное обеспечение SAGA, QGIS и GeoServer.

Ещё одно направление, активно разрабатываемое на кафедре географии ТГУ в последнее время – применение технологий дистанционного зондирования с БПЛА и лазерного сканирования. Используется

самолёт SuperCam S-250, а также флот квадрокоптеров DJI. Созданы крупномасштабные модели ледникового бассейна Актру и ряда малых водосборов [2–4; 26], а также земельных участков в условиях плотной городской застройки [8]. На основе съёмки с БПЛА построены детальные ЦММ населенных пунктов, расположенных на Оби в пределах Томской области, и проведено картографирование зон затопления при максимальных уровнях воды разной процентной обеспеченности (модуль «Паводок» Геопортала Томской области). В сотрудничестве с японскими коллегами из Токийского столичного университета построена модель процесса затопления населенного пункта в онлайн-режиме для поиска наилучших маршрутов для эвакуации населения при паводке [6].

### Библиографический список

1. *Высокопроизводительная геоинформационная система мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов для решения научно-технических и образовательных задач / Демкин В.П. [и др.] // Открытое и дистанционное образование. 2016. № 4(64). С. 5–11.*
2. *Ерофеев А.А. Применение наземного лазерного сканирования в исследовании структуры и функционирования природных ландшафтов // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов: материалы XIII Международной ландшафтной конференции. М.: Истоки, 2018. С. 193–195.*
3. *Ерофеев А.А., Копысов С.Г., Никифоров А.Н. Ландшафтно-геофизический подход к зонированию структуры землепользования на малом водосборе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 6. С. 39–47.*
4. *Ерофеев А.А., Ябаркин А.Ю., Еремеев В.Ф. Первые результаты аэрофотосъемки горно-ледникового бассейна Актру с использованием БПЛА // Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях. Иркутск. 2018. С. 68–70.*
5. *Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Лурье И.К. Концепция геоинформационного образования // Вестник Московского университета. 1995. № 4. С. 93–94.*
6. *Компьютерное моделирование в онлайн-режиме процесса затопления населенного пункта и поиск наилучших маршрутов для эвакуации населения (на примере деревни Чёрная речка Томской области) / Хромых В.В. [и др.] // Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2020. С. 209–213.*
7. *Королёв Ю.К. Общая геоинформатика. Ч. 1. Теоретическая геоинформатика. М., 1998. 118 с.*
8. *Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. М., 1993. 213 с.*
9. *Ландшафты болот Томской области. Томск: Изд-во «НТЛ», 2012. 400 с.*
10. *Локтионова Т.А. Использование БПЛА при трехмерном моделировании земельных участков в условиях плотной городской застройки // Избранные доклады 64-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск. 2018. С. 892–894.*
11. *Лурье И.К. Теория и практика создания обучающих ГИС для географических исследований: автореф. дис... д-ра геогр. наук. М.: МГУ, 1998. 34 с.*

12. *Сербенюк С.Н., Кошель С.М., Мусин О.Р.* Программы МАГ для создания цифровых моделей геополей // *Геодезия и картография*. 1991. № 4. С. 44–46.
13. *Хромых В.В.* Учебная геоинформационная система «Июс» для студентов-географов специализации «краеведение и туризм» // *Вопросы географии Сибири*. 1997. № 22. С. 161–167.
14. *Хромых В.В.* Учебные ГИС «Июс» и «Актру»: цифровые модели рельефа // *ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС*. 1998. Т. 4. С. 634–637.
15. *Хромых В.В.* Применение ГИС в геоморфологических исследованиях // *Самоорганизация и динамика геоморфосистем: материалы XXVII Пленума Геоморфологической комиссии РАН*. Томск. 2003. С. 217–225.
16. *Хромых В.В., Хромых О.В.* Использование ГИС-технологий для изучения динамики долинных ландшафтов (на примере долины нижней Томи) // *Вестник Томского государственного университета*. 2007. № 300. С. 230–233.
17. *Хромых В.В., Хромых О.В.* Морфометрический анализ долинных геосистем Нижнего Притомья // *ArgReview*. 2008. № 4. С. 6.
18. *Хромых В.В., Хромых О.В.* Цифровые модели рельефа: учебное пособие. Томск: Изд-во «НТЛ», 2011. 188 с.
19. *Хромых О.В.* Компьютерная графика для географов. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. 108 с.
20. *Хромых О.В., Хромых В.В.* Ландшафтный анализ Нижнего Притомья на основе ГИС: естественная динамика долинных геосистем и их изменения в результате антропогенного воздействия. Томск: Изд-во НТЛ, 2011. 160 с.
21. *Burrough P.A.* Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford, 1996. 194 p.
22. *Chrisman N.* Exploring Geographic Information Systems. New York, 1997. 298 p.
23. *Goodchild M., Kemp K.* Core Curriculum in GIS. Vol. 2. Santa Barbara, 1991. 318 p.
24. *Khromykh V.V., Khromykh O.V.* Spatial structure and dynamics of Tom river floodplain landscapes based on GIS, digital elevation model and remote sensing // *Riparian zones: Characteristics, management practices and ecological impacts*. New York: Nova Science Publishers, 2016. Chapter 12. P. 289–309.
25. *Khromykh V.V., Khromykh O.V.* GIS-Based Study of Landscape Structure and Land Use Within the River Valleys in the Southern Tomsk Region: Spatial-Temporal Aspects // *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*. Heidelberg: Springer, 2020. Chapter 25.
26. *Kopysov S.G., Erofeev A.A., Zemtsov V.A.* Estimation of water balance over catchment areas taking into account the heterogeneity of their landscape conditions // *International Journal of Environmental Studies*. 2015. № 3. P. 380–385.

УДК 912.648(004.94): 528.942

В.В. Хромых, О.В. Хромых, khromykh\_vadim@mail.ru

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЪЁМОК С БПЛА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ (ПРИЛОЖЕНИЕ «ПАВОДОК» ГЕОПОРТАЛА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)**

Представлены результаты геоинформационного картографирования зон затопления в период весеннего половодья из-за таяния снега для населенных пунктов, расположенных на реках Томь и Обь в пределах Томской области. Создано приложение «Паводок» Геопортала Томской области, в котором имеется более 40 трехмерных моделей населенных пунктов, включая дома, инфраструктуру и текущий уровень воды, который рассчитывается ежедневно на основе данных с ближайших гидропостов. Результаты этого исследования могут быть использованы для принятия решений в случае чрезвычайных ситуаций во время паводка.

*Ключевые слова:* ГИС, дистанционное зондирование, БПЛА, ЦМР, мониторинг, геопортал.

V. Khromykh, O. Khromykh, khromykh\_vadim@mail.ru

*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

## **EXPERIENCE OF THE UAV SURVEY FOR MODELING OF FLOODING ZONES (APPLICATION "FLOOD" OF THE TOMSK REGION GEOPORTAL)**

Results of GIS-mapping of flood zones during the spring flood season due to snowmelt for settlements located on the Tom River and the Ob River within Tomsk region are presented. "Flood" application of the Tomsk region Geoportal is created, where there are more than 40 3D models of settlements, including houses, infrastructure and current water level, which is calculated daily based on data from the nearest gauging stations. The results of research can be used for decision-making in case of flood emergency during the flood season.

*Keywords:* GIS, remote sensing, UAV, DEM, monitoring, geoportal.

Одним из важнейших гидрологических сезонов сибирских рек является период паводкового снеготаяния. Максимальные уровни воды в реках определяют паводковую обстановку на берегах рек, условия и параметры затопления пойм. Более 40 населенных пунктов, расположенных на р. Обь и р. Томь в пределах Томской области, подвержены наводнениям во время весеннего паводка из-за таяния снега. Тысячи людей находятся в зоне риска. Высокие опасные паводки вызывают интенсификацию речных процессов, эрозию берегов рек, наносят ущерб поселениям, инженерным сооружениям и людям, живущим в прибрежных зонах. Ситуация осложняется отсутствием необходимой информации об уровне воды – здесь расположены всего девять гидрометрических станций. Необходимо прогнозировать зоны затопления населенных пунктов в зоне риска. Эта проблема может быть решена с использованием гидрологических данных и высокоточных цифровых моделей рельефа (ЦМР) [9]. Целью нашей работы является создание системы мониторинга паводковой ситуации (компьютерное приложение) на ос-

нове данных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), гидрологических расчетов и ГИС-моделирования.

Река Обь в пределах области исследования имеет протяженность около 1000 км и многозонный водный режим, объединяющий особенности формирования водного стока во всех пересекаемых ландшафтных зонах. Река Томь – один из крупнейших притоков Оби длиной 827 км. Эти сибирские реки характеризуются наличием высоких и продолжительных весенне-летних и осенних паводков; зимний период низкого стока длится около шести месяцев. Максимальные уровни воды в среднем течении Оби связаны с прохождением пика весенне-летнего паводкового стока, то есть с максимальными расходами воды [13].

Наш аналитический обзор существующих в России систем мониторинга и прогнозирования наводнений показал, что в основном преобладают методики, основанные на данных дистанционного зондирования (ДДЗ), полученных с космических систем [3; 6; 7]. Прежде всего следует отметить специализированные приложе-

ния для мониторинга наводнений у основных поставщиков космических снимков – «Сканэкс» и «Совзонд». Также подобные разработки предлагает Роскосмос (в составе своего Геопортала). «ГИС-Гидрология» базируется на использовании космических снимков с платформ «Landsat-8» и «Ресурс-П» [11]. В НИЦ «Планета» создан автоматизированный комплекс на основе космических ДДЗ – «Мониторинг паводковой обстановки» [1]. Также активно развиваются региональные системы мониторинга паводков – например, ГИС «Амур» [4].

С 2015 года географы Томского государственного университета (ТГУ) разрабатывают ГИС мониторинга и прогнозирования состояния природных ресурсов Томской области, одним из приложений которой является «Паводок» [2]. Система работает на базе суперкомпьютера ТГУ SKIF Cyberia с использованием системы хранения данных более 40 Тб. Программное обеспечение: ArcGIS Server (ESRI Inc.), Agisoft PhotoScan (GeoScan), EasyTrace (EasyTrace Group) и бесплатное программное обеспечение SAGA, QGIS и GeoServer. Доступ к системе осуществляется через Геопортал Томской области.

Для ГИС-моделирования зон затопления в населенных пунктах, расположенных на реке Томь, использовалась ЦМР долины Томи, созданная нами ранее [8; 9; 12]. Для населенных пунктов, расположенных на Оби, для определения и картографирования затопленных территорий использовались данные БПЛА. ЦМР, основанная на данных БПЛА, является важным источником информации при оценке пространственного охвата и потенциала развития наводнений. Для оценки уровня затопления использование абсолютных высот с помощью ЦМР рекомендуется только для небольших участков равнинных речных долин, где уклон русла реки незначителен. Для более длинных участков необходимо получить цифровую модель относительных высот от уреза воды, что, например, возможно при работе с модулем Vertical Distance to Channel Network программного обеспечения SAGA [5].

Для геоинформационного картографирования были использованы ортофотопланы, полученные в результате съемок с БПЛА Geoscan 201. Съемки с БПЛА проводились совместно с сотрудниками АО «Томскгипрозем» осенью 2018 года и летом 2019 года с пространственным разрешением 0,04–0,05 м. Плановым и высотным обоснованием для аэрофотосъемки

послужили пункты ГГС и референц-станция ГНСС г. Томск. С применением ГНСС оборудования Trimble 5700 были созданы базовые станции для привязки аэрофотоснимков. Основным режимом сбора данных для всех ГНСС съемок является наблюдение базовых линий (векторов). В простейшем случае один из приемников помещается на точку с известными координатами, а другой помещается на точку, пространственное положение которой необходимо определить. В течение определенного периода времени, зависящего от конкретного вида съемки, производится наблюдение базовой линии, после чего приемник перемещается на следующую точку. Обработка и уравнивание ГНСС измерений от пунктов ГГС и референц-станции г. Томска выполнялось в ПО Topcon Tools, результаты уравнивания не превысили по СКО 0,1 м. В процессе аэрофотосъемки определение позиций снимков происходило по бортовому ГНСС приемнику БПЛА Topcon В 110. После завершения процесса АФС данные с приемника скачивались и поступали в обработку. Обработка материалов аэрофотосъемки выполнялась в ПО Agisoft Photoscan, по этапам: совмещение снимков по меньшему числу точек (накидной монтаж), выравнивание положения камер, построение плотного облака точек, классификация плотного облака точек, построение карты высот по классу «земля», построение ортофотоплана по полученной карте высот, экспорт ортофотоплана в формате GeoTIFF в системе координат МСК 70 зоны 3–4, экспорт карты высот в формате GeoTIFF в системе координат МСК 70 зоны 3–4, экспорт отчета по обработке и выравниванию в формате PDF.

В результате фотограмметрической обработки с помощью Agisoft PhotoScan были созданы высокоточные цифровые модели местности (ЦММ) с разрешением 0,15–0,5 м. Для получения гидрологически корректной матрицы высот из ЦММ была проведена маскировка домов и лесных массивов на ортофотопланах с использованием инструментов ArcGIS «Con», «Растровый домен», «Append». Ортофотопланы всех населенных пунктов были использованы для векторизации гидрографических объектов. В сентябре 2018 года и июле 2019 года были проведены полевые работы с целью изучения состояния берегов Оби. В то же время вместе с сотрудниками кафедры гидрологии ТГУ были разработаны алгоритмы расчета уровня воды в населенных пунктах без гидростов. Определение зон затопления для каждого

населенного пункта основывалось на гидрологических расчетах и ЦМР.

Зоны затопления были созданы в виде линейных и полигональных объектов с использованием ПО ArcGIS Spatial Analyst и 3D Analyst (ESRI Inc.) для различных рассчитанных уровней воды в каждом населенном пункте (рис. 1). Таким образом, ситуация с каждым уровнем воды была смоделирована и нанесена на карту. Сейчас результаты ГИС-моделирования зон затопления используются в приложении «Паводок» Геопортала Томской области, где можно увидеть 3D-модели более 40 населенных пунктов, включая дома, инфраструктуру и текущий уровень воды, который автоматически рассчитывается ежедневно по данным ближайших гидро-

метрических станций (рис. 2).

Для 42 населенных пунктов, расположенных на реке Обь и на реке Томь, были закартографированы и проанализированы зоны затопления для различных уровней воды (от 0 до +11 м). Наш анализ показал, что в 19 населенных пунктах зона затопления при максимальном уровне воды охватывает более 50% площади.

Результаты ГИС-моделирования зон затопления в населенных пунктах (приложение «Паводок») могут быть использованы для принятия решений в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с наводнениями. Это уменьшит угрозу для жизни людей и материальных ценностей во время весеннего паводка из-за таяния снега.

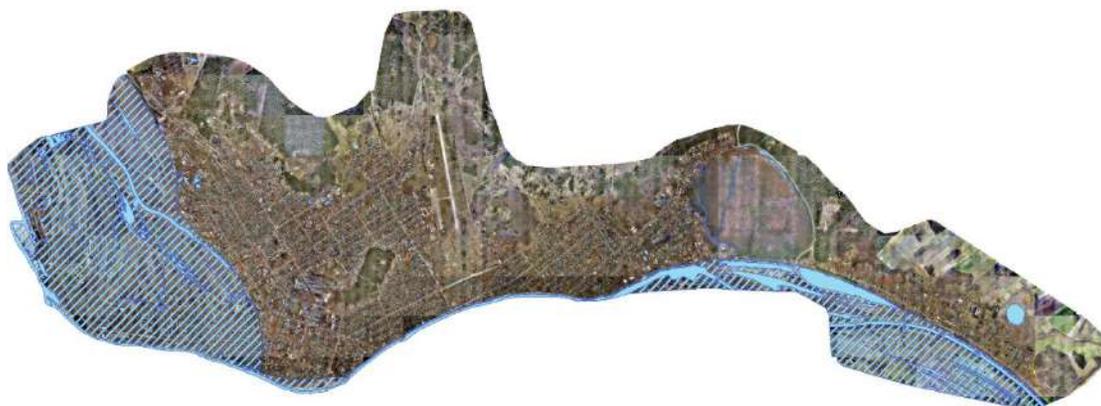


Рис. 1. Ортофотоплан г. Колпашево с зоной затопления при уровне воды +8 м



Рис. 2. 3D-модель дер. Красный Яр с текущим уровнем воды (ЦМР, драпированная ортофотопланом)

*Исследование выполнено при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ (грант № № 8.2.07.2020).*

## Библиографический список

1. Асмус В.В. Применение спутниковой информации для решения задач в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды // ФБГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета». М., 2017. 47 с.
2. *Высокопроизводительная* геоинформационная система мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов для решения научно-технических и образовательных задач / Демкин В.П. [и др.] // Открытое и дистанционное образование. 2016. № 4 (64). С. 5–11.
3. *Геоинформационное* моделирование наводнений по материалам космической съемки (на примере г. Бийск, Алтайский край) / Новаковский Б.А. [и др.] // Геоинформатика. 2015. № 1. С. 15–20.
4. ГИС Амур: система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях / Фролов А.В. [и др.] // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 5–21.
5. Готов А.А. Использование ЦМР для эффективного управления природопользованием // Геоматика. 2013. № 4. С. 32–36.
6. *Оперативное* прогнозирование наводнений на основе комплексного упреждающего моделирования и интеграции разнородных данных/ Алабян А.М. [и др.] // Труды СПИИРАН. 2015. № 4 (41). С. 5–33.
7. Тарарин А.М. Опыт применения изображений Земли из космоса и ГИС-технологий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Т. 2. № 4. М. 2007. С. 340–344.
8. Хромых В.В., Хромых О.В. Использование ГИС-технологий для изучения динамики долинных ландшафтов (на примере долины нижней Томи) // Вестник Томского государственного университета. № 300. 2007а. С. 230–233.
9. Хромых О.В., Хромых В.В. Ландшафтный анализ Нижнего Притомья на основе ГИС: естественная динамика долинных геосистем и их изменения в результате антропогенного воздействия. Томск: Изд-во НТЛ, 2011. 160 с.
10. Хромых В.В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа. Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007б. 176 с.
11. Шагаев М.П. Оценка возможностей использования данных прибора MODIS для мониторинга паводковой обстановки на примере паводка на реке Чулым весной 2014 года // Интерэкспо Гео-Сибирь. Новосибирск: Изд-во СГУГиТ, 2017. Т. 10. С. 32–33.
12. Khromykh V.V., Khromykh O.V. Spatial structure and dynamics of Tom river floodplain landscapes based on GIS, digital elevation model and remote sensing // Riparian zones: Characteristics, management practices and ecological impacts. New York: Nova Science Publishers, 2016. № 12. pp. 289–309.
13. *Long-term* dynamics of maximum flood water levels in the middle course of the Ob River / Zemtsov V.A. [and others]. // Journal of Physics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 400 (2019). 012004.

А.Н. Чащин, В.Ю. Гилёв, chascshin@mail.ru  
 Пермский государственный аграрно-технологический университет  
 им. Д.Н. Прянишникова, г. Пермь, Россия

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛОДОРОДНОГО СЛОЯ ПОЧВ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ УЧАСТКОВ

Созданы картосхемы мощности плодородного слоя техногенно-нарушенных почв для 24 учтенных земельных участков: в среднем по каждому из участков и методом обычный кригинг. Пространственная неоднородность плодородного слоя почвы сопоставлена с индексом растительности NDVI. Установлена тесная корреляционная зависимость между мощностью плодородного слоя и вегетационным индексом.

*Ключевые слова:* плодородный слой почвы, техногенно-нарушенные почвы, Кригинг, NDVI.

A. Chashchin, V. Gilev, chascshin@mail.ru  
 Perm State Agro-Technological University name of D.N. Prjanishnikov, Perm, Russia

## STUDY OF SPATIAL HETEROGENEITY OF THE FERTILIZED SOIL LAYER OF TECHNOGENICALLY DISTURBED SECTIONS

Maps of the thickness of the subgenus layer of technologically disturbed soils were created for 24 counted land plots: on average for each of the plots and using the usual kriging method. The spatial heterogeneity of the fertile soil layer is compared with the NDVI vegetation index. A close correlation between the thickness of the fertile layer and the vegetation index has been established.

*Keywords:* fertile soil layer, technologically disturbed soil, Kriging, NDVI.

Мощность плодородного слоя почвы (ПСП) является важным показателем ее плодородия и значительно влияет на величину биомассы растений [1]. В результате техногенного воздействия на землях сельскохозяйственного назначения происходит уменьшение мощности плодородного слоя почвы. Техногенное воздействие часто проявляется при производстве строительных работ, которые сопровождаются занятием сельскохозяйственных земель. После освобождения земельных участков арендатор должен провести рекультивацию [2]. Однако, очень часто, результатом рекультивации нарушенного почвенного покрова является неравномерно распределенный растительный грунт. Поэтому для оценки качества почвенного покрова после рекультивации нужно оценить пространственную неоднородность мощности верхнего плодородного слоя. Использование геостатистических и дистанционных методов позволяет оперативно и наглядно охарактеризовать состояние прорекультивированных земельных участков [1; 3].

Объектом исследований является техногенно-нарушенный почвенный покров 26 земельных участков (включая фоновые под номерами 1 и 24), на которых была проведена рекультивация в июле 2018

года. Земельные участки имеют площадь по 0,11 га и расположены в п. Кукуштан, Пермского района, Пермского края (рис. 1). Общая площадь исследований составила 3 га. Полевые исследования проведены в октябре 2019 года.

Мощность плодородного слоя определена на местности для каждого участка в прикопках. На участке 20 измерения проводились в двух местах, поскольку половина участка перекрыта инертным материалом. Таким образом, число точек измерения составило 27 (интерполяция проведена по 25 точкам – без фоновых участков). Картографические материалы выполнены в детальном масштабе (1:1200). Для оценки пространственной неоднородности плодородного слоя почвы был использован геостатистический метод Ordinary Kriging: исследование данных и интерполяция проведены средствами модуля Geostatistical Analyst программы ArcGIS 10.1 [5]. Для оценки влияния мощности плодородного слоя на растительность использован индекс NDVI, рассчитанный на основе спутникового снимка Sentinel 2 (дата съемки 29.08.2018 – спустя месяц после рекультивации). Для интерпретации значений использовалась шкала для сельскохозяйственных культур Пермского края [4].

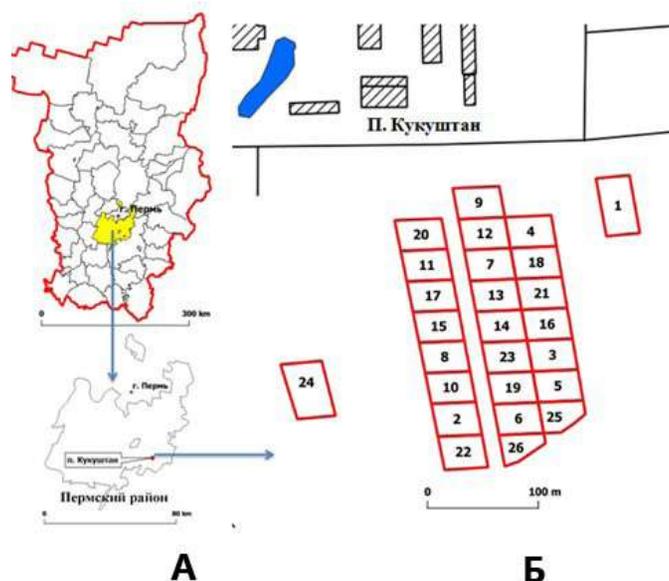


Рис. 1. Расположение земельных участков на территории Пермского края

По результатам измерений на местности установлено, что мощность плодородного слоя почвы имеет значительный размах от 0 до 38 см (фоновые участки в

расчет статистики выборки не взяты). Его варьирование имеет высокий уровень ( $V = 54\%$ ) и слабовыраженную левостороннюю асимметрию (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Описательная статистика мощности плодородного слоя почвы ( $n = 25$ )

Значения показателей				Std. Dev.	V, %	Эксцесс	Асимметрия
мин.	макс	среднее	медиана				
0	38	17	19	9,25	54	2,78	-0,03

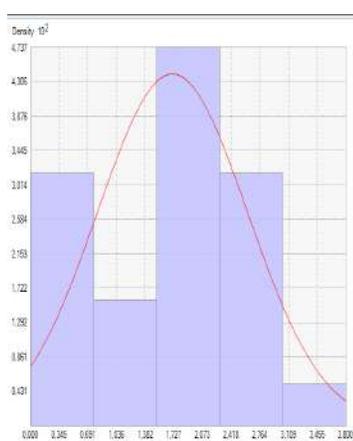


Рис. 2. Гистограмма относительных частот мощности плодородного слоя почвы

Центральные значения мощности плодородного слоя имеют близкие значения среднего (17 см) и медианы (19 см), что свидетельствует о распределении свойств по нормальному закону. Поэтому кригинг-интерполяция выполнена без проведения трансформации по методу нормальных меток.

По результатам исследований входных данных мощности плодородного слоя выявлены тренды U-образной формы (рис. 3). Поэтому, перед интерполяцией был удален тренд второго порядка. На территории участков мощность плодородного слоя почвы обладает низким уровнем пространственной зависимости, так как средние значения точек кривой вариограммы этого показателя колеблются почти на одном уровне (рис. 4). Оптимальная модель вариограммы подобрана автоматически при помощи функции «Оптимизация вариограммы» модуля Geostatistical Analyst.

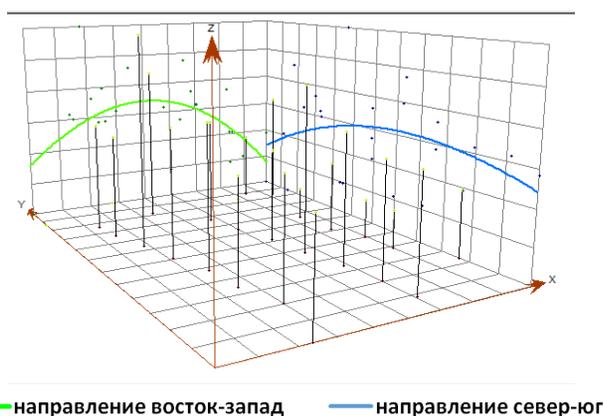


Рис. 3. Тренд пространственного распределения плодородного слоя почвы

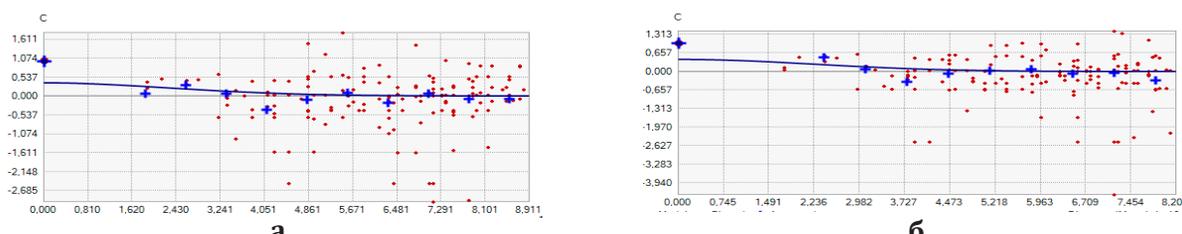


Рис. 4. Вариограммы плодородного слоя почвы «До оптимизации» (а) и «После оптимизации» (б)

Оценка точности интерполяции данных проводилась методом перекрестной проверки, по результатам которой установлено, что средняя ошибка прогнозирования близка к нулю ( $ME = 0,31$ ). Это свидетельствует о надежности результатов интерполяции для дальнейшего картографирования мощности плодородного слоя.

Результатом интерполяции стала картограмма мощности плодородного слоя почвы (рис. 5б), которая по сравнению с картограммой средней мощности (рис. 5а) отражает пространственную неоднородность

данного показателя внутри исследованных техногенно-нарушенных участков. Мощность плодородного слоя влияет на состояние растительного покрова участков. Эта зависимость наблюдалась не только на местности, но и подтверждается показателем NDVI (рис. 5в). Коэффициент корреляции между мощностью плодородного слоя и вегетационным индексом составил 0,71 (достоверно при  $P=0,95$ ). Контуры угнетенной растительности соответствуют границам контуров с плодородным слоем менее 10 см.

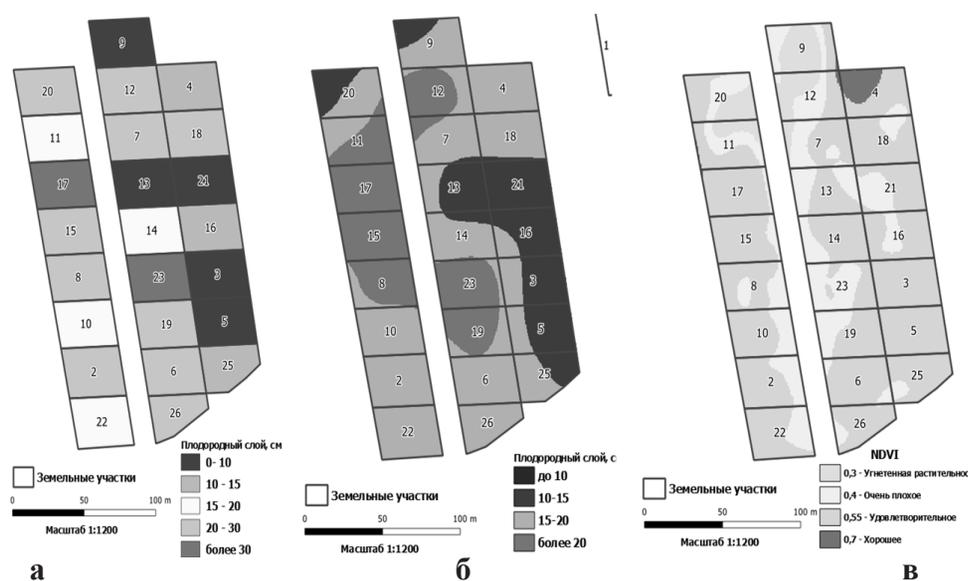


Рис. 5. Картограммы: а) мощности ПСП (в среднем по участкам); б) мощность ПСП по методу Обычный Кригинг; в) индекс NDVI

Таким образом, исследование данных о мощности плодородного слоя почвы позволило создать картограмму пространственной неоднородности плодородного слоя почвы рекультивированных техногенно-нарушенных земель. Также

выявлена тесная связь между величиной плодородного слоя и значениями вегетационного индекса NDVI, которая позволит использовать данные дистанционного зондирования для косвенной оценки качества рекультивации.

### Библиографический список

1. Гопп Н.В., Савенков О.А. Связь показателя NDVI и урожайности яровой пшеницы со свойствами пахотного горизонта черноземов глинисто-иллювиальных элювирированных и темно-серых почв // Почвоведение. 2019. № 3. С. 377–386.
2. ГОСТ 17.5.3.06–85. Охрана природы. Земли. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 4 с.
3. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика. М.: Наука, 2010. 327 с.
4. Пьянков С.В., Калинин Н.А., Свизов Е.М., Смирнова А.А., Некрасов И.Б. Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур в Пермском крае по данным дистанционного зондирования земли // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2009. Вып. 10 (36). С. 147–153.
5. Упражнение 2 [Электронный ресурс]: Исследование данных / справка ArcGIS for Desktop. URL: <http://desktop.arcgis.com> (дата обращения: 14.12.2019).

УДК 314

А.А. Черкасов<sup>1</sup>, А.Н. Панин<sup>2</sup>, [cherkasov\\_stav@mail.ru](mailto:cherkasov_stav@mail.ru)

<sup>1</sup>Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

### ГИС-МОНИТОРИНГ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭТНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАСЕЛЕНИЯ В НАЦИОНАЛЬНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ И КАЛМЫКИИ)

В статье рассматриваются особенности трансформации этнической структуры населения в национальных регионах России на примере Кабардино-Балкарии и Калмыкии.

*Ключевые слова:* этническая структура населения, Кабардино-Балкария, Калмыкия.

A. Cherkasov<sup>1</sup>, A. Panin<sup>2</sup>, [cherkasov\\_stav@mail.ru](mailto:cherkasov_stav@mail.ru)

<sup>1</sup>North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

### GIS-MONITORING OF TRANSFORMATION OF ETHNIC POPULATION STRUCTURE IN THE NATIONAL REGIONS OF RUSSIA (ON THE EXAMPLE OF KABARDINO-BALKARIA AND KALMYKIA)

The article examines the features of the transformation of the ethnic structure of the population in the national regions of Russia on the example of Kabardino-Balkaria and Kalmykia.

*Keywords:* ethnic structure of the population, Kabardino-Balkaria, Kalmykia.

В постсоветский период формирование этнической структуры населения в национальных административно-территориальных образованиях России происходит по особому сценарию. Для большинства республик общей чертой является рост

удельного веса в структуре населения титульных этносов конкретного региона и сокращение тех же показателей у нетитульных этносов [3]. Важно отметить, что активным изменениям этнической структуры населения способствуют, в первую

очередь, миграционные и демографические процессы, формирующиеся в условиях низкого уровня социально-экономического развития отдельных национальных регионов и обострения межнациональных отношений (особенно остро ситуация обострялась в 1990-е гг.).

Изучение этнических процессов населения на внутривнутрирегиональном уровне имеет важное научное и практическое значение, которое позволяет оценить особенности формирования современной этнической карты страны, определять территории с высокой скоростью изменения этнической структуры населения. Территориями исследования выбраны Республика Кабардино-Балкария (КБР) и Калмыкия, выделяющиеся высокой активностью обозначенных процессов.

В качестве основного инструмента исследования использована авторская ГИС «ГИС-Этнический атлас России». База гео-данных, а также подготовка картографического материала учитывают административно-территориальное устройство КБР и Калмыкии. Источниками информации об этнической структуре населения выступают материалы Всесоюзной (1989 г.) и Всероссийской (2002 г., 2010 г.) переписей населения. В качестве основных индикаторов исследования используется показатель изменения удельного веса русских, этноса имеющего наибольший ареал расселения в стране, а также титульных этносов республик (соответственно в КБР – кабардинцы и балкарцы; в Калмыкии – калмыки) и изменения суммы удельного веса других этносов. В России в период с 2002 по 2010 год удельный вес русских в структуре населения сократился на 2,1%. Примем такое изменение как среднестатистическое, являющееся порогом относительной устойчивости этнической структуры населения.

*Кабардино-Балкарская Республика* относится к национально-территориальному типу регионов, на территории которого компактно расселены 3 титульных этноса, имеющих свои устойчивые ареалы расселения: кабардинцы, балкарцы, русские. По данным переписи населения 2010 г. этническая структура населения КБР следующая: кабардинцы 57,0%, русские 22,5%, балкарцы 12,6%, общая доля других этносов составляет 7,8%. Данные этносы, с точки зрения принадлежности к языковым семьям и группам, являются разнородными. Так балкарцы относятся к тюркской группе алтайской языковой семьи, кабардинцы к абхазо-адыгской группе северо-

кавказской языковой семьи, русские к славянской группе индоевропейской языковой семьи. Важно отметить, что 94,9% кабардинцев и 96,2% балкарцев страны проживают на территории республики, при этом удельный вес русских в республике от всех русских страны составляет только 0,2% [2].

Что касается внутривнутриреспубликанских особенностей расселения этносов, то по данным переписи населения 2010 года русские по численности преобладают в г. Прохладный (76,7%), Прохладненском (54,2%), Майском (73,4%) районах. Относительно высокий их удельный вес в структуре населения в г. Нальчике (28,8%), Эльбрусском (14,4%), Урванском (11,3%) районах. Кабардинцы доминируют по численности в Зольском (90,9%), Баксанском (95,6%), Терском (87,9%), Урванском (79,1%), Лескентском (90,2%) районах, а также в г. Нальчике (49,3%). Относительно высокий их удельный вес в Прохладненском (28,1%) и Черекском (34,5%) районах, где они являются вторым по численности этносом. Балкарцы преимущественно расселены в горной части республики, доминируют по численности в Эльбрусском (69,5%) и Черекском (64,0%) районах, а в городе Нальчике (12,1%) по численности они являются третьим этносом.

Таким образом, на современном этапе наибольший ареал расселения в республике у кабардинцев, который преимущественно сложился в предгорной и равнинной части республики, балкарцы преимущественно живут в горных районах. У русских ареал расселения сформирован в равнинной части КБР, что связано с историей терского казачества (расселялись, в первую очередь, в станицах), а также в г. Нальчик, что связано с индустриальным освоением территорий. Отметим, что в КБР есть устойчивые ареалы расселения, в сельской местности у турок-мехетинцев (Прохладненский, Терский и Урванский районы). Компактные ареалы расселения имеют осетины (Нальчик и Лескентском район), также есть армяне и украинцы.

В постсоветский период изменения этнической структуры населения в Кабардино-Балкарии наиболее динамично происходили с 1989 по 2002 гг. Так удельный вес русских в республике сократился на -6,8%, а доля кабардинцев и балкарцев выросла на 7,1%, на 2,2% соответственно. В следующий период динамичность смены снизилась, так удельный вес русских сократился в период с 2002 по 2010 гг. только -2,5%, что немного выше общероссийского

показателя (в целом в России на -2,1%), а доля кабардинцев и балкарцев выросла на 1,7%, на 1% соответственно. Немного сократился удельный вес в целом других этносов на -0,2%, и составил в 2010 г. 7,8%.

Анализируя динамику изменения этнической структуры населения на внутриреспубликанском уровне, отметим, что наиболее высокие показатели отмечаются в районах, в которых удельный вес русских выше среднереспубликанского – в Прохладненском и Майском районах, а также в г. Майском и Нарткала (рис. 1):

в г. Нарткала – сокращение доли русских составило -8%, а у кабардинцев доля выросла на 9,8%, у балкарцев удельный вес не вырос. Общая доля других этносов сократилась на 2,4% и составила 11,1%.

в Майском районе – сокращение доли

русских составило -4,9%, а у кабардинцев доля выросла на 1,9%, у балкарцев на 0,3%. Общая доля других этносов выросла на 2,7% и составила 20,1%.

в г. Майском – сокращение доли русских составило -4,3%, а у кабардинцев доля выросла на 1,9%, у балкарцев удельный вес не вырос. Общая доля других этносов выросла на 2,4% и составила 23,7%.

в Прохладненском районе – сокращение доли русских составило -3%, а у кабардинцев доля выросла на 0,8%, у балкарцев на 0,5%. Общая доля других этносов выросла на 1,7% и составила 15,1%;

в г. Нальчик – сокращение доли русских составило -3%, а у кабардинцев доля выросла на 2%, у балкарцев удельный вес вырос на 0,8%. Общая доля других этносов сократилась на 0,2% и составила 9,7%.



Рис. 1. Характеристика динамики изменения этнической структуры населения, 2002–2010 гг.

Республика Калмыкия также относится к национально-территориальному типу регионов, на территории которого компактно расселены калмыки (титульный этнос) и русские. По данным переписи населения этническая структура населения распределилась следующим образом: калмыки 56,2%, русские 24,9%, общая доля других этносов составляет 18,9% (даргинцы, казахи, турки, чеченцы и др.) [1]. Калмыки относятся к монгольской группе алтайской языковой семьи, русские к славянской группе индоевропейской языковой семьи. Важно отметить, что 88,7% калмыков страны проживают на территории республики, при этом удельный вес русских в республике от всех русских страны составляет только 0,08%.

Что касается внутри республиканских особенностей расселения этносов, то по данным переписи населения 2010 года русские по численности преобладают в г. Городовиковск (63,4%), Городовиковском (57,9%), Приютненском (55,6%), Яшалтинском (53,9%), Сарпинском (55,3%) районах. Относительно высокий их удельный вес в Малодербетовском (41,0%), Целинном (32%) районах, г. Лагань (38,2%) и Элиста (24%), где по численности они являются вторыми.

Калмыки по численности преобладают в: г. Элиста (66,1%), Лагань (50,2%), Ики-Бурульском (68,8%), Кетченеровском (87,8%), Лаганском (65,7%), Малодербетовском (53,3%), Октябрьском (65,3%), Целинном (58,9%), Черноземельском (56,6%),

Юстинском 77,4%), Яшкульском (63,8%) районах. Отметим, что в Ики-Бурульском районе вторыми по численности являются даргинцы (15,1%), а в Юстинском районе казахи (11,0%).

Ареал расселения калмыков в республике в целом сформирован на территории всей республики, у русских он сформирован во всех городах, а также в юго-западных (Городовиковский, Яшалтинский, Приютненский, Целинном) и в северных (Малодербетовском и Сарпинском) районах.

В постсоветский период изменения этнической структуры населения в Калмыкии наиболее динамично происходили с 1989 по 2002 гг. Так удельный вес русских в республике сократился на -4,5%, а доля калмыков выросла на 7,9%. В следующий период активность смены снизилась, удельный вес русских сократился в период с 2002 по 2010 гг. на -3,9%, что все же выше общероссийского показателя (в целом в России на -2,1%). Удельный вес калмыков вырос на 2,9%. Вырос удельный вес в целом у других этносов на 5,8%, и в 2002 г. составлял -13,1%). Немного вырос и удельный вес в целом других этносов на 1,1% и составил в 2010 г. 14,2%.

Анализируя активность изменения этнического состава населения на внутри-республиканском уровне, отметим, что удельный вес русских сократился во всех без исключения городах и муниципальных районах, но наиболее динамичные показатели отмечаются как раз на территориях их компактного проживания – г. Элисте, г. Лагани Городовиковском, Малодербетовском, Целинном, Приютненском районах (рис. 1):

– в г. Элисте – сокращение доли русских составило -7%, а у калмыков доля выросла на 2,9%. Общая доля других этносов выросла на 4,1% и составила 9,0%;

– в Целинном районе – сокращение доли русских составило -3,8%, а у калмыков доля выросла на 5,8%. Общая доля других этносов сократилась на 2,1% и со-

ставила 9,1%;

– в Малодербетовском районе – сокращение доли русских составило -3,2%, а у калмыков доля выросла на 4%. Общая доля других этносов сократилась на -0,8% и составила 5,8%;

– в Приютненском районе – сокращение доли русских составило -2,9%, а у калмыков доля выросла на 2,3%. Общая доля других этносов выросла на 0,6% и составила 13,2%;

– в г. Лагани – сокращение доли русских составило -2,4%, а у калмыков доля выросла на 2,1%. Общая доля других этносов сократилась на -0,7% и составила 11,6%;

– в Городовиковском районе – сокращение доли русских составило -2,4%, а у калмыков доля выросла на 2,1%. Общая доля других этносов сократилась на -0,7% и составила 11,6%.

В остальных муниципальных районах Калмыкии изменение соотношения этнической структуры населения не превышает среднероссийский показатель.

Таким образом, исследование динамики этнической структуры населения в Кабардино-Балкарии и Калмыкии подтверждает общероссийские тенденции [3], складывающиеся в целом в национальных административно-территориальных образованиях страны. Выделяются муниципальные районы и города с повышенной скоростью изменения этнической структуры населения, при этом важной чертой таких территорий является относительно высокий удельный вес русских. Изменения происходят преимущественно за счет роста доли титульных этносов, хотя и доля других этносов на таких территориях остается выше, чем в среднем по рассматриваемым регионам.

*Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ 18-35-00173 «Полимасштабный геоинформационный мониторинг трансформации этнической структуры населения городской и сельской местности в России».*

### Библиографический список

1. Бадмаева Н.В., Иджаева Б.В. Этническая структура расселения в республике Калмыкия // Вестник Калмыцкого института гуманитарных исследований РАН. 2015. №1. С. 135–140.
2. Тхамокова И.Х. Этнические аспекты урбанизации Кабардино-Балкарии // Мanusкрипт. 2018. №9 (95). С. 41–46.
3. Черкасов А.А. Этнические аспекты урбанизации в России. Ставрополь: ФОК-Юг, 2016. 240 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛЕНГИНСКОМ СРЕДНЕГОРЬЕ

В статье рассматриваются современные подходы к изучению динамики эрозионных форм рельефа, созданных временными водотоками. Описывается технология изучения оврагов с использованием БПЛА на основе ортофотопланов и локальных ЦМР на ключевом участке в пади Нижняя Буланка (Селенгинское среднегорье), позволяющая с высокой точностью оценить изменение эродируемых площадей и объемов размываемых грунтов. Данная технология позволяет фиксировать динамику отдельных эрозионных форм, в том числе в условиях, когда из-за сокращения количества осадков снижается потенциал водной эрозии.

*Ключевые слова:* Селенгинское среднегорье, овраг, эрозия, беспилотный летательный аппарат, тахеометрическая съемка, цифровая модель рельефа.

## USING OF REMOTE SENSING METHODS IN THE ASSESSMENT OF THE INTENSITY OF EROSION PROCESSES IN THE SELENGA MIDDLE MOUNTAIN

The article discusses modern approaches to the study of the dynamics of erosive landforms created by temporary streams. The technology for studying gullies using UAVs based on orthophotomaps and local DEMs at the key site in the Nizhnyaya Bulanka Pad (Selenga middle mountain) is described, which makes it possible to accurately assess the change in eroded areas and volumes of eroded soils. This technology allows to record the dynamics of individual erosion forms, including in conditions when, due to a decrease in the amount of precipitation, the potential of water erosion decreases.

*Keywords:* Selenga middle mountain, gully, erosion, unmanned aerial vehicle, tacheometric survey, digital terrain model.

Исследование оврагов в Селенгинском среднегорье, в частности в бассейне р. Куйтунка, проводится в разных аспектах уже более полувека, но, несмотря на это, интерес к данной территории по-прежнему не угасает. Изучением рыхлых отложений, экспонирующихся в глубоких эрозионных формах по правому борту Куйтунской долины, с сопутствующим описанием ископаемой фауны, занимался Д.Б. Базаров [1]. Общее описание и характеристику овражно-балочной сети территории в разные годы выполняли Н.М. Васильев [2], В.А. Тармаев [4]. Палеогеографические реконструкции природной среды в плейстоцене и голоцене по данным анализа почвенно-седиментационных серий с привлечением материалов по ископаемой фауне из разрезов рыхлых отложений, вскрытых оврагами в бассейне р. Куйтунка, проводились Ю.В. Рыжовым, Д.В. Кобылкиным [5] и другими исследователями. На основе изучения почвенно-седиментационных серий на описываемой территории установлены основные

этапы почвообразования в Селенгинском среднегорье [5]. Интерес к изучению эрозионных процессов в бассейне р. Куйтунка в частности связан с высокой плотностью овражно-балочной сети на данной территории. Так, на схеме, составленной по данным космической съемки, насчитывается 210 оврагов длиной более 100 м, общая протяженность овражной сети составляет 202,54 км, густота эрозионного расчленения – 0,18 км/км<sup>2</sup>.

В последние годы в Забайкалье в целом и в Селенгинском среднегорье в частности наблюдается уменьшение количества осадков и общее сокращение стока рек [3]. Данный факт затрудняет исследование эрозионных процессов, которые связаны с геологической деятельностью временных водотоков, формирующихся благодаря осадкам, но вместе с тем, в подобных условиях приобретает актуальность разработка точных методов изучения динамики овражно-балочных сетей с использованием новых цифровых технологий.

К такому относится и использование в географических исследованиях беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для получения данных о морфометрических характеристиках природных объектов, в совокупности с математическим и программным обеспечением для их последующей обработки [8].

Исследование проводилось в пределах Куйтунской межгорной котловины в период с 2016 по 2019 гг. Указанный район представляет собой небольшое понижение в центральной части Селенгинского среднегорья в бассейне р. Куйтунка [7]. Котловина неоднородна по характеру рельефа, относительно изолирована от окружающей территории отрогами хребта Цаган-Дабан с абсолютными высотами до 1200 м. Легкий гранулометрический состав рыхлых отложений и эрозионно-денудационная деятельность временных водотоков способствовали развитию здесь значительного количества хорошо выраженных эрозионных образований склонового типа и значительного числа отрицательных форм рельефа донного типа (лощинно-балочного подтипа), имеющих ящикообразную форму [4]. Примером подобных эрозионных форм в пределах изучаемой территории является донный овраг в пади Нижняя Буланка, расположенный в бассейне р. Куналейка в 2 км севернее с. Большой Куналей (Тарбагатайский район Республики Бурятия).

Для наблюдений за динамикой эрозионных процессов в теплые сезоны года (2016–2018 гг.) в качестве модельного выбран ключевой участок – боковой отрожек оврага в пади Нижняя Буланка – длиной 139 м, с абсолютными высотами устьевой и вершинной частей 698,7 и 700,6 м соответственно, уклон по тальвегу в среднем составляет  $0,8^\circ$ . Максимальные глубина и ширина исследуемой формы рельефа – 10 и 27 м соответственно [6].

При определении динамики границ оврага в пади Нижняя Буланка применен метод повторной тахеометрической съемки с постоянно закрепленных позиций (даты съемки: 3.07.2016 и 24.07.2017). Для проведения работ были закреплены две точки съемочной основы долговременными реперами. Характеристики тахеометра Trimble M3: точность измерений –  $\pm 2$  мм, дальность съемки варьирует от 1,5 до 270 м в безотражательном режиме и от 1,5 до 3000 м с одной призмой. Съемка осуществлена способом полярных координат с записью данных в память прибора. Данные обработаны в программном обеспечении

(ПО) CREDO ТОПОПЛАН. В результате обработки полученных данных получены электронные версии топопланов, рассчитаны морфометрические характеристики оврага (ширина, длина и площадь). По данным тахеометрической съемки площадь оврага увеличилась за период наблюдений на  $50 \text{ м}^2$ .

Для создания разновременных ортофотопланов и ЦМР оврага использована съемочная аппаратура, смонтированная на борту квадрокоптера DJI Mavic Pro. Данный БПЛА – это радиоуправляемая модель летательного аппарата, оборудованная гироскопической стабилизационной системой, GPS-приемником, автопилотом, цифровой ортонормированной камерой для съемки в видимом диапазоне. Число эффективных пикселей – 12,4 мегапикселей. Полеты отслеживаются с помощью программного обеспечения наземного контроля на экране смартфона, соединенного через пульт управления по сети Wi-Fi с автопилотом и камерой. Для корректной географической допривязки использовалось 6 крестообразных ( $1 \times 1$  м) маркированных цветом контрольных точек местности (GCP – Ground Control Points), пространственно разнесенных по территории участка съемки. Географические координаты контрольных точек местности получены с помощью двухчастотного GPS/ГЛОНАСС-приемника Javad Lexon GGD.

В результате проведения работ созданы высокоточные разновременные ортофотопланы и ЦМР оврага (даты съемки: 10.10.2016; 25.06.2017; 07.09.2017; 04.09.2018). Для достижения высоких показателей пространственного разрешения и одинаковых условий съемки была задана одна высота – 30 м. Получены ортофотопланы с векторами границ и ЦМР с пространственным разрешением  $1,24 \text{ см/пиксель}$ .

При фотограмметрической обработке цифровых изображений и создания на их основе ЦМР использовано ПО AgiSoft PhotoScan. Баланс цветов выровнен в созданной мозаике снимков. Проекция снимков – UTM, координатная система – WGS84. Форматы выходного файла – GeoTIFF и TIFF с файлом привязки (world-файлом), позволяющие работать со снимками в любой ГИС. В соответствии с рекомендациями руководства пользователя Agisoft PhotoScan обеспечено продольное и поперечное перекрытие снимков не менее 70%. Для выявления морфометрических показателей динамики линейной эрозии в ПО GNU Octave выполнен анализ разнове-

менных объемных моделей оврага.

Оценка точности ортофотоплана и ЦМР от 25.06.2017 г взята из отчета обработки программного обеспечения Agisoft PhotoScan. Приведем осредненную ошибку местоположения камеры, м:  $X = 0,596$ ;  $Y = 0,434$ ;  $Z = 0,341$ ; общая (квадратный корень суммы квадратов ошибок) – 0,812. Таким образом, за год изменение площади проекции бровки оврага на горизонтальную плоскость составило 47 м<sup>2</sup>, что оказалось точнее, чем при съемке тахеометром.

Так как цифровые модели рельефа получены в узлах регулярной сетки, то объемы смытого грунта могут быть определены методом дискретного интегрирования значений высоты относительно дна оврага (глубины оврага) с последующим умножением на размерность пикселя. При подсчетах выявлено, что за год объем смытого грунта увеличился на 1452 м<sup>3</sup>, за 2 года – на 2112 м<sup>3</sup>.

Трудозатраты на съемку с борта БПЛА намного меньше затрат на тахеометрическую съемку и, тем более, с применением в линейного метода реперов. Так, на аэро-съемку оврага со сверхвысоким пространственным разрешением 1,24 см/пиксель было затрачено 20 мин, на тахеометрическую съемку с шагом 0,5 м – 3 ч. Программная обработка тахеометрических и данных с борта БПЛА занимает одинаковое время – 30 мин, но при этом съемка тахеометром позволяет установить только площадной прирост оврагов, а аэросъемка с борта БПЛА – объемный.

Таким образом, описанная технология анализа роста оврагов с использованием БПЛА позволяет с высокой точностью проводить оценку динамики площадных и объемных характеристик линейных эрозионных форм и может успешно применяться в географических исследованиях в том числе, в условиях низкой интенсивности эрозионных процессов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания БИП СО РАН и при поддержке гранта РФФИ № 19-55-53026.*

### Библиографический список

1. Базаров Д.Б. Четвертичные отложения и основные этапы развития рельефа Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Бурятское кн. изд-во, 1968. 166 с.
2. Васильев Н.М., Тулохонов А.К., Волошин А.Л. Динамика оврагообразования в Селенгинском среднегорье (по историко-картографическим материалам) // Геоморфология. 1988. № 4. С. 44–49.
3. Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги / Н.Л. Фролова [и др.], // Водные ресурсы. 2017. Том 44. № 3. С. 243–255.
4. Овражная эрозия в бассейнах рек Куйтунка, Куналейка, Тарбагатайка Селенгинского среднегорья Республики Бурятия / В.А. Тармаев [и др.] // Stiinta Agricola. 2006. № 1. С. 48–51.
5. Основные периоды почвообразования и осадконакопления в лесостепных ландшафтах Селенгинского среднегорья в позднеледниковье и голоцене / Ю.В. Рыжов, В.А. Голубцов, Д.В. Кобылкин В.Н. Черных // География и природные ресурсы. 2015. № 3. С. 114–125.
6. Оценка развития линейной эрозии на примере оврага в Селенгинском среднегорье / А.К. Тулохонов [и др.] // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2018. Т. 62. № 3. С. 327–336.
7. Равский Э.И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогенезе. М.: Наука, 1972. 336 с.
8. Сатдаров А.З. Методы исследования регрессивного роста оврагов: достоинства и недостатки // Записки Казанского университета. Серия «Естественные науки». Т. 158. Кн. 2. Изд-во Приволжского федерального университета. 2016. С. 277–292.

УДК 528.88

А.Н. Шихов<sup>1</sup>, А.П. Герасимов<sup>1</sup>, А.И. Пономарчук<sup>1</sup>, Е.С. Перминова<sup>2</sup>, gis@psu.ru<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия<sup>2</sup>Группа компаний «СКАНЭКС», г. Москва, Россия

## РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО ТЕМАТИЧЕСКОМУ ДЕШИФРИРОВАНИЮ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СРЕДНЕГО И ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В статье рассматривается структура, содержание и основные особенности нового учебного пособия по тематическому дешифрированию космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения (с фокусом на данные Landsat и Sentinel-2), подготовленного коллективом авторов из Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) и группы компаний «СканЭкс».

*Ключевые слова:* космические снимки, тематическое дешифрирование, Landsat, Sentinel-2, учебное пособие.

A. Shikhov<sup>1</sup>, A. Gerasimov<sup>1</sup>, A. Ponomarchuk<sup>1</sup>, E. Perminova<sup>2</sup>, gis@psu.ru<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia<sup>2</sup>SCANEX Group, Moscow, Russia

## DEVELOPMENT OF THE MANUAL ON THE THEMATIC INTERPRETATION OF SATELLITE IMAGES OF MEDIUM- AND HIGH SPATIAL RESOLUTION

The article discusses the structure, content and main features of the new training manual on thematic interpretation of satellite images of medium and high spatial resolution (focusing on Landsat and Sentinel-2 data), prepared by a team from the Perm State University and the SCANEX group.

*Keywords:* satellite images, thematic interpretation, Landsat, Sentinel-2, tutorial.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) в настоящее время является интенсивно развивающимся способом получения актуальных и объективных данных о процессах и явлениях, происходящих в различных геосферах Земли. В свою очередь, дешифрирование (интерпретация) данных ДЗЗ становится одним из важнейших методов для большинства наук о Земле.

Выделяют два основных вида дешифрирования снимков – визуальное (экспертное) и автоматическое (автоматизированное). Последнее включает задачи классификации изображений с применением традиционных и современных методов. Стремительный рост объемов данных ДЗЗ с неизбежностью порождает востребованность методов автоматической обработки снимков. Однако вне зависимости от растущей доли и объемов автоматического дешифрирования всегда будет важно умение быстро, эффективно и по возможности безошибочно интерпретировать аэрокосмические снимки, то есть выполнять визуальное дешифрирование. Данная задача решается на основе прямых и косвенных (индикационных) дешифровочных признаков. Знание и успешное использование этих признаков (в первую

очередь косвенных) в значительной степени зависит от опыта эксперта и наличия под рукой справочника с эталонным представлением опознаваемых объектов и их оптических свойств.

Для накопления и последующей передачи опыта экспертного дешифрирования снимков требуются соответствующие примеры распознавания объектов, процессов и явлений по их дешифровочным признакам, сопровождающиеся исчерпывающими пояснениями. В период, предшествовавший активному развитию автоматизированных методов, был накоплен обширный опыт экспертного дешифрирования снимков и подготовлен ряд справочных изданий – атласов дешифрирования. Такие атласы представляют собой сборники спутниковых изображений с приложением подробных описаний отобразившихся на них объектов, процессов и явлений. Ряд подобных атласов был подготовлен Географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова и в других организациях [1; 3–4]. Также в 2005 г. Инженерно-технологическим центром СканЭкс было подготовлено иллюстрированное пособие [2]. Из зарубежных ресурсов стоит выделить опубликованное на сайте департамента природных ресурсов Канады онлайн ру-

ководство по основам ДЗЗ, включающее примеры дешифрирования оптических и радиолокационных материалов космической съемки [5].

С 2005 г. в России не было подготовлено ни одного учебного пособия, посвященного экспертному дешифрированию снимков. При этом все ранее изданные пособия устаревают, в частности по причине быстрого совершенствования спутниковых съемочных систем. В связи с этим, возникла потребность в создании нового учебного пособия, которое охватывало бы основные актуальные задачи тематического дешифрирования. Такое пособие было подготовлено в рамках совместной работы коллектива авторов с кафедры картографии и геоинформатики ПГНИУ и группы компаний СканЭкс. Целью создания пособия является систематизация опыта экспертного дешифрирования космических снимков с наиболее доступных и часто используемых съемочных систем (Landsat-8/OLI, Sentinel-2/MSI и SPOT 6/7). При этом в пособии рассматриваются задачи и примеры дешифрирования, наиболее актуальные и практически значимые для территории России.

Структура пособия включает введение, три основных раздела, заключение и список литературы. Во вводном разделе кратко изложены необходимые теоретические сведения (основная терминология в области ДЗЗ из Космоса и дешифрирования спутниковых снимков). Во втором разделе приведена характеристика основных спутниковых съемочных систем среднего и высокого разрешения (Landsat-8/OLI, Sentinel-2/MSI и SPOT 6/7), снимки с которых используются далее для описания примеров дешифрирования. В третьем (основном) разделе пособия приведены многочисленные примеры тематического дешифрирования различных объектов, процессов и явлений по спутниковым снимкам.

В структуре третьего раздела пособия выделены подразделы, соответствующие основным областям тематического дешифрирования. Рассматривается дешифрирование экзогенных геоморфологических процессов и форм рельефа, почвенного покрова, снежно-ледовых поверхностей, гидрографической сети, породного состава и возрастной структуры лесов, нарушений лесного покрова, вызванных лесохозяйственной деятельностью и природными факторами, естественной нелесной растительности, сельскохозяйственных угодий и их деградации, а также промышленных, техногенных объектов и некоторых видов

загрязнения природной среды.

Каждый подраздел включает примеры дешифрирования соответствующих объектов, процессов и явлений по мультиспектральным снимкам, с указанием оптимальной комбинации спектральных каналов, дешифровочных признаков и выводов по интерпретации соответствующих элементов изображений, сделанных на их основе. Используются изображения, полученные в оптическом диапазоне, т.е. от видимого участка электромагнитного спектра до среднего инфракрасного (ИК) диапазона. Снимки визуализированы в наиболее часто используемых комбинациях спектральных каналов, таких как «естественные цвета» (RED-GREEN-BLUE), красные цвета (NIR-RED-GREEN) и «псевдоцвета» (SWIR-NIR-RED). Помимо примеров дешифрирования (рис. 1) и их описаний, в пособии также приведены характерные спектры различных типов поверхностей, полученные по данным Sentinel-2/MSI (рис. 2).

Объем подразделов несколько различается, так как он определяется в том числе опытом авторского коллектива в каждой области дешифрирования. Так, раздел, посвященный дешифрированию нелесной растительности, имеет сравнительно небольшой объем по причине отсутствия соответствующей экспертизы у коллектива авторов. В то же время наиболее детально рассмотрены такие задачи, как дешифрирование нарушений лесного покрова, сельскохозяйственных угодий и их деградации, объектов складирования промышленных отходов и некоторых геоморфологических форм и процессов.

В целом, несмотря на ярко выраженный тренд на автоматизацию дешифрирования, роль человека (специалиста-дешифровщика, картографа) в процессе анализа данных ДЗЗ остается ключевой, а также повышаются требования к квалификации таких специалистов. Во-первых, для обучения современных алгоритмов автоматизированного распознавания объектов на снимках требуется иметь значительный по объему тренировочный набор данных. Во многих случаях (за исключением наиболее простых), такая выборка может быть создана только специалистом, хорошо ориентирующимся в тематическом дешифрировании. Во-вторых, при дешифрировании многих объектов, процессов и явлений по снимкам ключевыми являются косвенные признаки, которые пока не учитываются ни одним современным алгоритмом автоматизированного распознавания.

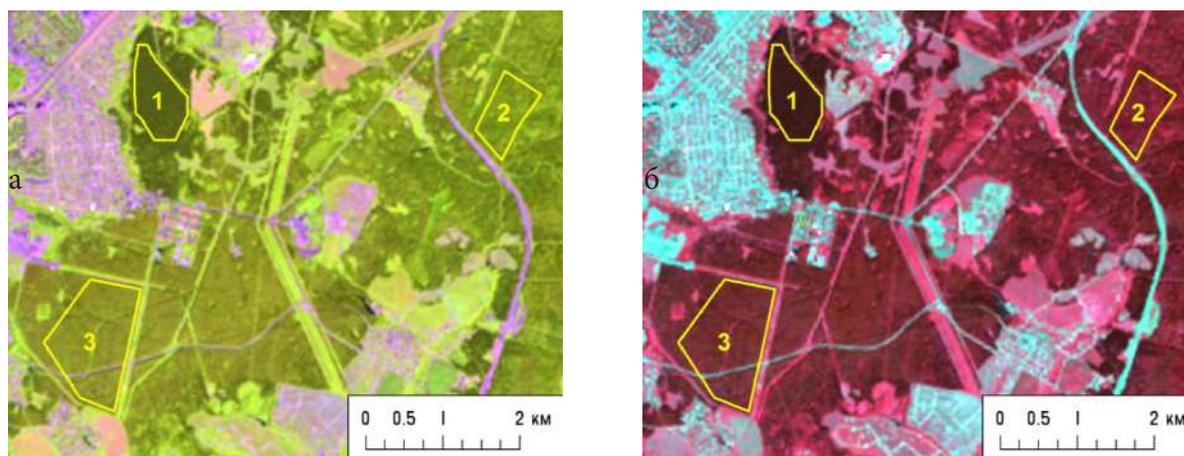


Рис. 1. Ареалы темной хвойной леса (1), смешанного елово-березового леса (2) и елово-липового леса (3) на снимке Landsat-8 летнего периода в синтезе SWIR-NIR-RED (а) и в синтезе NIR-RED-GREEN (б)

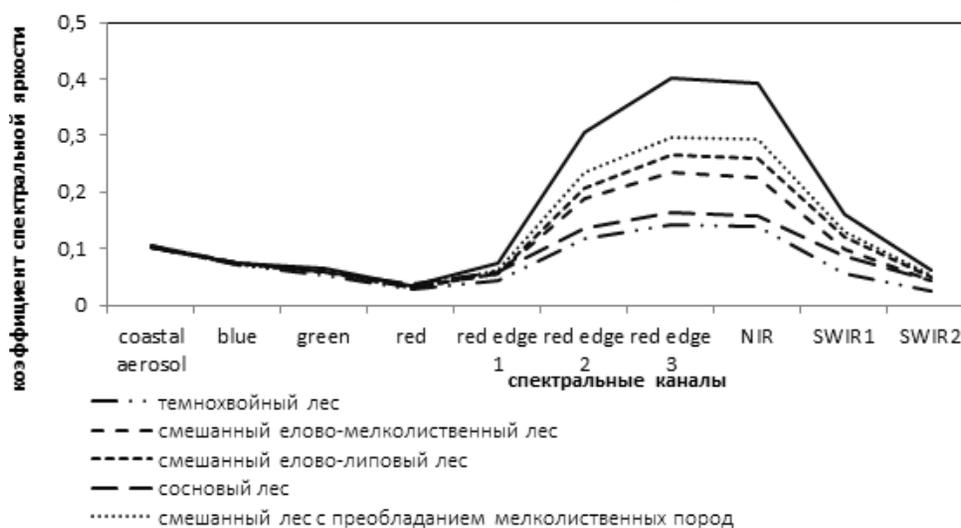


Рис. 2. Спектральная отражательная способность лесов различного породного состава (по снимку Sentinel-2)

Исходя из этого, авторы рассчитывают, что подготовленное учебное пособие будет представлять интерес для широкого круга специалистов, использующих

данные ДЗЗ и различные приемы их дешифрирования для решения научных и практических задач.

### Библиографический список

1. Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков: Методика и результаты. М.: Наука. Берлин: Академи-ферлаг, 1982. 84 с.
2. Изображения Земли из Космоса: примеры применения. Научно-популярное издание. М.: Инженерно-технологический центр «СКАНЭКС», 2005. 100 с.
3. Космические методы геоэкологии. Атлас / под ред. В.И. Кравцовой. М.: Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 1998. 108 с.
4. Кравцова В.И., Митькиных Н.С. Устья рек России. Атлас космических снимков / Под ред. В.Н. Михайлова. М.: Научный мир, 2013. 124 с.
5. Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9309> (дата обращения: 13.05.2019).

А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин, yamashkinsa@mail.ru  
 Национальный исследовательский Мордовский государственный университет,  
 г. Саранск, Россия

## РАЗВИТИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ДЗЗ

В статье предложены направления развития новых эффективных геоинформационных методов и алгоритмов комплексной интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) как узлового элемента блока анализа проектно-ориентированных инфраструктур пространственных данных (ИПД). Изучена проблематика формирования информативных наборов многомерных массивов пространственных данных для обучения глубоких нейросетевых моделей на основе тестовых полигонов. Дано обоснование открытых проблем в области создания новых эффективных методов и алгоритмов комплексной интерпретации данных ДЗЗ, требующих экспериментального исследования.

*Ключевые слова:* инфраструктура пространственных данных, машинное обучение, проектно-ориентированная система, данные дистанционного зондирования Земли.

A. Yamashkin, S. Yamashkin, yamashkinsa@mail.ru  
 National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

## DEVELOPMENT OF GEOINFORMATION METHODS AND ALGORITHMS FOR INTEGRATED INTERPRETATION OF ERS DATA

The article suggests directions for the development of new effective geographic information methods and algorithms for the integrated interpretation of Earth remote sensing data as a nodal element of the design-oriented SDI analysis unit. The problems of the formation of informative sets of multidimensional spatial data arrays for the training of deep neural network models based on test ranges are studied. The substantiation of open problems in the field of creating new effective methods and algorithms for the complex interpretation of remote sensing data requiring experimental research is given.

*Keywords:* spatial data infrastructure, machine learning, project-oriented system, spatial data.

**Введение.** Изменения в географической оболочке, обусловленные техногенными воздействиями, могут обернуться локальными, региональными или глобальными экологическими проблемами. Задача повышения эффективности анализа закономерностей пространственно-временной организации сложных динамических геосистем с целью реализации стратегии устойчивого развития регионов входит в число актуальных научных проблем современности. Платформенным средством повышения эффективности решения проблем в данной сфере на современном этапе выступают геопортальные системы, функционирующие на основе цифровых инфраструктур пространственных данных [4].

Опыт использования ИПД в последние десятилетия позволяет выделить наиболее часто решаемые проблемы: планирование, ведение кадастровых систем, мониторинг состояния природных, социальных, экономических систем и их вза-

имодействия; управление территориями. Системы этого класса являются гибким и универсальным инструментом обеспечения процессов сбора, обработки, хранения и визуализации пространственной информации о состоянии природных, социальных, производственных систем и их взаимодействия, основанной на консолидации наборов базовых данных, которые могут включать ДЗЗ, системы пространственной привязки, графовые сети дорог, гидрологические сети, цифровые модели рельефа, кадастровую и адресную информацию, а также метаданные. В последние несколько лет космические агентства развернули большое количество спутников наблюдения Земли. Так, в России были запущены спутники дистанционного зондирования Земли «Ресурс-П» и спутники мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций серии «Канопус-В». Европейским космическим агентством в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды Copernicus запущены спутники дистанционного зондирования

семейства Sentinel, предназначенные для мониторинга систем землепользования, лесных и водных ресурсов, анализа развития стихийных бедствий. Данные ДЗЗ представляют собой актив и тактический ресурс для принятия решений во многих областях, таких как управление социальными процессами, повышение эффективности сельского хозяйства, борьба со стихийными бедствиями, общественная безопасность, координация поиска полезных ископаемых, охрана окружающей среды.

К ключевым вопросам создания и развития эффективных ИПД следует отнести:

1) совершенствование технологий поддержки информационных процессов получения, обработки и распространения пространственных данных, основанных на средствах анализа, интерпретации, моделирования и синтеза новых пространственных моделей;

2) формирование схем рациональной организации и использования геопортальных систем для поддержки принятия управленческих решений;

3) разработку теории и методов организации баз пространственно-временных данных и их систем управления.

Объектами системного пространственного анализа в ИПД являются геосистемы со сложной структурой и большим разнообразием связей, автоматизация в изучении которых требует интеграции многих отраслей знаний, непосредственно связанных с научно-техническим прогрессом и основанных на системном подходе. Модель геосистемы является основным инструментом для пространственного анализа, свойства компонентов которой наиболее рационально описываются картографическими моделями, а взаимосвязи между ними формируются на основе численных методов анализа, что в итоге приводит к созданию цифровых геоинформационных моделей.

**Формирование массивов исходных пространственных данных для интерпретации.** Краеугольным элементом для эффективного применения автоматизированных методов анализа данных ДЗЗ является определение репрезентативного и информативного набора обучающих массивов. Точность автоматизированной классификации пространственных объектов можно повысить при условии калибровки процесса машинного анализа на основе материалов полевых исследований, полученных с тестовых полигонов по-

средством наземных измерений на основе непосредственного наблюдения. Актуальностью научной проблемы повышения качества проводимых исследований в области интерпретации космических снимков определена высокая роль формирования научно обоснованной системы тестовых полигонов для дешифрирования данных ДЗЗ, мониторинга развития природных и природно-техногенных процессов [2], влияния окружающей среды на человека и генерация базы размеченных выборок для машинного обучения на их основе. Наличие банка тестовых полигонов позволяет подойти к решению задачи создания новых эффективных методов интеллектуального анализа космической съемки благодаря наличию актуальных баз данных достоверных спектральных сигнатур.

Собранные разнородные данные должны быть использованы для формирования экспериментально синтезированных генеративными глубокими нейронными сетями пространственно-временных признаков в качестве исходных данных для нового цикла обучения нейронных сетей. В области формирования информативных признаков актуально использование вейвлет-преобразований. Использование системы тестовых полигонов позволяет обосновать оптимальное решение в области обучения представлением пространственных данных, направленного на изучение абстрактных и полезных представлений, позволяющих автоматически обнаружить представления, необходимые для выявления иерархических признаков, заменяющих ручное конструирование.

Базовые признаки должны быть объединены и проанализированы рекуррентными и сверточными глубокими моделями, а также сетями прямого распространения. Скрытое объединение на уровне признаков целесообразно осуществлять компонентом слияния признаков для автоматизированного объединения различных скрытых признаков посредством глубокой модели [6]. Сверточные компоненты модели будут использованы для анализа особенностей пространственного представления, рекуррентная – временного представления, а встраивание сетей позволит изучить корреляции между участками данных.

Мощность аппаратного обеспечения и архитектурная сложность современных глубоких нейронных сетей не гарантируют высокой точности интерпретации данных: очень многое зависит от исходных обучающих, валидационных и тестовых

данных. Новизна и качество достигаемых научных результатов могут быть обеспечены использованием карт морфометрии, устойчивости геосистем к внешним воздействиям, внедрением электронных синтетических ландшафтных карт (ЭСЛК) [2], разрабатываемых на основе принципов структурно-генетических ландшафтных исследований [1; 3]. ЭСЛК, создаваемые по результатам дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли, в комбинации с картами земного покрытия (Land Cover) и землепользования (Land Use) позволяют оптимизировать анализ состояния и структуры геосистем.

**Решение ключевых проблем комплексной интерпретации пространственных данных посредством глубоких нейронных сетей.** Поиск нейросетевых архитектур для интерпретации данных ДЗЗ должен быть основан на выборе пространства поиска, определяющего типы используемых моделей; стратегии поиска, определяющей подходы к исследованию пространства поиска; стратегии оценки производительности формируемой нейросетевой модели [7]. Пространство поиска определяет, какие архитектуры могут быть представлены в принципе для решения задачи анализа больших пространственных данных [5]. Использование априорных знаний, систематизированных на предыдущем этапе, позволит уменьшить размер пространства поиска и упростить его. К актуальным вызовам следует отнести анализ следующих пространств поиска:

1) пространство нейронных сетей с цепочечной структурой, описываемое как последовательность уровней, будет параметризовано максимальным числом слоев, типами операций, выполняемых каждым слоем, гиперпараметрами, связанными с операцией, например количеством фильтров, размером ядра и шагом для сверточного слоя;

2) пространство моделей с ветвящейся структурой, в которых имеются слои, объединяющие выходные данные предыдущего уровня, а также служащие источником данных для нескольких последующих слоев; использование таких архитектур приводит к значительному увеличению степени свободы.

Гибридные архитектуры, построенные из блоков, легче переносить или адаптировать к другим наборам пространственно-временных данных посредством изменения количества ячеек и

фильтров, используемых в модели. Кроме этого, повторение блоков с определенной вероятностью позволит повысить эффективность модели. Для исследования пространства нейронных архитектур важно последовательно использовать различные стратегии поиска: случайный поиск и поиск по сетке (для небольших моделей, требующих дальнейшего иерархического структурирования), байесовскую оптимизацию, эволюционные методы, обучение с подкреплением и методы на основе градиента. Представленные стратегии направлены на поиск нейронной архитектуры, которая максимизирует некоторые показатели производительности, такие как точность классификации данных ДЗЗ или прогнозирование развития природных или природно-техногенных процессов.

Учитывая потенциальную нехватку помеченных данных, применение вейвлет-преобразований и неконтролируемых алгоритмов обучения для глубоких архитектур является одной из первоочередных научных проблем, для решения которой целесообразно использовать гибкую многослойную неконтролируемую предварительную подготовку в сочетании с высокоэффективным алгоритмом для неконтролируемого обучения разреженных признаков.

**Выводы.** Для решения задачи изучения динамики геосистем, природно-техногенных процессов и прогнозирования направления и скорости их развития необходимо проведение экспериментальных исследований системных связей и закономерностей развития и функционирования природно-социально-производственных систем на основе комплексного применения глубоких сверточных и рекуррентных нейронных сетей к анализу данных ДЗЗ и ЭСЛК. Ключом к формированию процесса обучения прогностических нейронных сетей выступит гипотеза о том, что на каждом этапе освоения территории на основе взаимодействия природных и технологических процессов создается конкретная структура природопользования, сопровождающаяся развитием набора деструктивных геоэкологических процессов, определяемых свойствами вмещающего ландшафта. Глубокие модели машинного обучения для интерпретации данных ДЗЗ должны строиться исходя из решаемых ею задач.

Результаты экспериментов по обучению глубоких прогностических нейросетевых моделей необходимо свести в

систему принципов построения эффективных сверточно-рекуррентных нейронных сетей, практическое использование которой сделает возможным повышение эффективности прогнозирования пространственно-временных процессов в сравнении с эмпирическим подходом конфигурирования нейронных сетей.

Следующие открытые проблемы требуют экспериментального исследования.

1. Насколько хорошо глубокие нейросетевые модели работают с ограниченными наборами пространственно-временных данных, с какими проблемами сталкивается обучение на больших массивах, как эффективно решить проблему переобучения?

2. Как глубокие нейронные сети работают с нетрадиционными пространственно-временными данными, в том числе с ЭСЛК, как глубокие сверточные и рекур-

рентные нейронные сети анализируют гетерогенные данные и каким образом наиболее эффективно выполнить слияние пространственно-временных данных из разных источников?

3. Каковы пути оптимизации глубоких нейронных сетей с целью повышения точности классификации данных ДЗЗ, снижения ошибок I и II рода и прогнозирования пространственно-временных процессов?

Создаваемое методическое и алгоритмическое обеспечение должно быть апробировано при решении научных и практических задач статического и динамического прогнозирования развития природно-техногенных чрезвычайных ситуаций и оценки их последствий.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-37-70055.*

### Библиографический список

1. Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 160 с.
2. Пространственная модель ландшафтов западных склонов Приволжской возвышенности / А.А. Ямашкин [и др.] // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25. № 3. С. 124–132.
3. Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во НУМЦ. 2002. С. 76–178.
4. Ямашкин С.А. Структура регионального геопортала, как инструмента публикации и распространения геопространственных данных // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 6. С. 223–225.
5. Candela L., Castelli D., Pagan P. Managing Big Data through Hybrid Data Infrastructures // ERCIM News. 2018. № 89. P. 37–38.
6. Wu H., Prasad S. Convolutional recurrent neural networks for hyperspectral data classification // Remote Sensing. 2017. № 9(3). P. 298.
7. Zhu X. X., Tuia D., Mou L. Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources // IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine. 2017. № 5(4). P. 8–36.

# ЦИФРОВЫЕ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

УДК 630\*581/584

У.А. Андропова, Р.А. Соколов, u.andronova@mail.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕСОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ

В статье рассмотрен процесс построения карты лесных питомников Пермского края на основе созданной базы данных, включающей сведения о современном местоположении питомников (лесничество, участковое лесничество, квартал, выдел, широта, долгота), площади, типе питомника, породному составу выращенных сеянцев. Дана краткая характеристика питомников.

*Ключевые слова:* лесные питомники, карта, база данных, Пермский край.

U. Andronova, R. Sokolov, u.andronova@mail.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN REPRODUCTION OF FORESTS IN PERM REGION

The article discusses the process of forming a map of forest nurseries in the Perm Territory on the basis of created databases that include data on existing nurseries (forestry, participation in forestry, quarter, latitude, longitude), area, type of nursery, species composition, seedling cultivation. A brief description of the nurseries is given.

*Keywords:* forest nurseries, map, database, Perm region.

Леса Пермского края относятся к таёжной зоне и зоне хвойно-широколиственных лесов. Леса занимают свыше 71% территории края. Это наибольший показатель среди регионов Приволжского федерального округа. Территориальное распределение лесов края крайне неоднородно. В северных, северо-восточных районах до 90 % территории покрыто лесами. К югу и вокруг крупных населённых пунктов лесистость заметно снижается, а в южных районах она снижается до 30-35 %. Лесистость по административным районам края колеблется от 30,7 % (Чернушинский район) до 96,4 % (Горнозаводский район) [4].

Площадь рубок на территории края с каждым годом только растёт. В 2019 году в Пермском крае вырублено сплошными и выборочными рубками 41 818 га [4].

На данный момент одной из важнейших проблем лесного хозяйства Пермско-

го края является воспроизводство лесов в кратчайшие сроки хозяйственно ценными породами и повышение их продуктивности. Создание лесных питомников позволяет выращивать в них высокопродуктивные насаждения необходимого видового состава и определенного целевого назначения.

Лесной питомник – структурное подразделение лесничества или специализированная его часть, предназначенная для выращивания посадочного материала [1].

Посадка лесных культур является наиболее эффективным методом создания искусственных насаждений. Этот метод обеспечивает надежность создаваемых культур, расход семян на их выращивание в несколько раз меньше, чем на создание культур посевом, кроме того, уменьшается потребность в агротехнических уходах, ускоряется перевод лесных культур в покрытые лесной растительностью земли.

На территории Пермского края расположено 28 лесничеств. На базе 15 лесничеств имеются лесные питомники. Их общая площадь составляет 134,82 га.

По размерам питомники принято делить следующим образом:

- Мелкие (до 5 га);
- Средние (5-15 га);
- Крупные (более 15 га) [3].

Из имеющихся питомников 9 мелких (Красновишерский, Вайский, Гайнский, Кудымкарский, Горнозаводский, Горнозаводский 2, Добрянский, Осинский, Кудединский), 4 средних (Купросский, Соликацкий, Кизеловский, Чусовской) и 3 крупных (Сивинский, Суксунский, Чайковский).

В основном выращивается ель сибирская (*Picea obovata*, Ledeb) и ель гибридная (*Picea abies* x *Picea obovata*), в небольшом количестве выращивают сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.). В 2019 году на базе питомников выращено 8 767,2 тыс. шт. стандартного посадочного материала, из них: ели сибирской – 6 184, 3 тыс. шт. (70,5%), ели гибридной – 2 452,9 тыс. шт. (27,9 %), сосны обыкновенной – 130 тыс. шт. (1,6 %) [4].

В результате камеральной обработки рабочих проектов лесных питомников создана база данных питомников Пермского края в программе Microsoft Access. Настоящая база данных включает следующие сведения по каждому питомнику: лесничество, участковое лесничество, квартал, выдел, широта, долгота, площадь, тип питомника, выращиваемая порода, количество выращенных сеянцев.

В настоящее время на территории Пермского края не создавались карты с современным местоположением лесных питомников. В результате этого возникает необходимость создания такой карты для систематизации собранных данных и их визуализации.

ГИС-технологии являются одними из наиболее удобных, эффективных и мощных средств решения задач исследования природных процессов, протекающих в экосистемах большого масштаба. ГИС можно определить, как интегрированную автоматизированную компьютерную информационную систему, предназначенную для сбора, проверки, интеграции и анализа данных, имеющих пространственно-временную привязку, основой интеграции которых является географическая информация [2].

Одним из наиболее рациональных способов представления информации по конкретной территории являются тематические карты. В лесном хозяйстве используются методы картографирования как одни из основных для систематизации и выражения разноплановой информации, связанной с использованием лесов.

В качестве программного обеспечения для создания карты использовалась программа ArcGIS американской компании ESRI. Она поддерживает широкий спектр векторных и растровых форматов, отличается удобным русифицированным интерфейсом и наличием большого количества доступных методических материалов.

Карта формировалась векторными и растровыми данными, созданными на основе цифровых топографических слоев масштаба 1:200 000, включающего следующие тематические слои:

1. Границы Пермского края;
2. Границы лесничеств;
3. Границы участковых лесничеств;
4. Границы лесных кварталов;
5. Границы лесотаксационных выделов;
6. Точечный слой питомников. В таблице атрибутивных данных содержится информация о названии объекта, его площадь, тип питомника, координаты местоположения (формат координат – широта, долгота);
7. Точечный слой выращиваемых пород. В атрибутивных данных слоя содержится информация о названии породы, координаты местоположения (формат координат – широта, долгота).

Результатом работы стала карта «Лесные питомники Пермского края» (Рис. 1).

Применение ГИС-технологий позволяет использовать различные формы представления исходной информации и получать карты, как в виде сводных цифровых моделей, так и в форме отдельных покрытий во всех ГИС. Полученная карта представляет результат обработки и интерпретации большого количества данных и дает возможность сопоставлять и анализировать информацию, полученную по одному объекту в разные интервалы времени.

Авторы выражают признательность Д.В. Макурину, главному специалисту отдела государственного лесного надзора Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края, за оказанную помощь при написании настоящей статьи.

## Лесные питомники Пермского края

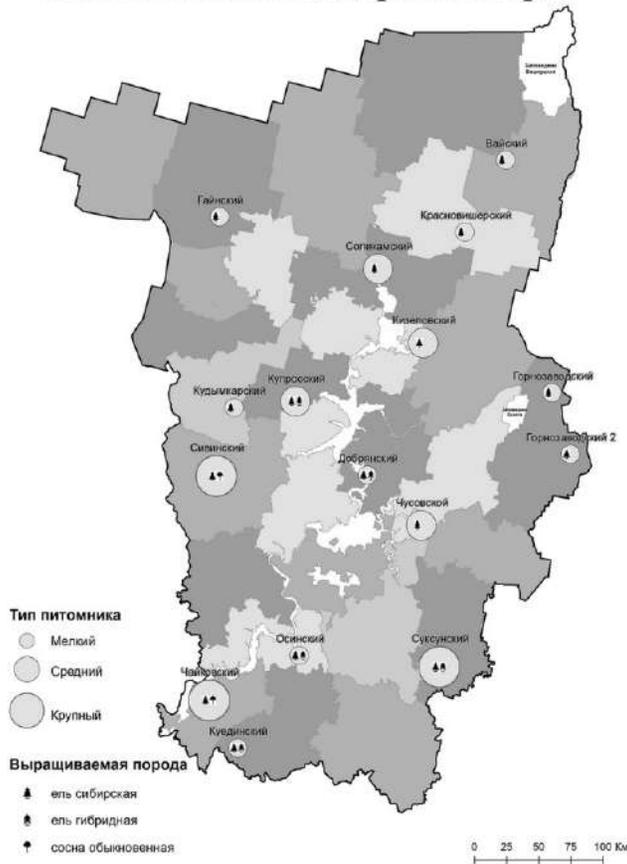


Рис. 1. Лесные питомники Пермского края

## Библиографический список

1. ГОСТ 17559-82 Лесные культуры. Термины и определения. Доступ из справочно-правовой системы «ТехЭксперт».
2. Лебедев С.В., Нестеров Е.М., Кулькова М.А., Зарина Л.М. Цифровые геоэкологические карты и некоторые приемы их построения в среде ГИС Arcgis [Электронный ресурс] // URL: <http://intercarto.msu.ru/jour/article.php?articleId=218> (дата обращения: 09.02.2020).
3. Редько Г.И.. Лесные культуры. Лесные питомники: учебное пособие. Л.: РИО ЛТА, 1976. 64 с.
4. Федеральное агентство лесного хозяйства – ФБУ «Российский центр защиты леса» - «Центр защиты Леса Пермского края» - Отчет о результатах работ по государственному мониторингу воспроизводства лесов в Пермском крае за 2018 год. Пермь. 2019. 167 с.

УДК 504.54

Д.Ю. Беляев, А.Н. Бармин, М.В. Валов, [belaevdaniil2013@mail.ru](mailto:belaevdaniil2013@mail.ru)  
Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия

## СОСТАВ И ВЛИЯНИЕ АКУСТИКО-ЗВУКОВОГО ЛАНДШАФТА ГОРОДА НА ЖИТЕЛЕЙ

В статье рассматриваются состав акустико-звукового ландшафта города и его влияние на жителей. Виды шумов и их природа. Влияние различных звуков и шумов на организм человека.  
*Ключевые слова:* акустико-звуковой ландшафт, шумовое загрязнение, шум, звук.

D. Belyaev, A. Barmin, M. Valov, [belaevdaniil2013@mail.ru](mailto:belaevdaniil2013@mail.ru)  
Astrakhan State University, Astrakhan, Russia

## STRUCTURE AND INFLUENCE OF THE ACOUSTIC-SOUND LANDSCAPE OF THE CITY ON RESIDENTS

The article discusses the structure of the acoustic-sound landscape of the city and its impact on residents. Types of noise and their nature. Influence of various sounds and noises on the human body.  
*Keywords:* acoustic-soundscape, noise pollution, noise, sound.

Среди множественных направлений экологической социологии городской среды относительно незначительное место занимают работы по анализу городского пространства как акустической системы. Однако данная тема становится актуаль-

нее с каждым годом, в связи со стремительным ростом развития урбосистем и улучшением качества жизни городских жителей. К одним из важнейших аспектов данной темы относится исследование акустико-звукового ландшафта города во всех его многообразных проявлениях. Основоположником этого направления считается канадский композитор и «отец» акустической экологии - Р.М. Шейфер [1,2]. В отечественной литературе тоже стали появляться работы, которые были посвящены истории, структуре и семантике звуко-акустических ландшафтов. В следующих десятилетиях XX в. (в 80-90 гг.) появлялись исторические описания звуковых ландшафтов разных городов, а также отдельно взятых регионов, составлялись шумовые карты и приводились различные возможные решения проблем по устранению сильного шума [6,8]. Несмотря на это исследование акустики города, по сравнению с другими отраслями научных направлений, не развивалось столь стремительно и успешно.

Акустико-звуковой ландшафт города можно описать как совокупность технических, социальных и природных шумов, которые в совокупности составляют ту самую звуковую среду, в которой существуют различные живые организмы. Классификация звуковых ландшафтов может быть отнесена по различным критериям, но стоит учесть, что по источнику возникновения звуки (шумы) могут быть природные и социальные [4].

Природные шумы – это звуки живой биотической (пение птиц, шелест листьев, рёв животных и т.д.), и неживой природы - абиотические (шум урагана, грозы, ручьев, ветра и т.д.) [16]. Для составления шумовых карт города эти источники не играют большой роли, однако при акустическом анализе, в некоторых районах стоит учитывать распространение подобных звуков.

Социальные шумы – это звуки, произведенные человеком и средствами его жизнедеятельности, которые в свою очередь разделяются по: сферам жизнедеятельности; социальным институтам; и с точки зрения повседневности или праздника – праздничные социальные шумы [4,15].

Шумы в свою очередь разделяются на 4 основные группы, имеющие подгруппы.

По механизму возникновения:

- механический шум – создается упругими колебаниями твердой и

жидкой поверхности;

- аэро- и гидрологический шум – возникает при появлении турбулентности в газовой или жидкой среде;
- электродинамический шум – возникает при появлении электрической дуги коронного разряда.

По частоте:

- низкочастотный – менее трехсот герц;
- среднечастотный – от трехсот до восьмисот герц;
- высокочастотный – выше восьмисот герц.

По спектру шумового действия:

- Широкополосный – более одной октавы;
- Тональный – неравномерное распределение энергии звука со значительным перевесом в пределах произвольной октавы.

По времени воздействия шум разделяется на:

- постоянный – уровень звукового давления в течении определенного временного промежутка постоянно в пределах 5 дБ;
- непостоянный – шум, при котором интенсивность изменяется в любую сторону более чем на 5 дБ, он бывает трёх видов:
- колеблющийся – происходит плавное колебание уровня шума от минимального до максимального значения в течении определенного времени;
- прерывистый – происходит пошаговое изменение уровня шума более чем на 5 дБ, при этом шаг имеет длительность более чем на 5 дБ, при этом шаг имеет длительность свыше 1 секунды;
- импульсный – шум, созданный одним звуком или комбинацией звуков упругих колебаний с длительностью менее 1 секунды [9,14].

Отдельное место в звуко-акустическом ландшафте города занимают механические (гул моторов, визг шин, сигналы) шумы. Именно шум от источника подобного типа играет огромную роль в акустико-звуковом ландшафте города и называется на здоровье живых организмов (Табл. 1) [13].

Таблица 1. Примеры шумового воздействия (по Д. А. Гакаеву 2015 г.)

<i>Примеры шумового воздействия</i>	<i>Шумовое воздействие, дБ</i>	<i>Эффект при продолжительном воздействии</i>
Реактивный двигатель при взлете (на расстоянии 25 м)	150	Разрыв барабанных перепонок
Удар грома, ткацкий станок, рок-музыка, сирена (близкое расстояние), цепная пила	120	Порог боли у человека
Метро, подвесной мотор, косилка для газонов, мотоцикл (расстояние 5 м), трактор, полиграфическое предприятие, отбойный молоток, мусоровоз	100	Серьезная угроза для слуха (время воздействия 8 ч.)
Оживленная городская улица, дизельный грузовик, хлопкопрядильная машина	90	Угроза для слуха (время воздействия 8 ч.), плохая слышимость
Уборка мусора, стиральная машина, типичная фабрика, товарный поезд (расстояние 15 м)	80	Возможна угроза для слуха

Окончание таблицы

Скоростная автомагистраль (расстояние 15 м), пылесос, шумный офис, вечеринка, телевизор	70	Раздражающее действие на слух
Разговор в ресторане, обычный офис, музыкальный фон, чирканье птиц	60	Интенсивное воздействие на слух
Спокойный пригород (в дневное время), разговор в жилой комнате	50	Слабое воздействие на слух. Предел гигиенической нормы
Библиотека, тихий музыкальный фон	40	
Спокойная сельская местность (в ночное время)	30	Очень слабое воздействие на слух
Шепот, шелест листьев	20	
Дыхание	10	

Так, по данным Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Краснодарскому краю, шум в больших городах сокращает продолжительность жизни человека. Это сокращение колеблется в пределах 8-12 лет. Чрезмерный шум может стать причиной нервного истощения, психической угнетённости, вегетативного невроза, язвенной болезни, расстройства эндокринной и сердечно-сосудистой систем. Шум мешает людям работать и отдыхать, снижает производительность труда. Наиболее чувствительны к действию шума лица старших возрастов.

Так, в возрасте до 27 лет на шум реагируют 46% людей, в возрасте 28-37 лет – 57%, в возрасте 38-57 лет – 62%, а в возрасте 58 лет и старше – 72% [12].

Отдельного внимания стоит уделить шумам, которые образуются инфра- и ультразвуками. В отличие от многих живых организмов человек не способен слышать эти звуки, а следовательно не способен защищаться от их пагубного влияния. Стоит отметить, что степень их вредного воздействия зависит частоты и времени воздействия. Так, работа внутренних органов, вибрация, создаваемая голосовыми связками, колебания легких также сопровождают

ждается генерацией инфразвуков, однако они никак не вредят организму. В природе источниками этих звуков являются сейсмические колебания земной коры, вулканические извержения или различные взаимодействия геологических субъектов Земли [11].

В современном обществе источниками инфразвуков являются авиационные и ра-

кетные двигатели, громкоговорители или органные трубы. Особую опасность для человека несут инфразвуки частотой 5-10 Гц, они, из-за резонансного влияния действуют на клетки живой ткани, которые имеют частоту собственных колебаний в диапазоне приблизительно 8 Гц. Такие инфразвуки несут сильный вред внутренним органам человека (Табл. 2) [10].

Таблица 2. Влияние частоты инфразвука на органы человека (по В.Гаврю 1953 г.)

Частота инфразвука, Гц	Наносимый вред
5	Повреждение печени
6	Развитие морской болезни
7	Возможна остановка сердца, разрыв кровеносных сосудов
8>	Сильное влияние на психику человека: сонливость, раздражительность, страх и т.д.

Инфразвуки значительной интенсивности способны вызывать не только изменения слуховой чувствительности, но и болезненные ощущения, модуляцию голоса, затруднение речи, нарушение респираторной активности и изменение ритмов мозга. Ультразвуки же, источником которых в условиях городской среды являются множественные процессы промышленного производства и транспорта, при малой интенсивности благотворно действуют на живые организмы, а при большой интенсивности способны разрушать клетки живых организмов [7]. Скорость их распространения в условиях города, зависит от свойств среды, следовательно, уровень ультразвуков в различных его частях будет значительно отличаться [3].

Таким образом звуко-акустические ландшафты напрямую связаны с качеством жизни живых организмов, в числе которых и человек. Неблагоприятный звуко-акустический ландшафт приводит к ряду заболеваний, которые в итоге могут привести к смерти организма. Не зря проблема шумного городского ландшафта начала беспокоить людей ещё с давних времен, но для того чтобы решить эту проблему необходимо конкретно знать ее природу и характер возникновения, так едва ли не на заре своего существования, в знаменитом «Эпосе о Гильгамеше» великий потоп рассматривается «... как наказание за то, что человечество производит много шума и тем самым надоедает Богу» [5].

### Библиографический список

1. Блехман И.И. Вибрационная механика. М.: Физматлит, 1994. 400 с.
2. Вершинин С.Е. Звуковой ландшафт города: проблемы гармонизации // Социальное пространство современного города; под ред. Г.Б. Кораблевой, А.В. Меренкова. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. С. 100-112.
3. Дьяконова И.М. Эпос о Гильгамеше «О все видавшем». СПб.: Наука. 2006. 218 с.
4. Нестерова Е.И. Вслушиваясь в прошлое: звуковая история в поисках своей терминологии // Вестник РГГУ. Серия «Культурология. Искусствоведение. Музеология». М.: РГГУ, 2013. № 7(108). С. 80-87.
5. Руководство по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий среды. Р2.2.2006-05. Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. М.: 2005. № 3. С. 3-144.

6. Румянцев С.Ю. Книга тишины. Звуковой ландшафт города. СПб.: Дмитрий Буланин, 2003. 247 с.
7. Справочный портал Калькулятор. Звук. Шум. Классификация шума. [Электронный ресурс] URL: <https://www.calc.ru/Zvuk-Shum-Klassifikatsiya-Shuma.html> (дата обращения: 05.01.2020).
8. Суворов Г.А., Шкаринов Л.Н., Денисов Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций. М.: Медицина, 1984. 240 с.
9. Тэйлор Р. Шум. М.: Мир, 1978. 308 с.
10. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Краснодарскому краю [Электронный ресурс] // О влиянии шума на здоровье человека (по материалам территориального отдела Управления Роспотребнадзора по Краснодарскому краю в Славянском, Красноармейском, Калининском районах) URL: <http://23.rospotrebnadzor.ru/content/325/14474> (дата обращения: 05.01.2020).
11. Хузиахметов Р.А. Исследование вибрации и ее оценка: Методические указания к лабораторно-практическим занятиям. Казань: КГАСУ, 2013. 34 с.
12. Челноков А.А., Ющенко Л.Ф. Основы промышленной экологии. Минск, 2001. 343 с.
13. Штомпка П. Визуальная социология. М.: Логос, 2007. 150 с.
14. ЭкотестЭкспресс [Электронный ресурс] // Шумовое загрязнение URL: <https://ecotestexpress.ru/articles/shumovoe-zagryaznenie> (дата обращения: 05.01.2020).
15. Schafer R.M. «The Tuning of the World». 1977. 288 p.
16. Schafer R.M. The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World // Rochester. VT. 1994. № 5. P. 71–87.

УДК 502:504

С.А. Бузмаков, lep@psu.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия*

### **ИНФОРМАЦИОННОЕ ПОЛЕ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»**

Рассматриваются проблемы формирования информационного поля кафедры, которая занимается подготовкой учащихся в сфере охраны окружающей среды. Анализируется информационная взаимосвязь научной, образовательной и общественной деятельности.

*Ключевые слова:* антропогенная трансформация природной среды, образовательная деятельность, общественная роль, компьютеризация, информация.

S. Buzmakov, lep@psu.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

### **THE INFORMATION FIELD HAS A RELEASING DEPARTMENT IN THE SPECIALTY «ECOLOGY AND MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES»**

The problems of forming the information field of the department, which is engaged in the preparation of students in the field of environmental protection, are considered. The informational relationship of scientific, educational and social activities is analyzed.

*Keywords:* anthropogenic transformation of the natural environment, educational activities, social role, computerization, information.

Информационные технологии становятся приоритетным аспектом развития в природопользовании и научно-образовательный процесс в высшей школе должен соответствовать современности. Кафедра как учебно-научное подразделение находится в информационном пространстве и формирует информационное поле [6]. Хорошо из-

вестно, сигнальные поля формируют коммуникативные процессы у практически всех млекопитающих [5].

Кафедра биогеоценологии и охраны природы была создана при активном содействии профессора Б.А.Чазова в 1977г. приказом № 306 Министерства образования СССР. В этом же году на географическом факультете ПГУ была открыта специализация по кафедре на первом, втором и третьем курсах очного и заочного отделения. С 1998 г. ведется подготовка экологов-природопользователей в рамках специальности «Природопользование». В 2010г. проведен переход от специальности к бакалавриату по направлению «Экология и природопользование». Выпускники кафедры работают в различных природоохранных, производственных, образовательных, проектных и научных учреждениях.

За время существования кафедры техническое обеспечение информационного поля прошло эволюцию от пишущей ма-

шинки и калькулятора до ЭВМ и сети персональных компьютеров. Информационное поле кафедры определяется научной, учебной, общественной деятельностью, которые благодаря цифровым технологиям становятся все более связанными между собой, позволяют осуществлять передачу данных и управление (Рис.1).

Научная работа решает несколько задач, главные из которых – это получение и поддержание высокой квалификации преподавателей и внедрение актуальных достижений в учебный процесс. Научная тематика кафедры основывается на разработке теории антропогенной трансформации природной среды. Однако в современной реальности финансирование получают в основном прикладные исследования, посвященные частным вопросам сохранения, восстановления и использования природной среды.

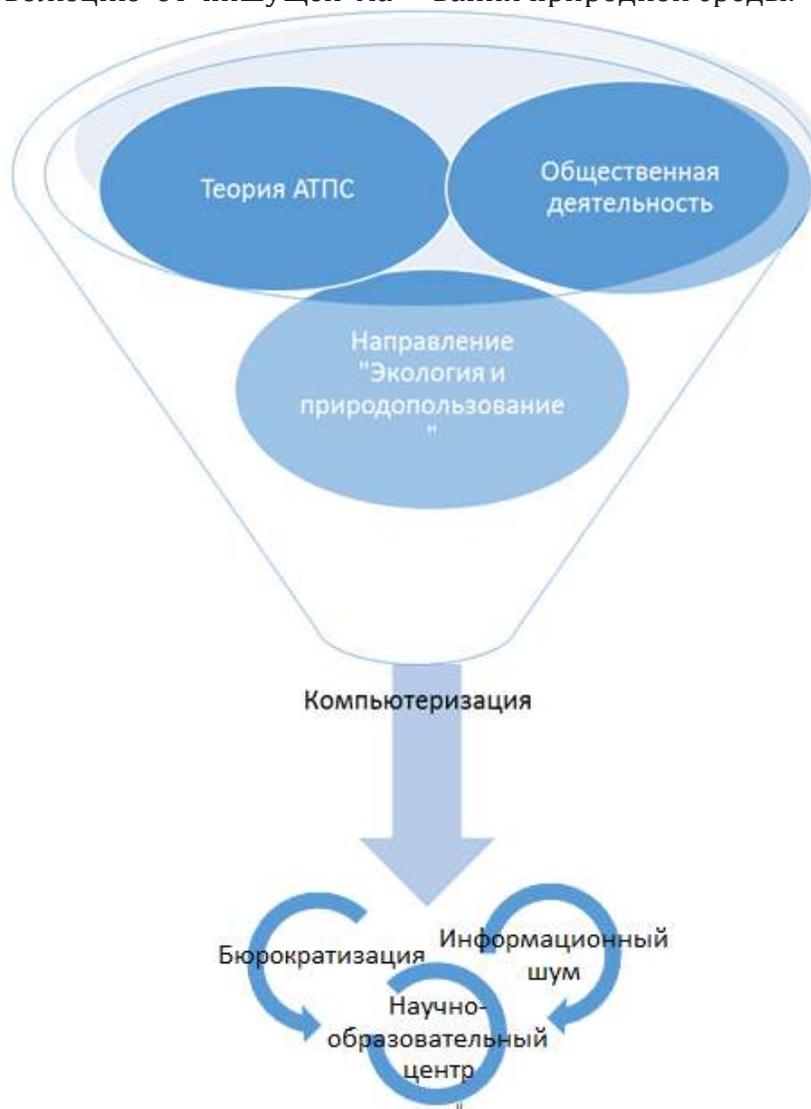


Рис. 1. Информационное поле научно-образовательной деятельности кафедры в экологии и природопользовании

Продолжается стабильное изучение вопросов формирования устойчивой и репрезентативной сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Пермского края [13]. Подготовлена база данных в форме ГИС. Кафедра создала по своим проектам заповедники «Басеги» и «Вишерский», была создана региональная сеть ООПТ, разработан план внедрения сети местных ООПТ для города Перми. На региональном уровне разработан проект и создан природный парк «Пермский». Развитие познавательного и экологического туризма требует применения цифровых технологий использования ООПТ и учета экологической безопасности для сохранения географического и биологического разнообразия. Кроме того, требуется разработка региональной модели экологической безопасности для сохранения и использования объектов природного наследия пермского периода для формирования познавательного туризма. Разработка проекта репрезентативной сети ООПТ Кунгурской островной лесостепи несомненно должна проходить с использованием ГИС-технологий [13].

Научная проблематика по обеспечению экологической безопасности при рациональном использовании ресурсов природной среды в условиях антропогенной трансформации природной среды часто формируется работами по моделированию техногенных процессов [1]. Проведены многолетние наблюдения за состоянием компонентов природной среды: водных объектов, атмосферного воздуха, почвенного и растительного покрова, микробного населения и, в целом, экосистем в карстовом районе при нефтедобыче [11]. Разработана концептуальная модель техногенных процессов деградации экосистем. Часть результатов опубликована и доложена на конференциях международного и федерального уровня.

Исследование процессов восстановления природной среды сконцентрировано на проекте нормативов допустимого остаточного содержания нефти и остаточных продуктов нефти для различных типов почв Пермского края. Разработаны основы геотехнологии восстановления деградированных и загрязненных земель под влиянием поступления углеводородов и токсичных солей на нефтепромыслах [3]. Развиваются взаимоотношения с академическими лабораториями [9,10]

Перспективы развития информационного поля связаны с разработкой частных моделей техногенной трансформации

компонентов природной среды; ГИС-модели техногенных процессов в карстовом районе при нефтедобыче. Весьма важное направление использование беспилотного летательного аппарата для формирования информационного потока о пространственном состоянии природной среды и антропогенном влиянии [7]

Полученные эмпирические данные и их обобщения преобразуются не только в научную продукцию, но и учебные материалы. В 2011г открыта магистратура по программе «Устойчивое развитие и охрана природы», которая рассчитана на подготовку специалистов в сфере особо охраняемых природных территорий. Научные исследования в области экологической безопасности при добыче углеводородного сырья позволили открыть магистратуру «Экология и природопользование нефтегазового комплекса».

Образовательные программы, учебно-методические комплексы по магистратуре могут быть насыщены примерами из исследовательской деятельности, материалами в форме «кейсов», презентаций для визуализации лекций и семинаров. Единая телеинформационная система ПГНИУ позволила унифицировать процесс и результат методической работы.

Также ведется обучение в аспирантуре по специальности «Геоэкология», в которой кроме аспирантов выполняют кандидатские диссертации и соискатели. Ежегодно с 2009 года проводится школа-семинар молодых ученых посвященный памяти Н.Ф.Реймерса и Ф.Р.Штильмарка. Обмен научными и педагогическими идеями возможен в журнале «Антропогенная трансформация природной среды».

Общественная деятельность базируется на продвижение представлений об устойчивом развитии [8] в жизнь университета через подготовку и внедрение положений экологической политики [2,4], взаимодействие с общественными организациями в качестве экспертов и консультантов.

Информационные технологии, кроме позитивных результатов, несут опасность цифровой бюрократизации процессов подготовки учебно-методических документов, что выражается в стремлении увеличения количества учебных планов и программ в бесконечность, усложнения внедрения новых актуальных дисциплин. Снижение уровня информационного «шума» зависит от качества сбора, анализа и подготовки обработанных научных

данных и их передачи в образовательную и общественную сферы.

Необходимо совершенствовать информационный поток, который в настоящее время организован в следующей последо-

вательности: прикладные геоэкологические исследования – разработка теории антропогенной трансформации природной среды – учебно-методические документация – научно-популярные статьи и книги.

*Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-05-09244.*

### Библиографический список

1. Березкин В.А., Губайдуллин М.Г. Моделирование аварийного разлива нефти в Печорском море для оценки зоны поражения акватории с учетом направления и скорости ветра // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. № 5. С. 15-20.
2. Боева Д.В., Хаустов А.П. Оценка влияния автотранспорта на территорию кампуса Российского университета дружбы народов // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. № 4. Т. 26. С.419-430. DOI: <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2018-26-4-419-430>
3. Бузмаков С.А. Восстановление земель при различных уровнях загрязнения нефтью // Записки горного института. СПб. 2013. Т.203. С.128-132.
4. Бузмаков С.А., Хотяновская Ю.В. Экологическая политика для университета // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 15-18.
5. Никольский А.А. Концепция биологического сигнального поля как раздел общей экологии// Биологическое сигнальное поле млекопитающих. Коллективная монография под ред. А.А.Никольского, В.В.Рожнова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. С. 7-11.
6. Ожерельева Т.А. Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 10-2. С. 21-24.
7. Санников П.Ю., Андреев Д.Н., Бузмаков С.А. Выявление и анализ сухостоя при помощи беспилотного летательного аппарата // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 3. С. 103-113.
8. Файзиева Г.В., Шевелев Е.А. Университетский кампус - основа создания современного образовательного ландшафта // Гуманитарные науки и образование. 2017. № 2 (30). С. 70-74.
9. Buzmakov S. A., Andreev D. N., Zaytsev A. A., Khotyanovskaya Y. V. and Voronov G. A. Possible sources of pollution by oil products of water body in karst area //2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 321 012051. doi:10.1088/1755-1315/321/1/012051
10. Buzmakov S. A., Khotyanovskaya. Y. V. Degradation and pollution of lands under the influence of oil resources exploitation // Applied Geochemistry, Volume 113, February 2020, 104443. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104443>
11. Buzmakov S.A., Voronov G.A., Zaytsev A.A. The Characteristics of the State of Protected Areas of Perm Krai // World Applied Sciences Journal. 2013. №22 (7). P. 956-963.
12. Egorova D.O., Nazarova E.A., Demakov V.A., Plotnikova E.G., Buzmakov S.A., Andreev D.N. Bioremediation of hexachlorocyclohexane-contaminated soil by the new Phodococcus wratislaviensis strain CH628 // Water, Air, & Soil Pollution. 2017. Т. 228. № 5. P. 183.
13. Egorova D.O., Shestakova E.A., Plotnikova E.G., Farafonova V.V., Andreyev D.N., Maksimov A.S., Vasyanin A.N., Buzmakov S.A. Bioremediation of soil contaminated by dichlorodiphenyltrichloroethane with the use of aerobic strain rhodococcus wratislaviensis ch628 // Eurasian Soil Science. 2017. Т. 50. № 10. P. 1217-1224.

А.С. Бурмистрова<sup>1,2</sup>, В.В. Клименко<sup>1</sup>, М.С. Середина<sup>3</sup>, alena.burmistrova95@mail.ru

<sup>1</sup>Тюменский государственный университет, Институт Наук о Земле, г.Тюмень, Россия

<sup>2</sup>ФБУ ВНИИЛМ Филиал «Сибирская ЛОС», г. Тюмень, Россия

<sup>3</sup>Национальный парк «Таганай», г.Златоуст, Россия

## ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТАГАНАЙ»

В статье описывается физико-географическое положение национального парка, геологическое строение почвенный покров, климатические характеристики, а так же флора и фауна парка.

*Ключевые слова:* Национальный парк «Таганай», климат, геология, почвенный покров, флора, фауна.

A. Burmistrova<sup>1,2</sup>, V. Klimenko<sup>1</sup>, M. Seredina<sup>3</sup>, alena.burmistrova95@mail.ru

<sup>1</sup>University of Tyumen, Institute of Earth Sciences, Tyumen, Russia

<sup>2</sup>VNIILM Branch "Siberian forest experiment station", Tyumen, Russia

<sup>3</sup>Taganay National Park, Zlatoust, Russia

## ENVIRONMENTAL AND GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF THE TAGANAY NATIONAL PARK

The article describes the physical and geographical location of the national park, geological structure and soil cover, climatic characteristics, as well as flora and fauna of the park.

*Keywords:* Taganay National Park, climate, geology, soil cover, flora, fauna.

По набору, структуре и динамическому статусу экологических систем национальный парк «Таганай» является эталоном современного состояния ландшафтов, характерных для горнолесной зоны Южного Урала. Исключительное разнообразие физико-географических условий, богатейший состав горных пород и минералов, сложность и разнообразие растительного и животного мира, удобное географическое положение и развитая сеть дорожно-тропиночной сети и магистралей, высокие рекреационные качества территории национального парка выдвигают его в число уникальных объектов охраны природы и отдыха не только российского, но и международного значения [6].

**Физико-географическое положение.** Новоземельско-Уральская горная страна. Таганайского-Ямантауский среднегорный гольцово-таежный округ Уралтауской провинции Южно-Уральской области. Северная часть Центрально-Среднегорной области Южного Урала. Подзона елово-пихтовых лесов с примесью сосны, лиственницы и лиственных пород в составе горной провинции лесной зоны Уральской горной страны. На уровне типа ландшафты на территории парка относятся к таежным и подгольцовым с дифференциацией на подтипы: южно-таежный, таежный,

гольцово-подтаежный, гольцовый. Пояс тайги: 400 м н.у.м.(нижняя граница) – 700 м н.у.м. (верхняя граница); Пояс широколиственных лесов: 400 м н.у.м.(нижняя граница) – 700 м н.у.м. (верхняя граница); Пояс субальпийских лугов: 700 м н.у.м.(нижняя граница) – 900 м н.у.м. (верхняя граница); Подгольцовый пояс: 900 м н.у.м.(нижняя граница) – 1000 м н.у.м. (верхняя граница); пояс горных тундр: выше 1000 м н.у.м. По расстоянию и направлению относительно ближайших пунктов расположен - город Златоуст - 0 км к северу, пос. Магнитка - 0 км к востоку. По расстоянию и направлению относительно автомобильных и железных дорог расположен - Южно-Уральская железная дорога - 1 км на северо-восток, автомобильная дорога М-5 - 20 км на север. По расстоянию и направлению относительно ближайших рек, озер и др. водных объектов расположен - река Ай (приток реки Белой) - 5 км к северу [5].

Территория Национального парка «Таганай» расположена в горнолесной зоне Челябинской области. Согласно схеме геоботанического районирования европейской части, бывшего СССР (Лавренко, Исаченко, 1976; Грибова и др., 1980) территория парка входит в состав Камско-Печёрско-Западноуральской подпровинции Урало-Западносибирской таёжной провинции

Евразийской таёжной (хвойнолесной) области [4]. Согласно новейшей схеме флористического районирования территории Российской Федерации, разработанной Р.В. Камелиным (2004), данная территория входит в состав Южноуральской подпровинции Восточно-Европейской провинции Евросибирской подобласти Циркумбореальной области Бореального подцарства Голарктического царства.

**Геологическое строение и почвенный покров.** Если говорить о геологической истории НП «Таганай», то ее корни уходят глубоко в древность и причисляются к протерозойской эре, временные рамки которой 2700 -570 млн.лет. Около 1500 млн. лет назад образовался огромный прогиб (Уральская геосинклиналь) в зоне контакта Русской и Сибирской платформ, затопленный водами древнего моря. В этих условиях происходило накопление мощной толщи рифейских отложений, складчатые структуры которых, ныне слагают весь Златоустовский район. Данные отложения относятся к верхнему протерозою и богаты залежами полезных ископаемых, таких как магнезит, сидерит, магнетит, бурый железняк, медные руды, барит и др. В эпоху байкальской складчатости (680 млн.лет назад) некоторые части Уральской геосинклинали неоднократно претерпевали изменения. Они были сжаты в складки меридионального простирания. Тогда это было горное сооружение кордильерского типа [7].

В начале палеозоя (490 млн. лет назад) Урал вновь претерпел интенсивное опускание, которое продолжалось на протяжении 170 лет. В конце палеозоя (280 млн. лет назад) на месте межплатформенного прогиба (Уральская геосинклиналь) образовалась Уральская складчатость, подобная Альпийской. Далее, Урал вступил в платформенную (равнинную) стадию развития. Выравнивание шло в условиях жаркого засушливого климата, который сменялся влажным. Эти процессы в значительной степени и определили современный тип равнинной местности территории национального парка. Завершающая стадия, которая произошла 25 млн. лет назад в кайнозой (плиocene) произошло интенсивное альпийское горообразование, что и определило облик современной горной системы Таганая, выстроив ряды параллельных хребтов (Юрма, Большой Таганай, Ицыл, Уреньга, Уральский хребет). Они были сложены архейскими и протерозойскими отложениями, в состав которых входит 12 свит [7].

В районе преобладает Таганайская свита с выходом интрузивных пород, устойчивых к выветриванию [8].

Почвообразовательные процессы с генетической точки зрения можно рассматривать как процессы диагенетические, а почву, как первую стадию изменения осадочных отложений и литификации. Отложения, на которых основаны современные типы почв данной территории, относят к четвертичным. Соответственно, выделяют следующие типы отложений: коллювиально-солифлюкционные; элювиально-делювиальные; элювиальные, аллювиальные, аллювиально-пролювиальные, аллювиально-делювиальные и биогенные [1].

В плане почвенного районирования, т.к. большую часть парка слагают растительные сообщества темнохвойных и смешанных лесов, на территории парка выделяются следующие типы почв: горные серые лесные, дерновые горнолесные, горно-луговые и горно-тундровые.

Горные серые лесные почвы распространены под лесами горнолесного пояса, также, на заболоченных участках с ними сочетаются болотные торфяно-глеевые почвы. Богаты по содержанию гумуса и количеству обменных катионов. Прослеживается четкое разделение на горизонты, по механическому составу и кислотности слабо отличаются от дерновых горнолесных почв [1].

Дерновые горнолесные почвы низкорослых лесов подгольцового пояса. Характеризуются слабым разделение на горизонты, кислой средой и малой степенью оподзолености. По механическому составу – суглинистые, слоенные на щебнистом элювии [1].

Горно-луговые почвы – лучше развиты, чем предыдущие почвы, также характерны для подгольцового пояса. Характеризуются крупнотравной и злаковой растительностью, т.е. относятся к почвам равнинной местности, четким разделением на горизонты и хорошо рыхло задернённой поверхностью. В силу мощного перегнойного горизонта почвы богаты гумусом. По механическому составу – суглинистые [1].

Горно-тундровые почвы – развиты на маломощном площадном элювии коренных пород. Для них характерны суровые климатические условия, почвы прогреваются медленно, соответственно деятельность почвенных организмов протекает, также, медленно. Это соответствует тому,

что растительные остатки разлагаются слабее. В почвенном профиле больше разложившихся растительных остатков, чем минеральных частиц. Отсутствует ясное разделение на горизонты. Почвы имеют сильно кислую реакцию [1].

Наборы генетических горизонтов каждого типа почв:

горно-тундровые почвы:

A0 – At – BC – C ; A0 – BC – C ; BC – C ;

дерново-луговые почвы:

A0 – At – A1 A2 - BC – C ;

дерновые горнолесные почвы:

A0 – At – A1 A2 - BC – C ; A0 – A1 A2 - BC – C ;

горные серые лесные почвы:

A0 – At – Ag - A1 A2 - BC – C [1].

**Климатические условия.** НП «Таганай» расположен в западной части Челябинской области и относится к подзоне южной тайги, которая характеризуется темнохвойными лесами с высокими елями и пихтами.

Климатические условия подзоны южной тайги характеризуется от прохладного с избыточным увлажнением на севере подзоны, до умеренно прохладного с недостаточным увлажнением на юге. Гидротермический коэффициент Селянинова составляет от 1,0 на юге, до 1,6 на севере [3].

Район расположения национального парка приурочен к климатическому рубежу, в полосе которого происходит задержка и существенная трансформация влажных атлантических масс и циклонов. Данный климатический рубеж разделяет две климатические области: атлантико-лесную и континентально Западно-Сибирскую [6]. К западу на климат местности оказывают влияние влажные и прохладные атлантические воздушные массы, определяющие высокую влажность воздуха, которая составляет от 64 до 84%. С востока на исследуемую территорию оказывает влияние умеренно-влажные арктические воздушные массы, холодные зимой и значительно прогретые летом, также, ощутимое влияние оказывают сухие и теплые воздушные массы, поступающие с приграничных южно-азиатских регионов. Среднегодовое количество осадков 500-1000 мм, продолжительность периода с устойчивым снежным покровом – 160-190 дней [8].

Для анализа температурного режима НП «Таганай» были взяты данные с метеостанции г. Златоуст. Анализировалась динамика изменения температур за 9 лет

(2010-2019 гг.). Были рассчитаны средняя температура холодного периода (зимние месяцы) и теплого (летние месяцы). Так, по данным расчетов было выявлено, что за 9 лет средний температурный показатель холодного периода повысился примерно на 2,5°C. Если в 2010 году его значение составляло -13°C, то в 2014 -11°C, а 2019 -8,3°C. При анализе среднего температурного показателя за теплый период (летние месяцы) значительных изменений не наблюдалось. Минимальная температура воздуха за анализируемый промежуток времени была зарегистрирована в январе 2010 года (-17,3°C), максимальная – в августе 2016 года (+26,4°C). Стоит отметить, что средний температурный показатель высокогорья и долин рознится примерно на 3 °C. Также, отличительной чертой климата национального парка является то, что его внезапная смена. Так, даже в летний период за месяц можно наблюдать не только положительные температуры, но отрицательные. Все это объясняется господством двух климатических поясов.

**Флора и Фауна.** По схеме ботанико-географического районирования Челябинской области, разработанной Б.П. Колесниковым (1961, 1964), основная территория парка «Таганай» располагается в районе темнохвойных лесов и гольцов верхнего пояса гор Южного Урала подзоны горных среднетаёжных темнохвойных лесов хребтовой полосы Урала лесной зоны Челябинской области. Юго-восточная часть парка заходит в пределы Юрюзанско-Златоустовского подрайона сосново-берёзовых лесов Катав-Златоустовского района широколиственно-темнохвойных и сосново-берёзовых лесов лесной зоны Челябинской области [3]. К настоящему времени на территории национального парка описано 728 видов высших сосудистых растений, принадлежащих с 92 семействам. Наиболее богаты видами семейства сложноцветных (12% от общего числа видов), злаковых (8% от общего числа видов), розоцветных (6,4%), осоковых (5%), норичниковых (5%) [2].

На территории национального парка выделяются три высотно-растительных пояса: горнолесной (до 950 м над ур. м), подгольцовый (950-1050 м над ур. м) и горно-тундровый (от 1050 м над ур. м).

На территории парка совместно обитают как лесные виды животных (глухарь, сойка, гаичка, ястреб-перепелятник, красная полёвка, белка, куница, медведь, кабан), так и представители остепнённых открытых пространств (хомяк, степной

хорь, зеленушка, серая куропатка и др.) [6].

К настоящему времени в парке выявлено 56 видов млекопитающих, 192 вида птиц, 6 видов пресмыкающихся, 4 вида земноводных, 9 видов рыб, учтено 262 вида насекомых. Млекопитающие представлены шестью отрядами из девяти, обитающих в России. Из общего числа видов птиц 1/3 – зимующие, остальные встречаются на перелётах и во время кочёвок.

Среди общего количества фауны в

Красные Книги занесены 6 видов млекопитающих, 17 видов птиц, 2 вида пресмыкающихся, 4 вида рыб, 40 видов насекомых [6].

Среди рыб наибольший интерес представляет одна из речных форм благородного каспийского лосося - ручьевая форель, или пеструшка, обитающая в верховьях р. Большой Киалим. Кроме форели ручьевой, встречаются и другие представители отряда лососеобразных: таймень обыкновенный, хариус европейский [6].

### Библиографический список

1. Братухин С.В. Экологический аудит национального парка «Таганай». Автореф. дисс., на соиск. ученой степени кандидата биологических наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, биол. факультет, 2005. С. 100-107.
2. Зенина О.В. Общая характеристика флоры национального парка «Таганай» // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2013. Т. 22. № 4. С. 55-59.
3. Зооинженерный факультет МСХА. Неофициальный сайт [Электронный ресурс] // Климат южной тайги URL: <https://taganay.org/node/12856> (дата обращения: 10.01.2020).
4. Куликов П.В. Конспект флоры Челябинской области (сосудистые растения). Миасс: «Геотур», 2005. 537 с.
5. Кадастровая информация о ФГБУ «Национальный парк «Таганай». 2015 г.
6. Проект освоения лесов, расположенных на землях национального парка «Таганай». Златоуст, 2015. 280 с.
7. Официальный сайт Национального парка Таганай [Электронный ресурс] // Геология URL: <https://taganay.org/node/12856> (дата обращения: 05.01.2020).
8. Шиятов С.Г., Мазена В.С., Мусеев П.А., Братухина М.Ю. Изменения климата и их влияние на горные экосистемы национального парка «Таганай» за последние столетия // Влияние изменения климата на экосистемы. Охраняемые природные территории России: анализ многолетних наблюдений. Под редакцией А. Кокорина, А. Кожаринова, А. Минина. М.: 2001 .184 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕСУРСОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВИКУЛОВСКОГО РАЙОНА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассматривается использование геоинформационных систем с целью определения ресурсообеспеченности Викуловского района.

*Ключевые слова:* геоинформационная система, цифровые технологии, Викуловский район Тюменской области, ресурсообеспеченность.

K. Valeeva, Y. Petrov, [kr.datsuk@mail.ru](mailto:kr.datsuk@mail.ru)

<sup>1</sup>Tyumen State University, Tyumen, Russia

## THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGY TO ASSESS THE RESOURCE SUPPLY OF THE VIKULOVSKY DISTRICT OF THE TYUMEN REGION

The article discusses the use of geographic information systems to determine the resource supply of the Vikulovsky district.

*Keywords:* geographic information system, digital technologies, Vikulovsky district of the Tyumen region, availability of resources.

Викуловский район расположен на северо-востоке Тюменской области (Юг) на территории Викуловского района на расположены 50 населенных пунктов с населением от 7 до 832 человек (без с. Викулово) (Рис. 1).

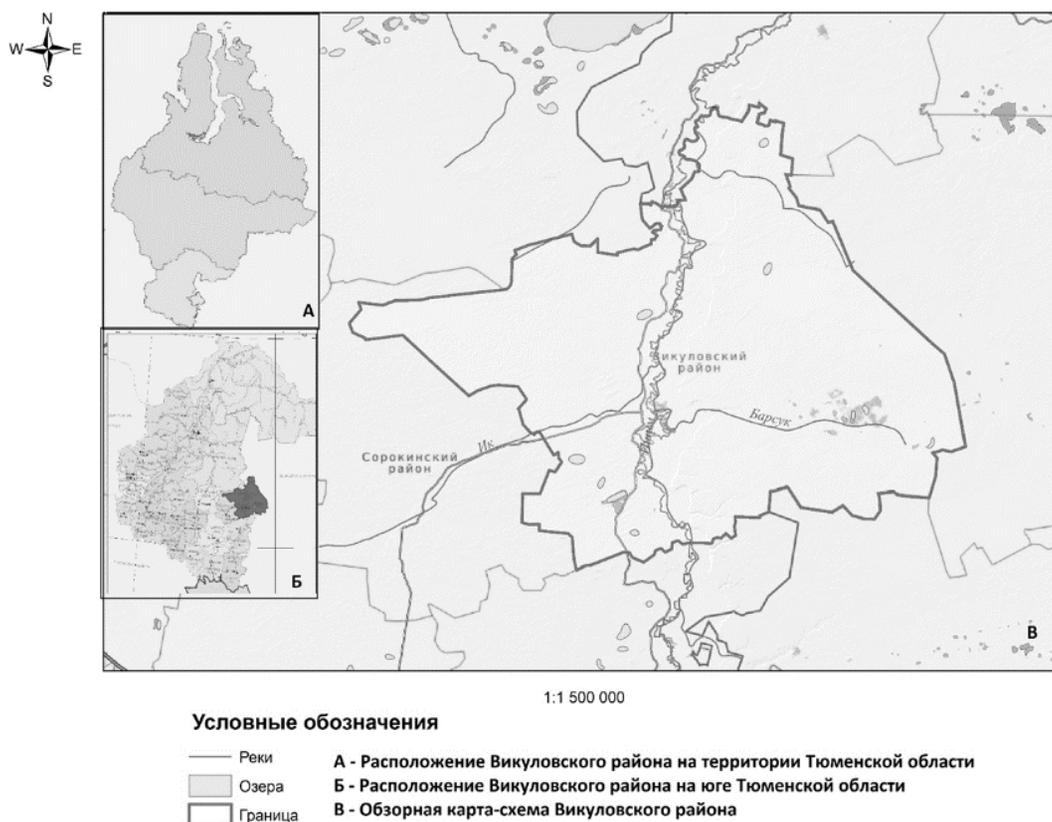


Рис. 1. Обзорная карта-схема Викуловского района Тюменской области

Прежде чем говорить о ресурсообеспеченности района, следует сказать о географических особенностях района исследования.

Рельеф местности является одним из основных факторов, влияющих на развитие какой-либо территории. На равнинных территориях процессы переноса обломочного материала намного медленнее, чем на горных или возвышенных территориях, к тому же на равнинных территориях грунтовые воды имеют высокую минерализацию, что определяется условиями затрудненного водообмена.

В соответствии с физико-географической схемой районирования Викуловский район относится к Лесной равнинной широтно-зональной области, Ашлыкской провинции, Сорокинско-Ишимскому району.

Территория Викуловского района относится к южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна, в котором выделяются два гидрогеодинамических этажа, разделенные толщей пород до 700м.

Район характеризуется континентальным климатом. Для него характерны суровые продолжительные зимы, жаркое лето, короткие весна и осень, положительные температуры атмосферного воздуха продолжают с апреля по сентябрь.

На территории района протекает р. Ишим с правым притоком – р. Барсук, и левым – р. Ик и р. Малый Ик. Также на территории Викуловского района расположено множество озер, среди которых оз. Среднее – источником питьевого водоснабжения населения с. Озерное, оз. Большой Чуртан, оз. Малый Чуртан, оз. Варзанка, оз. Домашнее и др.

Химический состав озер Викуловского района формируется за счет выщелачивания почв и пород водосборных площадей в период весеннего половодья, атмосферных осадков на зеркало озера и внутриводоемных процессов. Воды гидрокарбонатно-натриевые.

Почвы могут увеличивать минерализацию фильтрующихся через них атмосферных осадков, но также могут и метаморфизовать уже сложившийся химический состав грунтовых вод, вступающих с почвами во взаимодействие. Количественная сторона этих процессов определяется типом почв. Если вода просачивается через бедные солями болотные почвы, то она обогащается органическим веществом и лишь в очень малой мере ионами. Примерно то же самое наблюдается в подзо-

листых и супесчаных почвах. Значительно больше солей отдадут в воду черноземные почвы. Особенно сильно воздействуют на минерализацию фильтрующихся вод солончаковые почвы

На основе космоснимка 2017 года, навыков дешифрирования и программного комплекса MapInfo, была построена ландшафтная карта территории Викуловского района.

На территории Викуловского района можно выделить 5 основных типов ландшафта.

1) Пологоволнистые участки водораздельных равнин, занятые сосново-березовой растительностью на подзолистых почвах

2) Плоские участки водораздельных равнин, занятые березово-осиновой растительностью с подстилкой из злаковых сообществ на серых лесных почвах

3) Пологоволнистые участки верховых и переходных болот, занятых редким мелколесьем из осины на верховых болотах и сфагновой растительностью на переходных болотах на болотно-торфяных почвах

4) Хорошо дренированные участки речных долин, занятые лесами из берез, елей и сосен, с редко встречающимися осинами на аллювиальных почвах.

5) Хорошо дренированные плоские участки древних речных террас, занятые осоково-злаковой растительностью на луговых и черноземно-луговых почвах с редко встречающимися солонцами и солодами.

Площадь нарушенных ландшафтов составляет 12,5% площади района. Степени деградации природных комплексов и уровень экологической опасности следует оценить, как средний, поскольку изменение природных свойств ландшафта составляет 10-50 %. Неблагоприятных процессов, приводящих к деградации ландшафтов (эрозия, подтопление, дефляция) не прослеживается.

Типы воздействия на ландшафты преимущественно сводятся к физико-механическим нарушениям. Ландшафтные комплексы после такого воздействия, как правило, восстанавливаются после снятия нагрузки, что подтверждается зарастанием неиспользуемых ранее участков полей. Исключением являются автодороги. Направленность и скорость восстановления зависит от интенсивности и типа воздействия. Большая часть ландшафтов, где воздействие прекратилось находилась на

различных стадиях самовосстановления. Самовосстановление протекает через формирование травяных сообществ и березовых лесов.

Для Тюменской области в настоящее время функционирует Геопортал Тюменской области (<https://gis.72to.ru/>), который представляет из себя онлайн геоинформационную систему. База постоянно дополняется и совершенствуется. На основе данных, полученных с помощью геопортала Тюменской области, можно сделать следующие выводы об обеспеченности Викуловского района лесными ресурсами:

1) Все леса Викуловского района относятся к Западно-Сибирскому подтаежно-лесостепному району, который представлен лиственными лесами, занятыми березами и осинами с преобладанием берез. Представленные породы деревьев относятся к мягколиственному хозяйству, которое по целевому назначению используется для собственных нужд.

2) Наибольшее сосредоточение лесов наблюдается в южной и северной частях Викуловского района.

3) На территории Викуловского района на данный момент представлено всего 7 выделов, которые относятся к Викуловскому сельскому участковому лесничеству. Дата Выделов преимущественно 2019 года, что говорит о небольшом развитии лесопромышленного комплекса на данной территории.

На территории Викуловского района выделены три основных участка с целью использования под товарное рыбоводство, два из которых закреплены за конкретным пользователем водного объекта – это участок на озере Большой Чуртан и на озере Рям. Оба участка расположены на юге Викуловского района. В центральной части находится участок на озере Каролинское, который имеет статус сформированного рыбоводного участка для проведения торгов. Стоит отметить, что большая часть водоемов района не распределена между пользователями, что дает достаточное количество свободы для местных жителей по вылову рыбы в целях пропитания или продажи.

Касательно охотопользования стоит сказать о том, что большая часть земель Викуловского района относится к общедоступным охотничьим угодьям.

Лишь четыре участка выделены под охотопользование конкретным компаниям. Также в западной части района часть земель занята государственным природным заказником «Викуловский», деятельность в границах которого строго ограничена.

На территории Викуловского района активно используют ресурсы недр, а именно подземные воды, практически в каждом населенном пункте присутствуют скважины, которые обеспечивают население питьевой водой.

Помимо подземных вод стоит отметить обеспеченность строительными ресурсами: песок, глина. В настоящее время территории района активно добываются названные выше общераспространенные полезные ископаемые.

Стоит отметить, что в 2012 году был обнаружен и отведен участок с углеводородным сырьем, но на данный момент работы на участке не ведутся.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что Викуловский район в достаточной мере обеспечен всеми перечисленными природными ресурсами, однако использование этих ресурсов не всегда рационально, так, например, не в полной мере используется потенциал ресурсов подземных вод, Часть населенных пунктов лишены подземных источников водоснабжения, хотя на территории района имеются огромные запасы подземных межпластовых вод Куртамышского водоносного горизонта.

Одной из основных проблем оценки ресурсообеспеченности какой-либо территории с помощью геоинформационной системы, в данном случае геопортала Тюменской области, является ее субъективность, так как не отражены отличительные особенности конкретной территории, которые иногда кардинально меняют все представление о характеристике территории.

### Библиографический список

1. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. М.: Издательство Московского университета, 1978. 257 с.
2. Ильина И. С., Лапшина Е. И. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. Новосибирск: Наука, 1985. 251 с.

3. Калинин В.М., Ларин С.И. Малые реки в условиях антропогенного воздействия (на примере Восточного Зауралья). Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 1998. 220 с.
4. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1990. 286 с.
5. Старков В.Д., Тюлькова Л.А. Геология, рельеф, полезные ископаемые Тюменской области: ОАО «Тюменский дом печати», 2010. 352 с.

УДК 502.4

Е.Л. Гатина, suslovael@mail.ru

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

### ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ ООПТ ПЕРМСКОГО КРАЯ: БОТАНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

В статье рассматривается база данных ГИС особо охраняемых природных территорий Пермского края. Одним из элементов базы данных являются описания растительности ООПТ регионального значения.

*Ключевые слова:* особо охраняемые природные территории, база данных, ГИС, Пермский край.

E.L. Gatina, suslovael@mail.ru

Perm State University, Perm, Russia

### GEOINFORMATION DATABASE OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS SPECIES OF THE PERM REGION: BOTANICAL ASPECT

The article discusses the GIS database of specially protected natural areas of the Perm Region. One of the elements of the database are geobotanical descriptions of protected areas of regional importance.

*Key words:* specially protected natural areas, database, GIS, Perm Region.

Особо охраняемые природные территории (ООПТ) - участки земли, водной поверхности и воздушного пространства над ними, где располагаются природные комплексы и объекты, которые имеют особое природоохранное, научное, культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение, которые изъяты решениями органов государственной власти полностью или частично из хозяйственного использования и для которых установлен режим особой охраны [14].

В настоящее время ООПТ на территории Пермского края представлены федеральными, региональными и местными объектами. Представлены 2 государственных природных заповедника «Басеги» и «Вишерский», 21 заказник, из них 20 охотничьих и 1 ландшафтный, 114 памятников природы, 46 природных резерватов, 5 историко-природных комплексов, 96 охраняемых ландшафтов, 1 природный парк. На территории края имеется также 104 ООПТ местного значения [1].

За годы формирования сети ООПТ При-

камья был накоплен значительный объем информации, требующий систематизации и объединения. Для этого в 2011 году была создана и официально зарегистрирована база данных «ООПТ Пермского края» [2].

Материалом для создания базы данных послужил обширный перечень научной литературы, фондовых данных, информации электронных ресурсов (всего около 72 источников). В результате собрана информация об ООПТ и их охранных зонах, о защитных лесах и водоохраных зонах рек, об округах санитарной охраны лечебно-оздоровительных местностей и курортов, о ключевых орнитологических территориях, о лесных генетических резерватах, о местах местобитаний редких и исчезающих видов животных, растений и других организмов, о ценных почвенных и геологических объектах [13].

База данных включает геоботанические описания растительности, проведенные на выше обозначенных объектах в рамках работ по мониторингу ООПТ регионального значения. Количество описаний

соответствует периодичности проведения мониторинговых наблюдений за состоянием природных комплексов на ООПТ регионального значения. Для территорий, где антропогенная нагрузка велика, таких как, например, охраняемые ландшафты «Сарашевские дубравы», «Нишневишерский», обследование проводится ежегодно, поэтому и геоботанических описаний по этим территориям больше.

Описания проведены по общепринятым геоботаническим методам полевого описания растительности [4-6, 10]. При описании древесного и кустарникового ярусов учитывались видовой состав, сомкнутость крон, средняя высота и возраст; травяно-кустарничкового - видовой состав, общее проективное покрытие (в процентах) и средняя высота; мохово-лишайникового - общее проективное покрытие и средняя высота; внеярусной растительности - только обилие.

В словесном описании растительных сообществ приведена экологическая оценка состояния растительного покрова. В качестве основных критериев современного состояния принимались следующие параметры:

- учет обилия и соотношения в сообществах аборигенных и синантропных видов, определяющих степень деградации сообществ;
- жизненное состояние (жизненность) видов в локальных популяциях;
- степень синантропизации фитоценозов;
- санитарное состояние древостоя [3].

Приведены данные о местообитаниях редких и исчезающих видов растений, включенных в Красную книгу РФ и Пермского края [7-9].

Ежегодно база данных пополняется результатами современных мониторинговых наблюдений.

Геоботаническое наполнение базы данных позволяет решать, как частные, так и общие задачи в природоохранной сфере, такие как геоинформационное сопровождение полевых обследований территорий, инвентаризация природоохранных объектов края; территориальное планирование, экологическое образование и просвещение. База данных является источником справочной информации для органов государственной власти, научных и проектных организаций.

### Библиографический список

1. Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь, Астер. 2017. 512с.
2. Бузмаков С.А., Зайцев А.А., Андреев Д.Н., Санников П.Ю. База данных особо охраняемых природных территорий Пермского края // Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 17082 от 16.05.2011
3. Бузмаков С.А., Овеснов С.А., Шепель А.И., Зайцев А.А. Методические указания «Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения» // Географический вестник. 2011. №2. С.49-59.
4. Вышивкин, Д.Д. Геоботаническое картографирование / Д.Д. Вышивкин. М.: Изд-во МГУ, 1977. 178 с.
5. Грибова, С.А. Картирование растительности в съемочных масштабах / С.А. Грибова, Т.И. Исаченко // Полевая геоботаника. Т. 4. Л., 1972. С. 137-330.
6. Корчагин, А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения / А.А. Корчагин // Полевая геоботаника. Т. 3. М.; Л., 1964. С. 39-62.
7. Красная книга Пермского края, под общ. ред. М.А.Бакланова. Пермь, Алдари. 2018 232с.
8. Красная книга Пермского края: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных и растений. Пермь: «Книжный мир», 2008. 256 с.
9. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М: Товарищество научных изданий КМК. 2008. 855 с.
10. Понятовская, В.М. Учет обилия и особенности размещения видов в естественных растительных сообществах / В.М. Понятовская // Полевая геоботаника. Т. 3. М.; Л., 1964. С. 209-299.

11. Санников П.Ю. Геоинформационная база данных ООПТ Пермского края // Научные чтения памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Антропогенная трансформация природной среды: материалы междунар. школы-семинара молодых ученых (6-9 декабря 2011 г.) / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2011. С. 124-129.
12. Санников П.Ю. Дополнение базы данных особо охраняемых природных территорий Пермского края // Антропогенная трансформация природной среды. Научные чтения памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка: материалы междунар. школы-семинара молодых ученых (23-25 сентября 2015 г.) / под ред. С.А. Бузмакова; Изд-во ПГНИУ. Пермь, 2015. С. 111-115.
13. Сивков Д.Е., Санников П.Ю. Геоинформационная база данных «Особо охраняемые территории и объекты Пермского края» // Антропогенная трансформация природной среды. №4, 2018. С. 104-106.
14. Федеральный закон от 14 марта 1995 г. N 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» (с изменениями и дополнениями) Режим доступа: 15.06.2020.

УДК 502:624.131:556.98 (470.53)

М.А. Голубкова, С.М. Костарев, marina.golubkova.1996@mail.ru  
Пермский государственный национальный исследовательский университет  
г. Пермь, Россия

### **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКОМОНИТОРИНГА ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ (НА ПРИМЕРЕ АПТУГАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ)**

В статье рассматривается пример визуализации результатов экологического мониторинга, проводившегося на Аптугайском месторождении нефти в 2018-2019 гг. С использованием геоинформационной системы Arcgis, на основе результатов мониторинга построена карта современного экологического состояния нефтяного месторождения.

*Ключевые слова:* экомониторинг; нефтяное месторождение; оценка современного состояния компонентов окружающей среды.

M. Golubkova, S. Kostarev, marina.golubkova.1996@mail.ru  
Perm State University Perm, Russia

### **VISUALIZATION OF THE RESULTS OF ECOLOGICAL MONITORING AT OIL PRODUCTION (FOR EXAMPLE OPTOVIKOV OIL FIELD)**

The article considers an example of visualization of the results of environmental monitoring conducted at the Aptugay oil field in 2018-2019.. Using the Arcgis geo-information system, a map of the current ecological state of the oil field is constructed based on the monitoring results.

*Keywords:* environmental monitoring; oil fields; assessment of the current state of the components of the surrounding environment.

Территория Аптугайского нефтяного месторождения располагается на водораздельном пространстве рек Пизь и Ошья. По классификации Н.Н. Назарова [1], относится к бореально-суббореально гумидному (подтаежному) типу, южно-таежному подтипу, равнинному классу, возвышенному подклассу, эрозионному пластовому с участками ледниковых отложений на верхнепермских терригенных породах виду ландшафта, Усинско-Бардымскому ландшафту.

Геоэкологические исследования по оценке изменения основных компонентов (атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы и растительность) природной среды на территории Аптугайского месторождения нефти, которое расположено в пределах охраняемого ландшафта «Куединский», выполнены филиалом ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, выполняются в рамках реализации Программа ведения производственно-экологического

контроля ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» [2].

В 2019 году отобрана 1 проба воздуха, в которой определялись: предельные и ароматические углеводороды, сероводород ( $H_2S$ ), диоксид серы ( $SO_2$ ), диоксид азота ( $NO_2$ ), фенол. В 2019 году отобрано 5 проб пресных поверхностных вод и 4 пробы подземных вод определялся их химический состав и содержание нефтепродуктов. В 2018 году в соответствии с Программой биотического мониторинга на территории месторождения было обследовано 12 опорных и 1 фоновая площадки, на которых отобрано 12 почвенных проб для определения хлоридов и нефтепродуктов, а также выполнены геоботанические описания.

Результаты экомониторинга визуализированы при помощи геоинформационной системы Arcgis, по известным методикам [3–5], в соответствии с которыми на основу наносится следующая геоэкологическая информация: границы между ландшафтами; границы водоносных комплексов; расположение нефтепромысловых объектов и их СЗЗ; направление поверхностного и подземного стока; условные границы водоохраных зон; границы особо охраняемых природных территорий; пункты отбора проб воды, воздуха, почв.

Результатом визуализации геоэкологических исследований является схематическая карта современного экологического состояния территории Аптугайского нефтяного месторождения (рис. 1) с экспликацией (рис. 2).

Результатом визуализации геоэкологических исследований является схематическая карта современного экологического состояния территории Аптугайского нефтяного месторождения (рис. 1) с экспликацией (рис. 2).

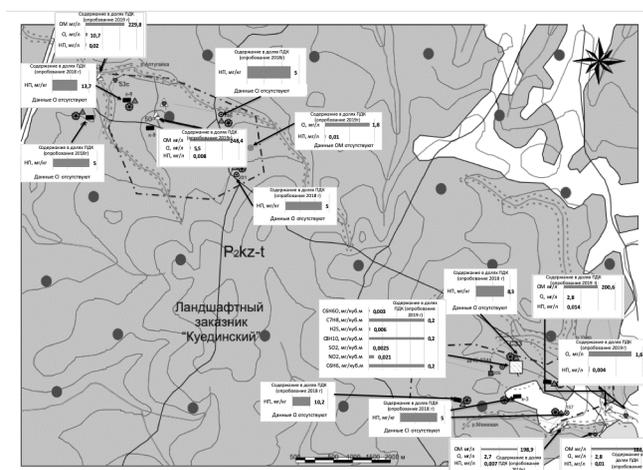


Рис. 1. Схематическая карта современного экологического состояния территории Аптугайского нефтяного месторождения

Результаты атмосферных, гидрогеохимических, агрохимических исследований представляются на этой основе в виде диаграмм, на которых приводится изменение во времени содержания вредных веществ в транспортирующих (воздух, пресные поверхностные и подземные воды) и депонирующих (почвы и растительность) природных средах в заданных точках. Приводятся точки рекомендуемой системы производственного экологического контроля.

Результаты геоэкологических исследований на территории Аптугайского месторождения нефти показали следующее.

1. На границе СЗЗ крупных нефтепромысловых объектов и населенных пунктов атмосферные показатели воздушной среды не превышают ПДК<sub>н.м.</sub>, что свидетельствует о разработке нефтяных

Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-04-09255.

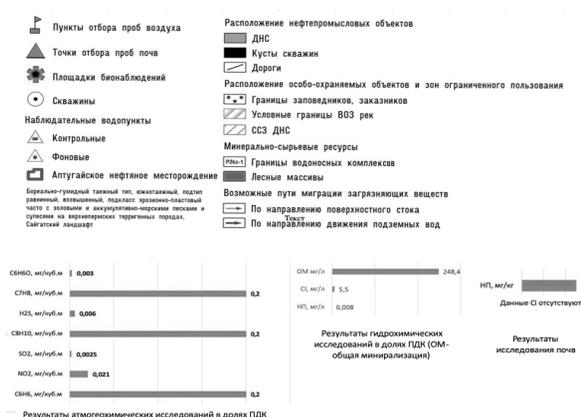


Рис. 2. Экспликация к схематической карте современного экологического состояния

залежей в соответствии требованиями в области охраны воздушной среды.

2. Содержание основных загрязняющих компонентов в пресных поверхностных водах не превышает нормируемых показателей для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, а также для вод рыбохозяйственных водоемов.

3. Биомониторинг на ООПТ, основанный на методике изучения изменчивости биотических компонентов (наиболее уязвимых видов растений) показал, что нефтедобыча не является лимитирующим фактором для природных процессов, происходящих в местных биогеоценозах: виды проявляют устойчивость к данному виду техногенеза; сохраняют свою роль в фитоценозе; поддерживают стабильный уровень биоразнообразия экосистемы.

## Библиографический список

1. Назаров Н.Н. Классификация ландшафтов Пермской области // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь: ПГУ, 1996. С.4-10.
2. Программа ведения производственно-экологического контроля ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» за состоянием компонентов окружающей среды (атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почва, отходы). Пермь. 2015.
3. Костарев С.М. Геоэкологическое обеспечение проектирования нефтепоисково-разведочных работ и освоения нефтяных залежей в Пермской области // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2003. № 3. С.38–44.
4. Костарев С.М., Головков А.В. Графическое отображение результатов инженерно-экологических изысканий (на примере обустройства Майкорского месторождения нефти) // Материалы региональной научно-технической конференции «Экология города», Пермь: Перм. ун-т., 1998. С.81-82.
5. Костарев С.М. Принципы формирования систем экологического мониторинга в районах нефтедобычи (на примере Пермского края // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 9. С.30-35.

УДК 502.31:504.062:574.474:574.45

Ю.А. Гулянов, iury.gulyanov@yandex.ru

*Институт степи УрО РАН – филиал ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург, Россия*

### ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ» ТРАНСФОРМАЦИИ СТЕПНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассматриваются инновационные приёмы мониторинга посевов активными оптическими датчиками (сенсорами) для выявления их пространственной однородности, определения уровня развития, а также оценки перспектив интеграции практических приёмов цифрового земледелия в адаптивно-ландшафтные системы степной зоны

*Ключевые слова:* степное земледелие, цифровые агротехнологии

Y. Gulyanov, iury.gulyanov@yandex.ru

*Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Institute of Steppe of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia*

### PRACTICAL METHODS OF «INTELLECTUAL» TRANSFORMATION OF STEPPE AGRICULTURE BASED ON DIGITAL AGRICULTURAL TECHNOLOGIES

The article discusses innovative methods of monitoring crops with active optical sensors to identify their spatial homogeneity, determine the level of development, and assess the prospects for integrating practical methods of digital farming in adaptive landscape systems of the steppe zone

*Keywords:* steppe agriculture, digital agricultural technologies

В условиях современных климатических и антропогенных изменений окружающей природной среды для устойчивого развития аграрного сектора экономики РФ и обеспечения продовольственной независимости государства предполагается безотлагательная реализация интеллектуальных земледельческих технологий, имеющих безусловную экологическую направленность [9]. Предусматривается, что наиболее подходящей платформой для

реализации указанных инициатив является цифровая трансформация сельского хозяйства посредством интеллектуального земледелия, основанного на пространственной дифференциации уровня технологического воздействия на отдельных участках поля. Экологичность подобного подхода заключается в выравнивании факторов внешней среды для всех растений агроценоза, способствующем более полной реализации их биологического по-

тенциала, в снижении рисков загрязнения прилегающих фитоценозов, ввиду строго регламентированных норм применения пестицидов и агрохимикатов в расчёте на 1 га посева, а также в поддержании ресурсов биосферы.

Последнее особенно актуально для постцелинных регионов степной зоны РФ, где проблема оптимизации существующей структуры землепользования с целью обеспечения продовольственной безопасности населения предполагает интенсификацию земледелия на высокоплодородных почвах. Связано это с тем, что отведение деградированных земель под животноводческое использование, а также выделение из сельскохозяйственного оборота наиболее ценных в ландшафтном отношении местностей и урочищ, будет неизбежно сопровождаться сокращением земледельческих площадей и необходимостью существенного повышения их урожайности [10,11].

Актуальность дифференцированного подхода к нормам технологического воздействия на различных участках поля связана с выраженной гетерогенностью (пестротой) степных агроценозов и повсеместной деградацией почвенного покрова, вставших последствием традиционных почвозатратных агротехнологий и вовлечения в земледельческий оборот неустойчивых степных угодий.

В мировой сельскохозяйственной практике производственное внедрение элементов интеллектуального цифрового земледелия осуществляется путём картографирования внутрипольной неоднородности почвенного и растительного покрова посредством сканирования посевов портативными наземными оптическими датчиками, съёмки с беспилотных летательных аппаратов, путём дистанционного зондирования (ДДЗ), использования информационных технологий, программных средств и роботизированной сельскохозяйственной техники для дифференцирования технологических операций [1, 6].

Как известно, одним из инновационных направлений цифровизации агротехнологий рассматривается точное земледелие, требующее междисциплинарного подхода при организации сбора и обработки данных полевых сенсоров, анализа результатов аэрофотосъёмки, путём использования интеллектуальных сетей и инструментов управления данными [8]. В связи с этим, отработка инновационных приёмов мониторинга посевов активны-

ми оптическими датчиками (сенсорами) для выявления пространственной однородности, определения уровня развития, соответствия параметрам высокопродуктивных эталонных посевов, оценки перспектив повышения урожайности экологоориентированными агротехническими приёмами является **актуальным научным направлением**.

**Основная цель** исследований заключалась в выявлении перспективных приёмов «интеллектуальной» трансформации земледелия путём определения тесноты связи вегетационного индекса посева по фазам развития озимой пшеницы с урожайностью зерна и научном обосновании практических приёмов интеграции элементов «умного землепользования» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны Оренбургского Предуралья.

**Материал и методы исследования.** Исследования проводили в 2018 – 2019 гг. с озимой мягкой пшеницей Поволжская 86 на чернозёмах южных (около 4% гумуса) центральной зоны Оренбургской области, характеризующейся недостаточным и неустойчивым атмосферным увлажнением. За год на указанной территории выпадает около 360 – 370 мм осадков, из которых 120-130 мм – в период вегетации сельскохозяйственных культур. Для зоны исследований характерна продолжительная, морозная и не всегда снежная зима, короткая дружная весна с быстрым переходом в жаркое засушливое лето и продолжительная тёплая и сухая осень. Период наших исследований характеризовался повышенной температурой воздуха в весенне-летне-осенние месяцы и острым дефицитом влаги, особенно в августе-сентябре.

Сканирование растений в агроценозах озимой пшеницы с целью определения вегетационного индекса (*NDVI*) проводили портативным устройством (ручной сенсор) *Green Seeker Handheld Crop Sensor, Model HCS - 100 (Trimble, USA)*, особенности работы с которым для получения достоверных результатов уже описывались нами в предшествующих публикациях [5].

Наблюдения проводили на выделенных в производственном посеве пятнадцати участках размером 4м на 100м, закреплённых на местности. Учёт урожая и структурный анализ сноповых образцов проводили в фазу полной спелости зерна.

**Результаты исследования.** Возможность оперативного определения параметров агроценозов полевых культур и управления ими в направлении соответ-

ствия эталонным высокопродуктивным посевам открывает широкие перспективы повышения урожайности путём проведения экологоориентированных агротехнических мероприятий уже по ходу вегетации. Как показывает практика, в зоне наших исследований урожайность зерновых культур чаще всего зависит от плотности продуктивного стеблестоя, а масса зерна с одного колоса с итоговой урожайностью связана слабее. Следовательно, своевременное установление несоответствия параметров, наблюдаемых агроценозов эталонным посевам, прежде всего по плотности стеблестоя, очень важно для их оперативной корректировки агротехническими приёмами. Мировой и отечественный земледельческий опыт свидетельствуют об успешной разработке приёмов управления развитием агроценозов в направлении повышения их продуктивности еще со второй половины прошлого столетия [7]. В настоящее время несравненно большие возможности для этого открываются при внедрении приёмов современных интеллектуальных технологий «умного землепользования», особенно в регионах степной зоны РФ.

В результате ранее проведённых исследований с озимой пшеницей [2,3,4], нам удалось получить экспериментально подтверждённые данные, что весенняя некорневая подкормка азотными удобрениями вплоть до завершения фазы колошения позволяет растениям озимой пшеницы заложить более продуктивный колос, с тяжеловесным зерном. Последующие же, более поздние, азотные некорневые подкормки в фазу налива зерна способствуют формированию крупного полновесного зерна.

Приведённые данные свидетельствуют о возможности в условиях сухих степей Оренбургского Предуралья оперативно-го управления ходом формирования урожая и его частичного «навёрстывания», в случае необходимости. Чаще всего такая потребность в зоне сухих степей возникает при изреженности посевов. В этом случае, компенсация урожайности, например, пшеничных агроценозов, за счёт более высокой продуктивности сохранившихся растений может рассматриваться как один из путей достижения запланированной урожайности и стабилизации производства зерна в ландшафтно – адаптивном земледелии степной зоны.

В результаты представленных исследований нам удалось выявить, что портативные сканирующие устройства с активными оптическими датчиками позволяют быстро, в отличие от днюгодневных ручных измерений, определять фитометрические параметры посевов путём измерения вегетационного индекса (NDVI) в режиме реального времени. Установлено, что он тесно связан с площадью ассимиляционной поверхности посева и может быть использован для её оперативного определения, особенно в критические фазы развития, когда величина конечного урожая сильно зависит от её размеров. Оказалось, что вегетационный индекс (NDVI) посева связан и с его будущей урожайностью, причём теснота указанной связи в различные фазы развития растений заметно различается. Особенно сильной она становится в периоды максимального развития растений, с коэффициентом корреляции от 0,94 в фазу выхода в трубку до 0,95 в фазу колошения (табл.1).

Таблица 1. Связь вегетационного индекса (NDVI) агроценоза озимой пшеницы с его будущей урожайностью, по фазам развития, средние за 2018-2019 гг.

Показатели	Фазы развития				
	Возобновление весенней вегетации	Весеннее кущение	Выход в трубку	Колоше- ние	Молочно- восковая спелость зерна
Вегетационный индекс (NDVI)	0,26	0,37	0,61	0,66	0,44
Коэффициент корреляции (r) с урожайностью зерна	0,63	0,72	0,94	0,95	0,75

Приведённая зависимость в указанные фазы описывается уравнениями регрессии  $y = 2,385x + 0,770$  и  $y = 3,377x + 0,059$  соответственно, где:  $y$  – урожайность зерна, т/га;  $x$  – вегетационный индекс посева (NDVI). Коэффициент детерминации ( $r^2$ ) указывает на зависимость урожайности зерна от динамики вегетационного индекса в данные фазы в 89,1 и 91,7% случаев.

Опираясь на выявленные зависимости урожайности зерна от вегетационного индекса (NDVI) агроценозов озимой пшеницы можно заключить о возможности их трансформации в сторону повышения продуктивности путём оптимизации вегетационного индекса (NDVI) дифференцированными нормами технологического воздействия. Например, управления условиями минерального питания растений посредством проведения некорневых подкормок водными растворами азотных удобрений при формировании колоса и закладке его основных элементов.

**Выводы.** Внедрение информационных технологий и практических приёмов «интеллектуальной» трансформации степного земледелия позволяет осуществлять управление развитием полевых агроценозов и улучшать их урожайные перспективы в процессе вегетации. В частности, использование портативных устройств с активными оптическими датчиками даёт возможность оперативной оценки вегетационного индекса (NDVI) на его соответствие высокопродуктивным эталонным посевам. В случае значительного занижения указанного параметра, чаще всего связанного с изреженностью посевов, оперативно «наверстать» упущенную урожайность возможно за счёт существенного повышения продуктивности сохранившихся растений, например путём проведения on-line некорневых азотных подкормок в фазы выхода в трубку и (или) колошения.

*Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН: «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды», №ГР АА-АА-17-117012610022-5.*

### Библиографический список

1. Галеев Э.И., Ишбулатов М.Г. Роль картографии для точного земледелия // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 2(50). С. 21-26.
2. Гулянов Ю.А. Возможности интеллектуальных цифровых технологий в экологизации ландшафтно-адаптивного земледелия степной зоны // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. 4(78). С. 8-11.
3. Гулянов Ю.А. Продуктивность посевов озимой пшеницы при совместном применении агрохимикатов и регуляторов роста в Оренбургском Предуралье // Зерновое хозяйство. 2005. № 4. С. 12-15.
4. Гулянов Ю.А., Досов Д.Ж., Умарова С.А. Эффективность использования биоклиматических ресурсов при выращивании озимой пшеницы в Оренбуржье // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 2(26). С. 48-50.
5. Гулянов Ю.А., Николаев Н.А. Качество зерна озимой пшеницы при оптимизации технологии возделывания // Зерновое хозяйство. 2007. № 1. С. 23-25.
6. Ерошенко Ф.В., Сторчак И.Г., Шестакова Е.О. Данные дистанционного зондирования и фотосинтетическая продуктивность посевов озимой пшеницы // Вестник АПК Ставрополья. 2016. №4(24). С.157-162.
7. Кирюшин В.И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. 2018. № 3. С. 3-12.
8. Кондратьева О.В., Фёдоров А.Д., Слинко О.В. О перспективах развития цифровизации в растениеводстве // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 4(29). С. 321-329.
9. О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения 19.02.2020)
10. Тюлин В.А., Сутягин В.П. Конструирование севооборотов в адаптивно-экологическом земледелии (научный обзор) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 10-2. С. 297-301.

11. Чибилёв А.А. Ключевые проблемы региональной экологической политики в степной зоне России и сопредельных государств // Степной бюллетень. 1998. №2. URL: <http://savesteppe.org/ru/archives/5435> (дата обращения 15.02.2020).

УДК 502

Е.А. Дзюба, Д.Е. Сивков, aea\_eco@mail.ru  
Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛАНДШАФТНОГО ЗАКАЗНИКА «ПРЕДУРАЛЬЕ»)**

В статье представлены результаты исследования геохимических особенностей почвенного покрова на территории ландшафтного заказника «Предуралье», который находится в Пермском крае. Для проведения исследований на территории заказника было заложено 60 пробных площадок в различных биотопах с разными формами рельефа. Для оценки распределения элементов на территории заказника было использовано программное обеспечение ArcGIS 10.1. В результате получены средние содержания элементов на территории и их распределение. Установлены геохимические ряды территории, выведен общий геохимический ряд для всей территории.

*Ключевые слова:* антропогенная трансформация, геохимия почв, ГИС, лесостепь, особо охраняемые природные территории, РФА, химические элементы

E. Dziuba, D. Sivkov, e-mail: aea\_eco@mail.ru  
Perm State University, Perm, Russia

### **APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF THE GEOCHEMICAL FEATURES OF THE TERRITORY (ON THE EXAMPLE OF THE LANDSCAPE RESERVE «PRE DURALE»)**

The article presents the results of a study of the geochemical features of the soil cover in the territory of the landscape reserve «Predurale», which is located in the Perm region. To conduct research on the territory of the reserve, 60 test sites were laid in various biotopes with different landforms. To assess the distribution of elements on the territory of the reserve, ArcGIS 10.1 software was used. As a result, the average contents of elements in the territory and their distribution are obtained. The geochemical ranks of the territory are established, the general geochemical series for the entire territory is derived.

*Keywords:* anthropogenic transformation, soil geochemistry, GIS, forest-steppe, specially protected natural territories, X-ray fluorescence analysis, chemical elements

Содержание многих химических элементов и соотношение различных форм нахождения стало зависеть от хозяйственного использования территории [6-8, 13, 16]. Это привело к тому, что во многих случаях установить среднее содержание химических элементов для почв, до антропогенного воздействия на них, стало практически невозможно. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почве гораздо выше, чем в других частях биосферы, что приводит к изменению состава и свойств почвы как динамической системы и в конечном итоге вызывает нарушение равновесия экологических

процессов [1]. Важной частью проведения геохимических исследований является применение ГИС-технологий. В данном случае, применение ГИС-технологий позволяет представить данные по геохимическим особенностям территорий, а также отразить специфику территории, создать карты по среднему содержанию элементов [2, 5, 14, 20].

Ландшафтный заказник «Предуралье» общей площадью 2290 га занимает территории Кунгурского и Кишертского районов Пермского края [4, 19].

Методы исследования. Для проведения полевых исследований территория за-

казника была поделена на квадраты (1×1 км), в каждом из которых были отобраны точечные пробы почв. В результате пробы были отобраны в 60 точках. Все точки исследования располагаются на 10 различных биотопах, приурочены к различным формам рельефа и различаются по типам почв. В данном случае были выделены следующие биотопы: березовый лес; еловый лес; зарастающий луг; липовый лес; осиново-ольховый лес; мелколиственный лес; пойменный луг; синантропный луг; сосновый лес; суходольный луг. По формам рельефа исследуемая территория разделяется на водораздельную равнину; коренной склон; пойму и надпойменную террасу.

Определение содержания химических элементов проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-G». Проводился количественный анализ по валовому содержанию в почвах Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, MnO, Cr, V, TiO<sub>2</sub> согласно утвержденной методике [17]. Расчет суммарного химического загрязнения почв химическими элементами проводился по формуле, предложенной Ю.Н. Водяницким [10-12], использование которой является наиболее актуально при оценке антропогенного воздействия на территории [2]. Расчет проводился относительно кларка по А.П.

Виноградову [9]. Для статистической обработки полученных результатов использовались программы Microsoft Excel 2010, BioStat 2008. Были рассчитаны следующие статистические показатели: среднее ( $\bar{x}$ , мг/кг), стандартное отклонение ( $\sigma$ ), стандартная ошибка (SE), доверительный интервал (CI), коэффициент вариации (CV).

На основе данных геохимического исследования проб почв в программном комплексе ArcGIS 10.1 с применением аналитического модуля Spatial Analyst были составлены карты распределения химических элементов в почвах правобережной части заказника. При составлении карт был использован метод IDW-интерполяции (метод обратных взвешенных расстояний). Данный метод предполагает, что влияние значения измеренной переменной убывает по мере увеличения расстояния от точки замера [15, 18]. В результате применения данного метода были получены интерполированные поверхности и слой изолиний, используемые для составления карт загрязнения почв.

Результаты и обсуждения. По типам почв территория представлена дерново-подзолистыми, дерново-карбонатными (каменистыми), карбонатными и аллювиальными почвами. В таблице 1 представлены результаты измерения содержания элементов в исследуемых почвах в гумусовом и подгумусовом горизонтах.

Таблица 1. Содержание химических элементов на исследуемой территории

Химический элемент	$\bar{x}$ , мг/кг	CV,%	Медиана, мг/кг	$\bar{x}$ , мг/кг	CV,%	Медиана, мг/кг
	0-10			10-20		
Sr	226±12	25	234	202±13	29	219
Pb	16,4±1,1	31	15,8	13,2±1,1	38	12,9
As	8±0,2	11,5	8,0	7,5±1	14	7,3
Zn	56±3,2	27	54	52±3,3	29	52
Ni	47,2±2,7	27	45,3	47,6±2,7	26	42,6
Co	22,8±1,5	30	24	23,3±1,8	29	24,2
Fe	34053±1667	23	32218	34935±2216	23	33807
Mn	909±44	22	1032	943±83	32	1003
Cr	138±5	15	125	132±4	15	125
V	72±5	32	67	71±4	28	73
Ti	8086±149	9	7700	8728±148	8	8030

Данные результаты — это среднее значение, установленное относительно 60 точек. Усреднение по содержанию элементов нам позволяет проводить полученный коэффициент вариации, который не превышает 32. Это означает, что на данной территории распределение однородное, со значительной степенью вариации. На рисунке 1 представлено распределение As в гумусовом горизонте, как пример однородного распределения ( $CV=11,5\%$ ).

На рисунке 2 представлены карты, составленные по распределению Pb. На рисунке скомпонованы 4 карты: распределение содержания Pb (А), распределение содержания Pb и формы рельефа (Б), распределение содержания Pb и биотопы (В), распределение содержания Pb и типы почв (Г). Такая компоновка позволяет провести наиболее полный анализ по выявлению геохимических особенностей территории.

По результатам расчета суммарного химического загрязнения почв элемента-

ми все полученные значения находятся в пределах нормы (все полученные значения не превышают 5).

По распределению химических элементов в почвах ландшафтного заказника «Предуралье» выделено шесть групп биотопов, схожих или отличных по рядам элементов:

Березовый лес, мелколиственный лес:  
 $Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>Cu>As$

Еловый лес, зарастающий лог, синантропный луг, сосновый лес:

$Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As>Cu$   
 Липовый лес:

$Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>Zn>V>Ni>Co>Pb>Cu>As$

Осиново-ольховый лес:

$Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As$

Пойменный луг:

$Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Cu>Pb>As$

Суходольный луг:

$Fe>Ti>Mn>Cr>Sr>V>Ni>Zn>Co>Pb>As>Cu$

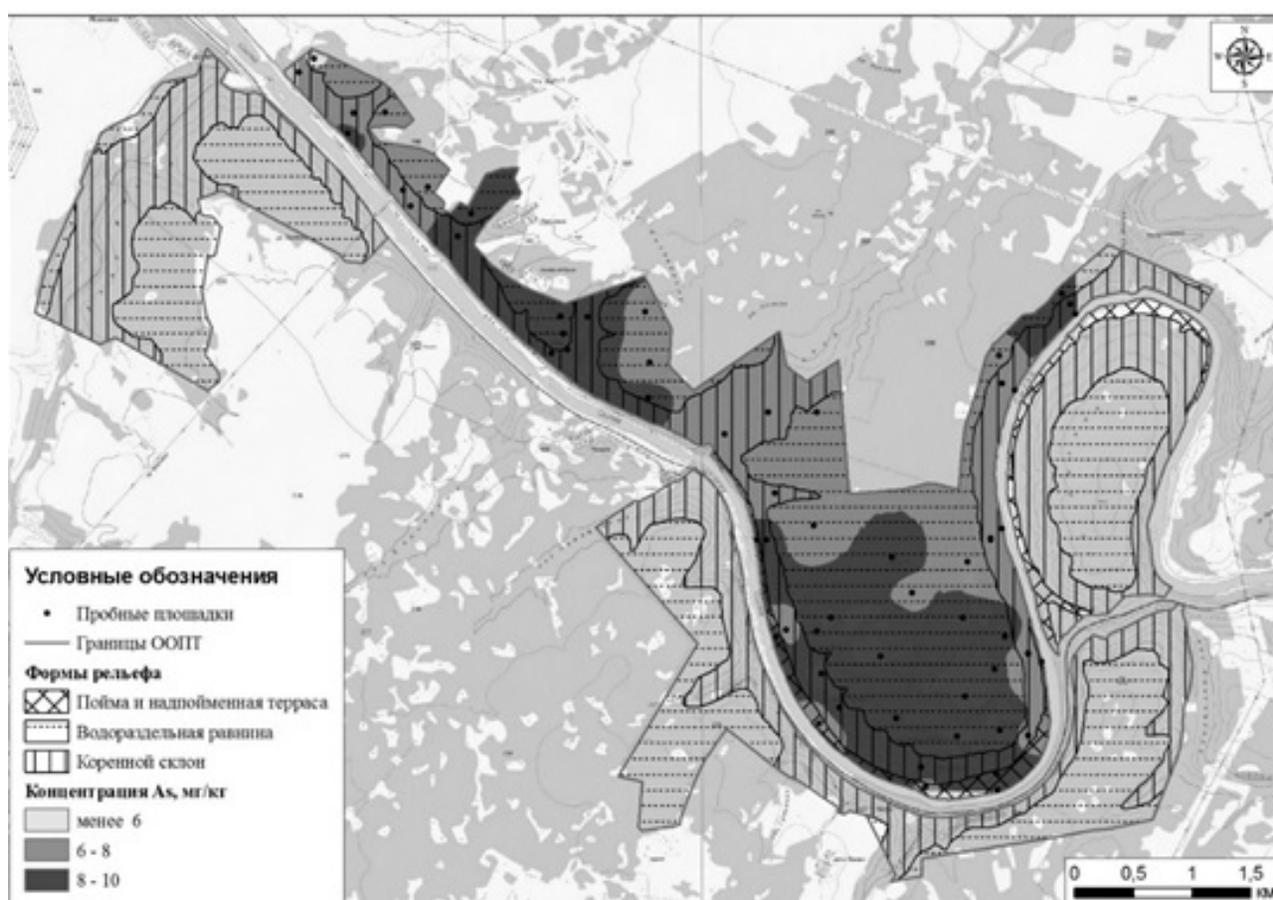


Рис. 1. As на территории заказника «Предуралье»

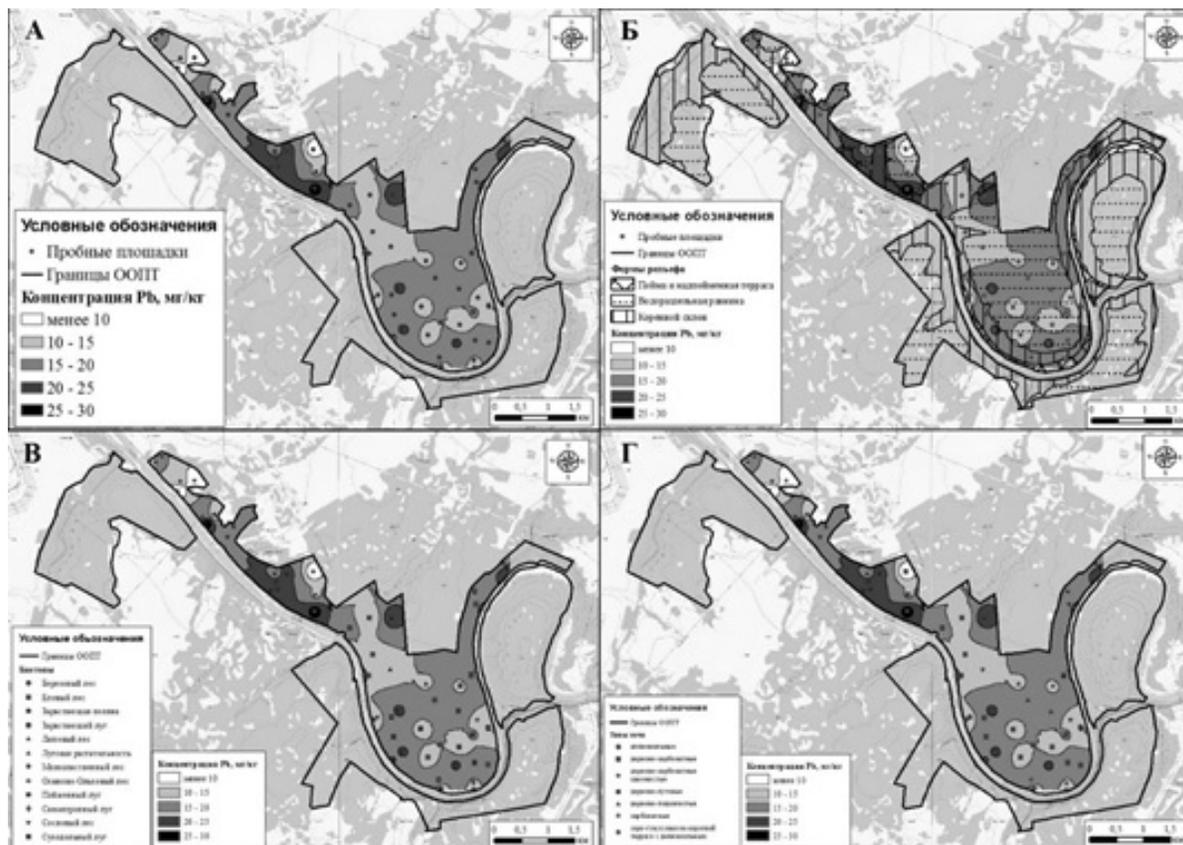


Рис. 2. Pb на территории заказника «Предуралье»  
 А – распределение содержания Pb, Б – распределение содержания Pb и формы рельефа, В – распределение содержания Pb и биотопы, Г – распределение содержания Pb и типы почв

Из полученных рядов элементов видно, что типичным для всех является большее содержание Fe, Ti и Mn. На четвертом месте для всех групп стоит Sr, но в суходольном лугу его место занимает Cr.

Осиново-ольховый лес заметен тем, что там не выявлено содержание Cu. Наиболее типичным, включившим в себя четыре биотопа, оказался ряд: **Fe>Ti>Mn>Sr>Cr>V>Zn>Ni>Co>Pb>As>Cu**.

Полевые работы проведены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-05-31262.

### Библиографический список

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: Учебник. М.: Логос, 200. 627с.
2. Андреев Д.Н. Экогеохимическая диагностика антропогенной трансформации особо охраняемых природных территорий // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о земле. 2013. № 3. С. 3-9.
3. Андреев Д.Н., Дзюба Е.А. Суммарное химическое загрязнение почв тяжелыми металлами в различных биотопах на территории Вишерского заповедника // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2-2. С. 283-287.
4. Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края / под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. 512 с. + вклейки
5. Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды // Географический вестник. Пермь, 2012. № 4 (23). С. 46-50.
6. Бузмаков С.А. Экспериментальное определение основных фаз техногенной трансформации экосистемы // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2004. № 2. С. 133-138

7. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Хотяновская Ю.В., Дзюба Е.А. Экологическая диагностика антропогенной трансформации экосистем // Теория и методы исследования в естественных науках. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. Главный редактор И.С. Копылов. 2016. С. 171-178.
8. Бузмаков С.А., Дзюба Е.А. Определение фонового содержания циклических элементов в почвах Тулымского камня (Пермский край) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. № 3 (191). С. 49-57.
9. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., 1957.
10. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюллетень Почвенного института В.В. Докучаева. 2011. Вып. 68. С. 56-82.
11. Водяницкий Ю.Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами //Агрохимия.2013. № 9. С. 88-96.
12. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276-1280
13. Дегтярева Т.П., Санников П.Ю. Тяжелые металлы как фактор загрязнения почвенного покрова // Антропогенная трансформация природной среды. №4. С. 110 – 117.
14. Дзюба Е.А. Перспективы геохимических исследований в Пермском крае // Антропогенная трансформация природной среды. 2017. № 3. С. 182-183.
15. Как работает инструмент ОВР [Электронный ресурс] // URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-idw-works.htm> (дата обращения: 20.02.2020).
16. Минкина Т.М., Манджиева С.С., Федоров Ю.А., Сушкова С.Н., Бурачевская М.В., Невидомская Д.Г., Антоненко Е.М., Калиниченко В.П., Ендовицкий А.П., Ильин В.Б., Черненко В.В., Бакоев С.Ю. Способ оценки степени деградации техноландшафта при химическом загрязнении // Stredoevropsky vestnik pro vedu a vyzkum. 2015. Т. 76. С.89.
17. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом (методика М-049-П/10)
18. Осипов В.В. Анализ методов создания цифровых моделей поверхностей // ГЕО-СИБИРЬ. Новосибирск, 2011. Т. 1. № 2. С. 73-77.
19. Охрана природы и заповедное дело. Природа и биота заказника «Предуралье» [Электронный ресурс]: учебное пособие / отв. ред. С. А. Бузмаков; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные. Пермь, 2020. 9,73 Мб; 502 с.
20. Санников П.Ю. Опыт применения беспилотного летательного аппарата для исследований ландшафтного заказника «Предуралье» // Антропогенная трансформация природной среды. 2015. № 1. С. 255-259.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ – КАК ОСНОВА ВЫБОРА ТЕРРИТОРИИ, ДЛЯ ПОИСКА АКТИВНЫХ АГЕНТОВ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПХБ-ЗАГРЯЗНЕННЫХ САЙТОВ**

В статье рассматривается информационный анализ данных о климатических особенностях регионов России, а также анализ доступной информации о распространении предприятий-производителей и предприятий, использовавших в технологическом цикле коммерческие смеси полихлорированных бифенилов (ПХБ), как основа для обоснования выбора территории экологических исследований. Проведенные исследования позволят выявить представителей бактериоценозов, перспективных для применения в технологиях биоремедиации ПХБ-загрязненных территорий.

*Ключевые слова:* климатические зоны, полихлорированные бифенилы, экологические исследования

## **INFORMATION ANALYSIS - AS A BASIS FOR SELECTING A TERRITORY FOR SEARCHING THE ACTIVE BIOREMEDIATION AGENTS OF PCB-CONTAMINATED SITES**

The article discusses the information analysis of data on the climatic features of the regions of Russia, as well as the analysis of available information on the distribution of manufacturing enterprises and enterprises that used commercial mixtures of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the technological cycle as a basis for justifying the choice of the territory of environmental studies. The conducted studies will reveal the representatives of bacteriocenoses that are promising for use in the bioremediation technologies of PCB-contaminated territories.

*Keywords:* climatic zones, polychlorinated biphenyls, environmental studies

Согласно Стокгольмской конвенции «О стойких органических загрязнителях» (2001 г.), полихлорированные бифенилы (ПХБ) запрещены к производству и применению как особо опасные для животных и человека соединения, а их запасы должны быть уничтожены до 2028 г. (<http://chm.pops.int>). Россия приняла на себя обязательства по выполнению положений Стокгольмской конвенции в 2011 г, о чем свидетельствует Федеральный закон от 27.06.2011 № 164-ФЗ «О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях» [6]. На протяжении полувека (1930-1980 гг) ПХБ использовались при производстве поливинилхлоридов, неопрена, пластмасс, пенорезины, кровельных и изоляционных материалов (торговые марки Galbestos, Armaflex, Arobor), гидравлических и смазочных жидкостей (торговые марки Turbinol, Santovac). Одним из направлений являлось включение ПХБ в качестве пластификатора в полимеры, синтетические покрытия для различных поверхностей, копировальную бумагу, печатные платы, изоляцион-

ную ленту. Другим направлением использования полихлорированных бифенилов являлось их применение в качестве самостоятельных материалов в трансформаторах и конденсаторах. Объем производства ПХБ в СССР составил 127 тыс. т. В США при производстве электротехнического оборудования было использовано более 430 тыс. т. полихлорированных бифенилов торговой марки Aroclor [2, 4].

В настоящее время производство и применение полихлорированных бифенилов на данный момент запрещено международным соглашением [1,3], однако ПХБ продолжают оставаться в составе использованного оборудования и материалов на предприятиях и местах складирования, а также в окружающей среде.

Анализ литературных данных показал, что трансформация (утилизация) ПХБ возможна с применением физических и химических методов. Однако они имеют серьезные ограничения. Наиболее перспективным методом удаления ПХБ из окружающей среды является биоремедиа-

ция с применением аэробных бактерий-деструкторов.

ПХБ, являясь новым субстратом для микроорганизмов, спровоцировали эволюцию метаболических процессов в клетке бактерий в направлении адаптации к использованию новой химической структуры в качестве источника питания. При этом на адаптацию бактерий к новым синтетическим субстратам влияют и климатические факторы, в частности – температура окружающей среды. Стоит учитывать и тот факт, что материалы и оборудование, содержащие ПХБ, использовались повсеместно, что привело к загрязнению объектов окружающей среды во всех климатических зонах, существенно отличающихся температурным режимом.

Таким образом, для создания эффективной технологии ремедиации ПХБ-загрязненных территорий необходимо выявить бактериальные штаммы, адаптированные к различным температурным условиям.

Цель работы – провести анализ данных о расположении предприятий-производителей и предприятий, использовавших в технологическом цикле коммерческие смеси полихлорированных бифенилов, а также о температурных условиях регионов их расположения, на основании которого отобрать территории для поиска активных бактерий-деструкторов ПХБ.

На основании анализа информационных сайтов, а также научной литературы, установлено, что предприятия-производители ПХБ располагались на Европейской территории СССР, тогда как предприятия-пользователи были расположены на всей территории страны (<http://stoppcb.ru/ru/pages/20>; <http://www.dioxin.ru/history/pcb.htm>; <http://www.dioxin.ru/history/pcb.htm>;

<http://phb.ecdl.su/node/119>). Таким образом, загрязнению подверглись почвы, расположенные в различных температурных условиях.

Для поиска активных почвенных бактерий-деструкторов ПХБ были отобраны территории предприятий ОАО «Средне-Волжский завод химикатов» г. Чапаевск Самарской обл. (производитель ПХБ) и «Завод смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей» г. Пермь Пермский край (потребитель ПХБ). Данные площадки отобраны для исследования с учетом антропогенного и климатического факторов.

Согласно климатическому районированию Пермский край расположен в 3 природно-климатической зоне, а Самарская область – во 2 природно-климатической зоне (Рис. 1). Основным критерием различия данных зон является температурный режим. В зимний период, не активный для процессов биоремедиации, температуры на данных территориях схожи (Рис. 2а), тогда как в летний период, наиболее важный для биоремедиации, температуры различаются (Рис. 2б). Средняя температура в июле для территории г. Перми составляет +16 - +20°C, тогда как для региона, где расположен бывший завод-производитель ПХБ, данный показатель составляет +20 - +24°C.

Анализ литературных данных показал, что в почвах территории ОАО «Средне-Волжский завод химикатов» концентрация ПХБ варьирует в интервале 0.21 – 1.07 мг/кг (3.5 – 17.8 ПДК) [6]. Анализ информационных данных показал, что в производственном процессе «Завода смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей» длительное время использовали Совол пластификаторный (смесь ПХБ) (<http://phb.ecdl.su/node/93>).



Рис. 1. Природно-климатические зоны России

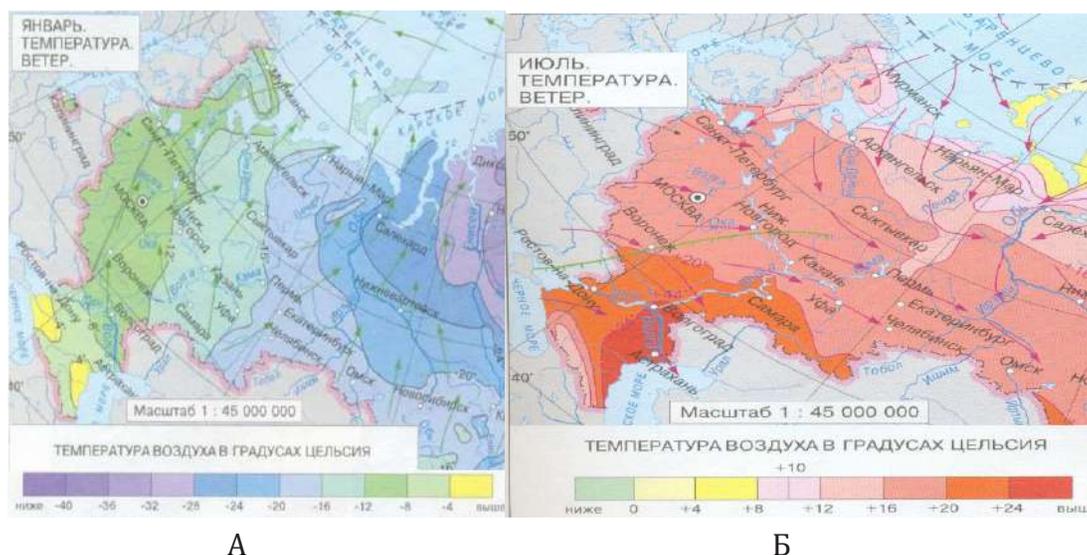


Рис. 2. Температуры воздуха в январе и июле на территории России

Таким образом, на основании анализа различных информационных источников, были отобраны территории, наиболее перспективные для выделения бактери-

альных штаммов, способных осуществлять биоремедиацию ПХБ-загрязненных сайтов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №18-29-05016 мк.

### Библиографический список

1. Назаров А.В., Егорова Д.О., Макаренко А.А., Демаков В.А., Плотникова Е.Г. Эколого-микробиологическая оценка грунтов, загрязненных полихлорированными бифенилами. // Экология человека. 2016. №3. С. 3-8.
2. Российская Федерация. Законы. О ратификации Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях: федер.закон : [принят Гос. Думой 17 июля 2011 г. : одобр. Советом Федерации 22 июня 2011 г.]. Российская Газета, 29 июня 2011.
3. Стокгольмская конвенция «О стойких органических загрязнителях» [Электронный ресурс] // URL: [http://chm.pops.int/Portals/0/sc10/files/a/stockholm\\_convention\\_text\\_r.pdf](http://chm.pops.int/Portals/0/sc10/files/a/stockholm_convention_text_r.pdf) (дата обращения: 09.02.2020).
4. Трегер Ю. СОЗ – стойкие и очень опасные // The Chemical Journal. 2013. № 1. P. 30-34.
5. Aken B.V., Correa P.A., Schnoor J.L. Phytoremediation of polychlorinated biphenyls: new trends and promises // Environ. Sci. Technol. 2010. V.44. P. 2767-2776.
6. Erikson M.D., Kaley II R.G. Applications of polychlorinated biphenyls // Environ. Sci. Pollut. Res. 2011. V.18. P. 135-151.

**ПРИМЕНЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ООПТ  
ПРИРОДНЫЙ ПАРК «ПЕРМСКИЙ»**

В сообщении рассматривается возможность применения базы данных при оценке устойчивости особо охраняемой природной территории природный парк «Пермский». Указываются проблемы, возникающие при использовании базы данных для оценки устойчивости природного парка. В качестве одного из наиболее удобных инструментов доступа к базам данных рассматриваются геоинформационные системы. Даются рекомендации по упрощению использования баз данных.

*Ключевые слова:* база данных, геоинформационные системы, особо охраняемая природная территория, природный парк «Пермский».

A. Eltyshv, andreyeltyshev1996@mail.ru

*Perm State University, Perm, Russia***APPLICATION OF DATABASE IN THE ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY  
OF A PROTECTED AREA NATURAL PARK «PERMSKY»**

The article is devoted to the possibility of using the database in assessing the sustainability of a specially protected natural area Permisky Natural Park. The problems arising when using the database to assess the sustainability of the natural park are indicated. Geoinformation systems are considered as one of the most convenient tools for accessing databases. Recommendations are given on how to simplify the use of databases.

*Keywords:* database, geoinformation systems, specially protected natural area, Permisky Natural Park.

База данных (БД) является общепринятым инструментом объединения информации какой-либо предметной области в единый массив. БД – это совокупность логически взаимосвязанных файлов определенной организации. Ведение БД и хранение в ней всех имеющихся материалов существенно облегчает исследователям задачу по поиску и анализу необходимой информации [7, 8].

Базы данных должны обобщать и систематизировать информацию со всех типов носителей и всех достоверных источников информации.

В сфере охраны природы базы данных используются довольно давно. БД формируются по материалам периодических изданий, книг, фирменных изданий, материалов конференций, тезисов, патентов, нормативных документов, научных работ [1].

В 2011 году сотрудником кафедры биогеоценологии и охраны природы ПГНИУ П.Ю. Санниковым была создана геоинформационная база данных особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Пермского края, состоящая из 22 ООПТ регионального значения. БД включила в себя продукты

космической съемки, картографические и фотоматериалы, а также геоданные с прикрепленным массивом атрибутивной информации. Материалом для создания базы данных послужил обширный перечень научной литературы, фондовых данных, информации электронных ресурсов.

Одним из наиболее удобных инструментов доступа к БД являются геоинформационные системы (ГИС). Геоинформационная система – это совокупность программного обеспечения и данных для визуализации любой пространственной информации, анализа отношений между объектами, моделирования географических процессов и явлений. Вышеупомянутая БД создана в среде ArcGIS 9.2 (ESRI) [7].

Таким образом, база данных ООПТ может включать в себя картографическую, текстовую, числовую, графическую и другую информацию.

Кроме того, база данных ООПТ должна постоянно обновляться и дополняться наиболее свежими данными в соответствии с современным состоянием природных территорий. В то же время база данных должна содержать информацию за весь период наблюдений за объектом либо

территорией, что делает возможным проведение ретроспективного анализа.

Исходя из определения экологической устойчивости, где объектом, на который происходит воздействие, выступает экосистема, можно дать определение устойчивости особо охраняемой природной территории. Устойчивость ООПТ - это способность данной территории сохранять свою структуру и функциональные особенности при воздействии внешних факторов [6].

Таким образом, оценка устойчивости любой ООПТ с помощью баз данных заключается в системном анализе имеющейся информации о структурном и функциональном изменении состояния природной территории за весь период наблюдений.

Природный парк «Пермский» создан в 2018 году на территории Красновишерского, Горнозаводского, Чусовского, Гремячинского муниципальных районов, городского округа «Город Губаха», Лысьвенского городского округа Пермского края и включает 27 уже существующих особо охраняемых природных в долинах рек Усьва, Чусовая, Вишера; общая площадь парка свыше 125 тыс. гектаров [3-5].

Проект природного парка разрабатывался учеными Пермского университета на основе фондовых данных и данных, полученных в ходе натурного обследования территории [2,3,5].

Поскольку парк «Пермский» частично образован уже на существующих ООПТ, имеется немалый объем данных, благодаря которым возможно произвести оценку его устойчивости [3].

При анализе этих данных возникают некоторые трудности. Во-первых, натурное обследование территорий проводилось в разные годы и в соответствии с разными методиками. Во-вторых, информация отличается по форме (текстовые, картографические материалы, фотографии, геоданные) и по содержанию (описания, мониторинг, зонирование, обустройство). Кроме того, часть информации попросту отсутствует [7].

Такие частично разобщенные данные дают не всегда полное представление об ООПТ. Поэтому проведение содержательного анализа с выявлением причинно-следственных связей изменения состояния особо охраняемой природной территории иногда может быть затруднительным [9,10].

Тем не менее, для большей части территории собранная информация, представленная в различных видах и составляющая базу данных ООПТ природный парк «Пермский», является пригодной для оценки устойчивости настоящей природной территории. На основе имеющейся информации можно отследить основные тенденции и тренды в изменении состояния отдельных компонентов и экосистемы в целом, а также спрогнозировать поведение системы в будущем.

В дальнейшем для упрощения анализа большого объема данных рекомендуется унификация методик проведения натурного обследования и мониторинга особо охраняемых природных территорий, а также создание единой базы данных ООПТ различных категорий и значений Пермского края в одной из доступных ГИС-программ [2].

*Геоинформационная обработка данных частично проведена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-05-31262.*

### Библиографический список

1. Бузмаков С.А. Особо охраняемые природные территории г. Перми. Монография.; под ред. С.А. Бузмакова и Г.А.Воронова. Пермь: М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Пермский гос. нац. исслед. ун-т», Каф. биогеоценологии и охраны природы, 2012. 204 с.
2. Бузмаков С.А., Зайцев А.А., Санников П.Ю. Особенности проектирования природного парка // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 35-43.
3. Бузмаков С.А., Санников П.Ю. Методика создания региональной сети особо охраняемых природных территорий (на примере Пермского края) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1-6. С. 1701-1704.

4. Зайцев А.А. Географические и геоэкологические предпосылки и перспективы создания природного парка в Пермском крае // Геология, география и глобальная энергия. 2015. № 3 (58). С. 28-33.
5. Зайцев А.А. Геоэкологические предпосылки для организации природного парка «Усьвинский» // Антропогенная трансформация природной среды. 2014. № 1. С. 88-92.
6. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
7. Санников П.Ю. Геоинформационная база данных ООПТ Пермского края // Антропогенная трансформация природной среды. 2011. № 1. С. 124-129.
8. Санников П.Ю. Дополнение базы данных особо охраняемых природных территорий Пермского края // Антропогенная трансформация природной среды. 2015. № 1. С. 111-115.
9. Санников П.Ю., Бузмаков С.А. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края. Монография. Пермь: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 2015. 173 с.
10. Buzmakov S.A., Sannikov P.Y. Landscape and biological diversity of protected areas network in Perm krai // American Journal of Environmental Sciences. 2014. Т. 10. № 5. P. 516-522.

УДК 504.064

И.А. Жданова, izhda@list.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет  
г. Пермь, Россия*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ОЦЕНКЕ ПРУДА НА РЕКЕ ТОЛЫЧ Г. БЕРЕЗНИКИ**

В статье рассматривается возможность использования ГИС технологий при оценке качества пруда на реке Толыч г. Березники.

*Ключевые слова:* ГИС технологии, оценка качества пруда, пруд на реке Толыч, г. Березники.

I. Zhdanova, izhda@list.ru, Perm State University, Perm, Russia

## **THE USE OF GIS TECHNOLOGIES IN ASSESSMENT OF THE POND ON THE RIVER TOLYCH BEREZNIKI**

The article considers the possibility of using GIS technologies to assess the quality of a pond on the Tolych river in Berezniki.

*Keywords:* GIS technology, quality assessment of a pond, a pond on the river Tolych, Berezniki.

Для дальнейшего продолжения исследования пруда на реке Толыч в пределах города Березники появляется необходимость в использовании ГИС технологий. Основные задачи: обозначить местонахождение пруда, показать объем выполненных работ за предыдущие года. Для выполнения поставленных задач встает необходимость использования программы пространственного моделирования ArcGIS.

Программа позволяет построить геоинформационную систему любого уровня. Использовать географическую информацию для проведения анализа, лучшего понимания данных и принятия более информированных решений [3].

Перед началом работы появляется необходимость в сборе первичный материал, на основании которого будет строиться карта. В нашем случае, в качестве такого материала служит бакалаврская работа.

За основу была взята информация о местонахождении объекта исследования и параметрах исследования по годам – 2017 и 2019. В конечном итоге, полученные карты будут использованы в будущей магистерской работе.

Пруд на реке Толыч находится на северо-востоке города Березники [1,2]. Для большей наглядности был добавлен указатель на пруд и добавлена подпись пруда и города. В основу положена свободно распространяемые данные дистанционного зондирования сверхвысокого разрешения, полученные из сервиса Яндекс Карты. На основании сведений была построена карта (Рис.1).

Вторая карта посвящена параметрам исследования. Оценка качества воды в пруду на реке Толыч производилась по показателям. В 2017 году: pH; минерализация, мг/л содержание фосфатов, мг/дм<sup>3</sup>; биотестирование с использованием водоросли *Scenedesmus quadricauda* (TURP.) BREB.

В 2019 году: pH; минерализация, мг/л; содержание фосфатов, мг/дм<sup>3</sup>; биотестирование с использованием водоросли *Scenedesmus quadricauda* (TURP.) BREB.; биоиндикация методом Вассмана и Ксиландера;

уровень трофности водоема; степень загрязнения воды органическим веществом. Для лучшего визуального представления количества проведенных исследований была использована круговая диаграмма. По итогу работы была получена карта изученности пруда (Рис. 2).



Рис. 1. Обзорная карта

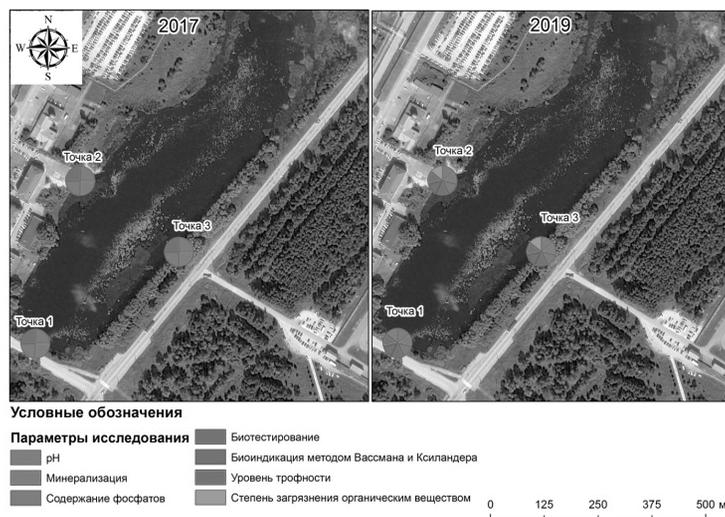


Рис. 2. Изученность пруда

### Библиографический список

1. Государственный водный реестр [Электронный ресурс] // URL: <http://www.textual.ru/gvr/index.php?card=180549> (дата обращения: 28.02.2020).
2. Пруд на реке Толыч: [Электронный ресурс] // URL: <https://yandex.ru/maps> (дата обращения: 28.02.2020).
3. Что такое ГИС? [Электронный ресурс] // URL: [https://www.esri-cis.ru/concept\\_arkgisa/press/whatgis.php](https://www.esri-cis.ru/concept_arkgisa/press/whatgis.php) (дата обращения: 28.02.2020).

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПОУЗЕРОВ: ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

В статье рассматриваются последствия использования диспоузеров. С увеличением установок диспоузеров в квартирах возрастает нагрузка на очистные сооружения города. Для предотвращения негативного воздействия необходимо произвести расчет предельной нагрузки.

*Ключевые слова:* пищевые отходы, диспоузер, измельчитель пищевых отходов, очистные сооружения, твердые коммунальные отходы, бытовые стоки.

A. Zaicev, K. Kicheva, rabbitzay@yandex.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## **THE USE OF DISPOSEOF: DIGITAL SIMULATION OF TREATMENT PLANT SCENARIOS**

The article discusses the consequences of using dispensers. With the increase in disposer installations in apartments, the load on the city's treatment facilities increases. To prevent a negative impact, it is necessary to calculate the maximum load.

*Keywords:* food waste, dispouser, food waste grinder, treatment facilities, municipal solid waste, domestic waste.

Одна из важнейших проблем современного мира – отходы производства и потребления. Полигоны складирования отходов – устаревший для XXI века способ утилизации. Все более активно в городах Российской Федерации начинает развиваться раздельный сбор отходов, но в этом случае у жителей квартир встает вопрос: что делать с пищевыми отходами?

Согласно ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения» пищевые отходы – это продукты питания, утратившие полностью или частично свои первоначальные потребительские свойства в процессе их производства, переработки, употребления или хранения.

Пищевые отходы относятся к числу биологических отходов, и их обезвреживание является одной из актуальных проблем обеспечения экологической безопасности населения. Перспективной технологией для удаления пищевых отходов из ТКО, является внедрение в практику городского хозяйства измельчителей пищевых отходов – диспоузеров.

Измельчители пищевых отходов (диспоузеры) представляют собой электрическое устройство, которое монтируется прямо под кухонную мойку. С одной стороны, оно подсоединяется к сливному отвер-

стию, с другой – к канализационной трубе. Внутри этого устройства отходы проходят механическую обработку попадают в измельчающую камеру, на дне которой находится вращающийся со скоростью до 1450 об./мин металлический диск.

Существует предположение, что с увеличением установок измельчителей пищевых отходов в квартирах увеличивается доля органических остатков в бытовых стоках, что влечет за собой возрастающую нагрузку на биологические очистные сооружения города Перми.

В городе Перми за очистку бытовых стоков отвечает ООО «Новогор-Прикамье». Сточные воды от населения и промышленных предприятий города Перми, через сети канализации поступают на биологические очистные сооружения (БОС) [3]:

- БОС в пос. Гляденово – очистка городских канализационных сточных вод. Пропускная способность БОС составляет 440 тыс. м<sup>3</sup> /сут.

- БОС в пос. Новые Ляды – очистка хозяйственно-бытовых сточных вод. Фактическая мощность составляет 2,5-3,5 тыс. м<sup>3</sup> /сут. при максимальной потребности в 5 тыс. м<sup>3</sup> /сут.

Современное состояние дел позволяет сформулировать гипотезу: вероятно, что очистные сооружения не справятся с

очисткой, что повлечет за собой нагрузку на окружающую среду. Для того, чтобы развить эту гипотезу необходимо произвести расчеты порогового значения поступления органических веществ на биологические очистные сооружения (Рис. 1).

Для расчетов были получены первоначальные данные экспериментальным путем. Для этого в течение месяца в рамках квартиры был произведен сбор и взвешивание пищевых отходов, пригодных для переработки в диспозерах. Замеры производились раз в три дня и итогом получились данные, занесенные в таблицу по примеру.

Среднее значение веса пищевых отходов составляет 1008 грамм на взрослого человека в месяц и приблизительно 32-34 грамма в день.

Для того, чтобы рассчитать предельную нагрузку на биологические очистные сооружения города Перми необходимо прибегнуть к методу цифрового моделирования. Модель предполагает отражение увеличения нагрузки на биологические очистные сооружения вследствие увеличения процента квартир, в которых прибегают к использованию диспозеров. Далее будет указан объем поступающей органики и рассчитано пороговое значение, которое биологические очистные сооружения готовы принять.

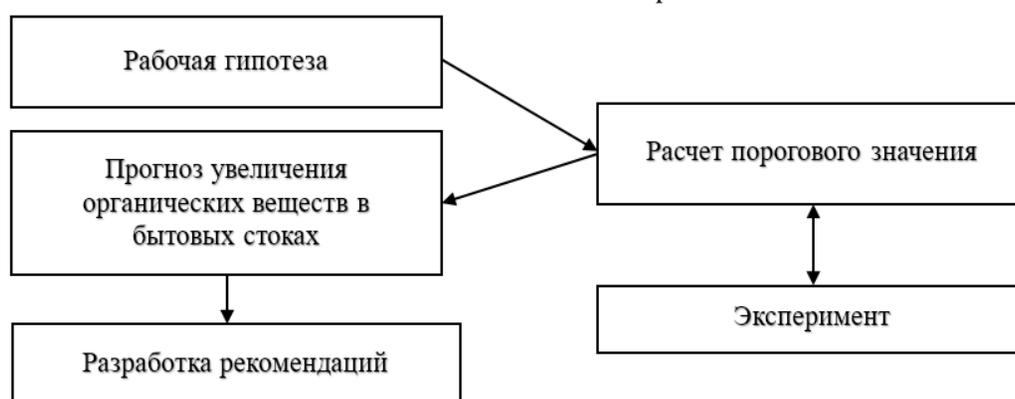


Рис. 1. Схема плана исследования

Численность населения города Перми составляет 1053938 человек. Если учесть, что среднее количество пищевых отходов на человека составляет 33 грамма в сутки, то на 100% населения – это число составит 34,78 тонн в сутки.

Плотность пищевых отходов составляет 370 кг/м<sup>3</sup>. Таким образом, получается, что объем пищевых отходов на 100% населения составляет 93999,8 м<sup>3</sup> в сутки.

При этом, замеры методом эксперимента производились в зимний период времени, когда объем пищевых отходов

примерно в два раза меньше, чем в летне-осенний период (так как увеличивается доля овощей и фруктов в рационе из-за сезона урожая).

Таким образом, построив цифровую модель представится возможным не только подтвердить существующую гипотезу, но и определить сценарии работы очистных сооружений города Перми. То есть модель покажет критическое значение поступления органики на биологические очистные сооружения города Перми, при котором увеличится вероятность нагрузки на окружающую среду.

*Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-05-09240.*

### Библиографический список

1. Гонопольский А.М., Покусаев Б.Г., Зинякина Е.В., Некрасов Д.А., Храпцов Д.П. Пульповая переработка пищевых отходов, 2016, 126 с.
2. ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Отчет о социальной и экологической ответственности РКС «Новогор-Прикамье». 2017. 31 с.

УДК 551.435, 528.77

В.Н. Ильин, И.В. Никонорова, suvar2009@yandex.ru  
 Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

## ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ОВРАЖНОЙ СЕТИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

В работе приведен пример анализа параметров овражной сети по ключевым участкам. Рассмотрена возможность применения дистанционных методов в описании их характеристик. Исследование проводилось путем дешифрирования аэрофотоснимков и анализа картографического материала.

*Ключевые слова:* ГИС-технологии, дешифрирование космоснимков, параметры оврагов.

V. Ilyin, I. Nikonorova, suvar2009@yandex.ru  
 Chuvash state University named after I. N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

## APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES IN THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GULLY NETWORK OF CHEBOKSARY AND KOZLOVSKY DISTRICTS OF THE CHUVASH REPUBLIC

This paper gives an example of analyzing the parameters of a gully network for key sections. The possibility of using remote methods in describing their characteristics is considered. The study was conducted through interpretation of aerial photographs and analysis of cartographic material.

*Keywords:* GIS technology, aerial photograph interpretation, the parameters of the ravines.

Вмешательство хозяйственной деятельности человека в систему связей природных компонентов может явиться причиной или катализатором эрозионных процессов. Следствием будет появление и развитие обширной сети овражно-балочной сети. Классическим примером территории с развитой овражно-балочной системой является северная часть Чувашской Республики. Овраги наносят большой ущерб: они выводят из строя большие массивы земель, особенно сельскохозяйственных, разрушают почвенный покров, страдают дороги, трассы трубопроводов и многие города, расположенные на возвышенностях и по высоким речным берегам. Предотвращение развития оврагов – одна из важнейших задач рационального природопользования Чувашской Республики [1]. Однако, осуществление деятельности по предотвращению их дальнейшего развития не возможно без выделения и описания их морфометрических характеристик. Значительный территориальный охват не позволяет провести детальное полевое описание овражной сети региона. Использование ГИС-технологий при описании склоновых процессов Чувашской Республики успешно зарекомендовало себя при изучении оползневых систем региона [2]. Поэтому встает вопрос о возможности применения дистанционного исследова-

ния, в частности – анализа карт и аэрофотоснимков в изучении овражной сети. Целью работы – выявить возможность применения ГИС технологий для сравнительного описания морфометрических показателей овражной сети Чувашской Республики.

В работе представлено описание овражной сети северной части Чувашской республики по ключевым участкам. В качестве ключевых участков были выбраны СХПК «Волжский» Козловского района и СХПК «Приволжский» Чебоксарского района. Выбранные ключевые участки, приуроченные к северо-восточной окраине Приволжской возвышенности, отличаются наиболее развитой овражно-балочной сетью в Чувашской Республике.

Информационной базой работы послужили материалы общедоступных карт и космоснимков в SASPlanet; данные контрольных полевых исследований. Описывались такие параметры, как координаты оврага, отметки устья и вершины, глубина, длина и ширина оврага, отвершки, возможная стадия развития оврага (путем описания растительности). Анализ параметров оврагов проводился путем дешифрирования аэрофотоснимков и топографических карт с последующими выездами для контроля точности полученных све-

дений (табл. 1).

Для описания овражной сети Козловского района был выбран ключевой участок – территория СХПК «Волжский». СХПК «Волжский» расположен на севере Козловского района Чувашской Республики. Общая площадь территории составляет 4416 га. Всего на изучаемой территории выделено и описано 20 оврагов. Общая площадь, занятая оврагами – 52,24 га. Доля оврагов составляет 1,24% от общей площади территории. Подавляющее большинство оврагов находятся на северной части изучаемой территории и расположены по долинам безымянных рек, впадающих в р. Волга. Выделенные овраги характеризуются различными морфометрическими показателями и стадиями развития. Выделить преобладающее направление оврагов не представляется возможным. Средняя площадь оврагов – 2,78 га. Средняя глубина оврагов – 16,05 м. Средняя длина оврагов – 282 м. Однако, наибольшее распространение имеют овраги протяженностью 50 -60 м. Большая часть (12 оврагов) не имеют отвершков, один овраг имеет 8 отвершков, один овраг - 7 отвершков, два оврага имеют 3 отвершка, один овраг имеет 2 отвершек, три оврага имеют 1 отвершек. Большая часть отвершков расположены на правом склоне оврагов.

Общая площадь, занятая оврагами – 45,84 га. Доля оврагов составляет 0,96% от общей площади территории. Большая часть оврагов протягивается с северо-востока на юго-запад. Это связано с особенностями гидрографической сети изучаемой территории. Средняя площадь оврагов – 2,85 га. Средняя глубина оврагов – 20,76 м. Средняя длина оврагов – 333,57 м. Однако, наибольшее распространение имеют овраги протяженностью 70-100 м. Большая часть (9 оврагов) не имеют отвершков, один овраг имеет 4 отвершков, два оврага имеют 2 отвершка, четыре оврага имеют 1 отвершек. Большая часть отвершков расположены на левом склоне оврагов.

Территория Чебоксарского района характеризуется меньшей площадью, занимаемой оврагами, по сравнению с Козловским районом (0,96% против 1,26%). По остальным показателям Чебоксарский район «лидирует». В частности, это касается средней площади оврагов (2,85 га против 2,78 га у Козловского района), средней длины оврагов (333,57 м против 282 м у Козловского) и средней глубины оврагов (20,76 м против 16,05 м.). Овраги Козловского района отличаются наличием большего количества отвершков. Видимо, это связано с тем, что в СХПК «Волжский» Козловского района доля оврагов 4 стадии – конечной стадии развития оврагов – гораздо больше. Данный факт подтверждают и полевые выезды по изучаемым районам. Также можно отметить, что в Козловском районе большая часть отвершков расположены на правом склоне оврагов (61%), а в Чебоксарском – на левом склоне (72%). Большая часть оврагов Чебоксарского района направлены с северо-востока на юго-запад, что обусловлено особенностями гидрографической сети. В Козловском районе преобладания какого-либо направления не наблюдается.

В качестве второго ключевого участка для описания овражной сети была выбрана территория СХПК «Приволжский» (центральная часть Чебоксарского района). Территория СХПК «Приволжский» имеет площадь 4756,78 га. Общая площадь, занятая оврагами – 45,84 га. На территории СХПК «Приволжский» описано 17 оврагов (табл. 2).

Применение ГИС-технологий позволило получить довольно точные параметры и характеристики овражной сети, выявить как схожие черты, так и отличительные особенности исследуемых объектов по ключевым территориям. Полученные результаты по муниципальным районам позволяют выработать стратегию устойчивого природопользования в соседних муниципалитетах Чувашии и сходных регионах ПФО.

Таблица 1. Параметры овражной сети ключевого участка Козловского района

<i>№ оврага</i>	<i>Координаты (долгота, широта), градусы</i>	<i>Площадь, га</i>	<i>Длина, м</i>	<i>Ширина, м</i>	<i>Отметки вершины и устья, м</i>	<i>Отвертки, правые-левые</i>
1	55.811602030, 48.278763875	16,83	1300	100	187-142	8-2
2	55.819806107, 48.278446244	2,91	450	70	167-125	1-0
3	55.800464198, 48.256498997	8	900	50	172-127	2-1
4	55.806032873, 48.248451455	0,63	200	40	97-77	0-0
5	55.810316885, 48.250662509	2,8	530	50	115-94	0-0
6	55.792008793, 48.273535072	16,8	1260	70	172-143	4-3
7	55.791973991, 48.338338680	0,51	100	40	139-130	0-0
8	55.790037364, 48.336702360	2,12	400	40	150-130	0-0
9	55.787990816, 48.342636231	0,4	90	35	137-124	0-0
10	55.775221735, 48.472526619	0,51	130	60	139-134	0-0
11	55.780259850, 48.358023885	1,46	350	50	152-120	0-0
12	55.794414306, 48.367818505	0,8	40	40	162-159	0-0
13	55.790563659, 48.372499664	0,73	160	70	151-139	1-1
14	55.787528201, 48.372543694	0,82	250	60	142-129	0-0
15	55.787528201, 48.372543694	0,92	270	40	142-128	0-0
16	55.793442568, 48.403158033	0,41	140	60	121-118	1-0
17	55.791422322, 48.408371009	0,15	60	40	126-124	0-0
18	55.782702837, 48.355914657	0,16	55	30	123-120	0-0
19	55.793281816, 48.413114047	0,32	105	35	131-126	0-0
20	55.818707032, 48.284428182	2,9	450	80	175-155	2-2

Таблица 2. Параметры овражной сети ключевого участка Козловского района

№ оврага	Координаты (долгота, широта), градусы	Площадь, га	Длина, м	Ширина, м	Отметки вершины и устья, м	Отвершки, правые-левые
1	56.029447614, 47.111553140	6,4	930	60	152-130	1-1
2	56.007530324, 47.085763477	1,78	340	60	163-132	0-1
3	55.991799818, 47.094515361	0,67	300	50	168-136	0-0
4	55.985385092, 47.035290100	7,4	690	70	180-159	1-1
5	55.979809128, 46.986514458	0,6	150	50	123-119	0-0
6	55.976827654, 46.989961662	1,62	300	80	124-118	0-1
7	55.973608434, 46.996246272	0,54	140	60	131-132	0-0
8	55.973087544, 47.000186463	0,52	150	40	137-132	0-1
9	55.971593891, 47.002507560	0,57	140	40	134-136	0-0
10	55.968638466, 47.006770931	1,48	180	40	122-111	0-0
11	55.960714798, 47.036735082	1,45	230	90	121-100	0-0
12	55.966480698, 47.080840091	3,1	450	140	166-142	0-0
13	55.971054590, 47.080451247	10,21	980	40	185-136	1-3
14	55.980514654, 47.095651373	8,09	900	50	189-135	0-1
15	55.983983086, 47.102879187	0,28	90	50	180-160	0-0
16	55.983667191, 47.104583504	0,40	110	50	180-160	0-0
17	55.983447720, 47.106875552	0,85	160	50	187-172	0-0

### Библиографический список

1. Ильин В.Н., Никонорова И.В. Антропогенезация ландшафтов Чувашии // Арчи́ковские чтения: науки о Земле и стратегия устойчивого развития: сборник материалов международной научно-практической конференции. Чебоксары: Изд-во ЧувГУ, 2010. С. 59-66.
2. Никонорова И.В., Петров Н.Ф., Ильин В.Н., Павлов А.Н. Из опыта изучения и картографирования оползневых систем // Современные проблемы науки и образования. М.: Академия естествознания, 2013. С. 936.

УДК 911.52+528.88 (470.341)

Н.Г. Кадетов<sup>1</sup>, А.Е. Гнеденко<sup>2</sup>, biogeonk@mail.ru<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия<sup>2</sup>Институт географии РАН, г. Москва, Россия

## РАЗРАБОТКА КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПРОЙДЕННУЮ ПОЖАРОМ ЧАСТЬ КЕРЖЕНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

После катастрофических лесных пожаров 2010 г. в Керженском заповеднике возникла необходимость создания карты растительности затронутой ими территории. Карта и её легенда должны отражать не только динамическое состояние растительности, но и быть применима при дальнейших работах по мониторингу растительного покрова. В статье рассматриваются некоторые аспекты их разработки.

Ключевые слова: картографирование растительности, сукцессии, спутниковые снимки, легенда карты.

N. Kadetov<sup>1</sup>, A. Gnedenko<sup>2</sup>, biogeonk@mail.ru<sup>1</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia<sup>2</sup>Institute of Geography of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

## DEVELOPMENT OF VEGETATION MAP FOR AFFECTED BE THE FIRE PART OF KERZHENSKY RESERVE

After the catastrophic forest fires of 2010 in the Kerzhinski Nature Reserve, a need arose to create a vegetation map. The map should reflect not only the dynamic state of the vegetation, but also be applicable to further work on monitoring the vegetation cover. The article presents some aspects of their development.

Keywords: mapping of vegetation, succession, satellite images, map legend.

Оценка последствий катастрофических лесных пожаров 2010 г., затронувших в той или иной степени около половины территории Керженского заповедника (заволжская часть Нижегородской области) стала одной из приоритетных задач научных исследований в заповеднике. Помимо оценки потенциала восстановления сообществ и составления прогноза хода сукцессий, важной стала оценка пространственной структуры пройденных пожарами территорий и разработка механизма дальнейшего отслеживания её изменения с учётом сукцессионных изменений.

В рамках решения этой задачи была начата разработка карты растительности, пройденной пожарами части заповедника и разработка согласующейся с классификацией сообществ легенды, пригодной для использования в разные временные срезы.

При составлении карты использовались данные наземных исследований, спутниковые снимки среднего (Landsat-8) и высокого (Spot-5) пространственного разрешения, а также разнообразные картографические материалы, которые включали ландшафтную [5] карту, геоботаническую [4] и карту типов пожаров [3] на

пройденную пожаром часть заповедника. Перечисленные карты использовались в качестве вспомогательных материалов при уточнении дешифрируемых контуров растительности.

Процесс составления карты заключался в поэтапном картографировании ключевых участков и уточнении информации о состоянии растительности на них по мере сбора полевых материалов. Геоботанические описания составлялись в период с 2014 по 2017 г., что особенно важно при составлении крупномасштабной карты растительности (1:50 000). При подготовке к полевому сезону с использованием спутникового снимка Landsat-8 (15.07.2015) определялись площади, не охваченные исследованиями, и намечались точки заложения временных пробных площадей. При их заложении учитывалась необходимость не только как можно более широкого охвата различных ассоциаций, но и набора уже имеющихся в материалах для формирования эталонов дешифрирования.

Ключевые участки для составления карты были заложены исходя из ландшафтной структуры, пройденной пожарами территории [5]. Пожарами были

охвачены местности Вишня-Пугайского ландшафта аллювиально-флювиогляциальной равнины. На востоке пройденной пожарами территории – местность грядово-волнистой заболоченной эолово-водноледниковой равнины, заходящая участками в пределы заповедника и наиболее пострадавшая от пожаров. Вместе с тем, она в сравнительно меньшей степени была обследована в геоботаническом плане в предшествующие пожару годы, что обусловило некоторое увеличение числа пробных площадей в её пределах. Основная пройденная пожарами территория приурочена к местности грядово-волнистой эолово-водноледниковой равнины с широкими долинами малых рек. Главным образом, здесь сгорали лесные посадки, созданные после предыдущих пожаров 1970-х годов, а также участки верховых болот. На юге пройденная пожарами территория лежит в пределах местности грядово-волнистой эолово-водноледниковой равнины практически без водотоков. В пределах этого участка выгорали также и частью сохранившиеся после предыдущих пожаров леса, что также потребовало увеличение числа геоботанических описаний, а также расширения размеров соответствующего ключевого участка.

Использование снимков Landsat-8 для автоматизированного дешифрирования мало применимо для составления крупномасштабных карт растительности [1], его ограничивает количество выделяемых в легенде подразделений и точность составляемой карты из-за пространственного разрешения снимка (30 м). Поэтому при создании карт отдельных участков, которые были составлены ранее и на основе которых в дальнейшем составлялась общая карта, использовалось преимущественно визуальное дешифрирование снимка спутника Spot-5 [2], снимки которого, полученные в панхроматическом режиме, имеют пространственное разрешение 5 метров. Была проведена операция «паншарпенинга» многозонального и панхроматического снимка, то есть слияния двух изображений, что позволило более детально дешифрировать контуры растительности [6]. Использование таких снимков невозможно для проведения автоматизированного дешифрирования, поскольку алгоритм лишь окрашивает

панхроматический снимок, но при этом пригодно для визуального дешифрирования.

При составлении классификации растительных сообществ на пройденных пожарами территориях и коррелирующей с ней легенды карты первостепенное внимание уделялось необходимости выбора выразительных параметров изменения структуры растительного покрова. Потому на верхнем уровне, исходя из степени сохранности древостоя после пожаров выделенные сообщества были разделены на лесные и «нелесные». В дальнейшем лесные сообщества были разделены на пять формаций: сосновые, берёзовые, осиновые, липовые, черноольховые. Для отражения динамики и возможности дальнейшего использования при изучении хода сукцессий, сообщества в рамках пяти лесных формаций и «нелесные» распределялись по одним и тем же классам ассоциаций. В пределах классов особо выделялись сообщества с обильным подростом берёзы и ольхи чёрной. Сообщества располагались с учётом возможных их «переходов» в ходе послепожарных сукцессий. Итоговая легенда, представленная в табличном виде, содержит 41 номер.

При составлении карты на пройденную пожаром часть использовались карты на отдельные участки, составленные ранее. Контуры на них были уточнены по актуальных данных полевых исследований, некоторые из них были генерализированы для соответствия масштабу составляемой карты 1:50 000. Было проведено визуальное дешифрирование растительности на территориях, не охваченными картографированными ранее участками, с привлечением вспомогательных карт: ландшафтной, геоботанической и типов пожаров. Поскольку не вся картографируемая территория была охвачена наземными исследованиями, были сформированы эталоны для визуального дешифрирования на основе точек с имеющимися геоботаническими описаниями. В результате была составлена карта послепожарного состояния растительности Керженского заповедника на всю пройденную пожаром территорию, которая составляет около 200 км<sup>2</sup>.

## Библиографический список

1. Васильев О.Д., Огуреева Г.Н., Чистов С.В. Оценка ценотического разнообразия лесного покрова и его динамики в эталонных ландшафтах Московского региона по данным дистанционного зондирования // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2019. Т. 64. Вып. 2. С. 185-205.
2. Кадетов Н.Г., Гнеденко А.Е. Подходы к картографированию пройденных пожаром лесов в условиях заповедного режима // Географический вестник. 2019. № 2 (49). С. 148-157.
3. Кадетов Н.Г., Садков С.А., Урбанавичуте С.П., Кораблёва О.В. Пожары 2010 г. в Керженском заповеднике: первые результаты обследования // Антропогенная трансформация природной среды. Пермь, 2011. С. 94-99.
4. Попов С.Ю. Структура и динамика растительности Керженского заповедника // Труды ГПБЗ «Керженский». Нижний Новгород, 2010. Т. 4. 96 с.
5. Садков С.А., Козлов Д.Н. Крупномасштабная ландшафтная карта Керженского заповедника // Труды ГПБЗ «Керженский». Нижний Новгород. 2014. Т. 6. С. 8-54.
6. Zhang Y. Understanding image fusion // Photogramm. Eng. Remote Sens., 70 (2004), P. 657-661.

УДК 591.5+592.17

В.О. Козьминых, kvoncstu@mail.ru  
Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

### БАЗЫ ДАННЫХ ПО НАЗЕМНЫМ БЕСПОЗВОНОЧНЫМ (ARTHROPODA) ПЕРМСКОГО КРАЯ: ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МАТРИЧНАЯ ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Продолжается составление баз данных по фауне, экологии и географическому распространению наземных беспозвоночных (Arthropoda) на охраняемых природных территориях Пермского края. Основой банка данных являются матрицы с характеристиками систематизируемых объектов и цифровыми параметрами для сравнительных расчётов и анализа. Выделены географические аспекты разнообразия членистоногих региональной фауны и приведены сводные данные о структуре и составе Arthropoda некоторых ООПТ Пермского Предуралья.

*Ключевые слова:* базы данных, Arthropoda, Пермский край, охраняемые природные территории, биоразнообразие, структура, таксономический состав, количественная оценка.

V. Kozminykh, kvoncstu@mail.ru  
Perm State University, Perm, Russia

### DATABASES ON TERRESTRIAL INVERTEBRATES (ARTHROPODA) OF THE PERM AREA: GEOGRAPHICAL ASPECTS WITH DIGITAL MATRICES

Databases on fauna, ecology and geographical distribution of terrestrial invertebrates (Arthropoda) at the protected natural territories of the Perm Area are being compiled. The basis of the databank is a matrix with characteristics of systematized objects and digital parameters for comparative calculations and analysis. Geographical aspects of the diversity of invertebrate regional fauna are highlighted and summary data on the structure and composition of Arthropoda of some protected areas of the Perm Cis-Urals are presented.

*Keywords:* databases, Arthropoda, Perm Area, protected natural territories, biodiversity, structure, taxonomic composition, quantitative estimation.

Значение баз данных в эпоху цифровизации трудно переоценить. В России накоплен значительный опыт работы с компьютерными базами данных, в том числе в зоологических исследованиях [1, 3, 23]. С 1990-х развёрнут сбор информации о биоразнообразии, географическом распространении и экологии наземных беспозвоночных животных, в частности, членистоногих (Arthropoda) фауны Пермского Предуралья [6, 15, 18] с последующим внесением в матрицы банков данных (рис. 1, 2) [2, 7, 8, 10–14, 19–22]. До недав-

него времени географические аспекты разнообразия насекомых (Insecta) рассматривались в Пермском крае лишь фрагментарно – на примерах локальных фаун муравьёв (Hymenoptera: Formicoidea) [5] и жувелиц (Coleoptera: Carabidae) [4], но без использования цифровых технологий. В последнее десятилетие созданы базы данных по беспозвоночным некоторых ООПТ Пермского края, ниже дана сводка о числе выявленных таксонов (обновлённые данные отмечены звёздочкой \*):

Ранг таксона	Наименование	Автор	Дата	Локация	Количество	Примечания
Тип	Arthropoda von Siebold, 1848	членистоногие	Березовое кри	Субальпийск Горная гряда	Всего экз	Всего ви
Семейство	Agrytidae C. G. Thomson, 1896	Козьминных, 2017а	1	вид		
Вид (лгт.)	Pteroloma forstroemii (Stål)	Козьминных, 2017а	1	вид		
Семейство	Carabidae Latreille, 1802	16 видов (10 родов)				14
Виды	Agonum (Europhilus) fuliginosum (Panzer, 1809)		5		2,50	0,72
	Agonum (Olisares) dolens (C.R. Sahlberg, 1827)		3		1,50	0,43
	Bembidion (Plataphodes) feldmanni (Mannerheim, 1823)		9		4,50	1,29
лгт.	Blethisa multipunctata (Linnaeus, 1758)	Козьминных, 2017а	1	вид		
	Calathus micropterus (Dufschmid, 1812)		13		3,00	2,58
	Carabus (Dioscarabus) Ioschi (Козьминных, Немков, 1997: 22 – "... найден на запад...")		30		15,00	4,30
	Carabus (Morphocarabus) henningsi Fischer von Waldheim, 1817		3		1,50	0,43
лгт.	Carabus (Orosocarabus) glabri (Козьминных, 2017а)	Козьминных, 2017а	1	вид		
	Cychrus caraboides (Linnaeus, 1758)		1		0,50	0,14
	Notiophilus aquaticus (Linnaeus, 1758)		1		0,50	0,29
	Notiophilus biguttatus (Fabricius, 1779)		1		0,50	0,14
	Patrobus septentrionis Dejean, 1828		2		1,00	0,29
	Pelophilus borealis (Paykull, 1790)		3		1,50	0,43
	Pterostichus (Cryobius) brevicornis (Kirby, 1837)		3		1,50	0,43
	Pterostichus (Petrophilus) kokeilii archangelicus Poppius, 1907		1		0,50	0,14
	Pterostichus (Stenoporus) manneheimii (Dejean, 1831)		7		3,50	1,00
Семейство	Chrysomelidae Latreille, 1810	Михайлов, 2006, 2008; Козьминных, 2017а	4	вида (3 рода)		1

Рис. 1. Фрагмент базы данных по беспозвоночным Кваркуша [21] – <https://cloud.mail.ru/public/5pyr/3bgsbygrb>

1. Горнозаводский район, заповедник «Басеги» – 1411 видов беспозвоночных (общий объём выборки около 57 тыс. экз.) [19], в том числе 2 вида многоножек (Myriapoda) [9, 11], 50 видов полужесткокрылых насекомых (Insecta: Heteroptera) из 16 семейств [16, 17], 498 видов (272 рода) жесткокрылых (Coleoptera) из 50 семейств (из них 134 вида жувелиц – семейство Carabidae, 80 видов Staphylinidae, 56 видов Curculionidae и др.) [15, 19]. Локальная фауна заповедника «Басеги» наиболее подробно исследована из всех ООПТ Пермского края.

2. Добрянский район, ООПТ «Лунежские горы» – 4 класса, 9 отрядов Arthropoda (объём изученного материала более 16 тыс. экз.; общее число видов беспозвоночных не подсчитывалось), в том числе 5 видов многоножек (Myriapoda) [9, 11], 31 вид Heteroptera из 10 семейств [13, 16], более 100 видов отряда Coleoptera из 20 семейств (из них 38 видов Carabidae) [15, 18].

3. Кишертский район, заказник «Предуралье» – 12 видов Myriapoda из 6 семейств [9, 11]; около 500 видов насекомых (Insecta) из 8 отрядов: из них 49\* видов клопов (Heteroptera) из 13 семейств [16], более 350 видов Coleoptera (в том числе 190 видов Carabidae), 271 вид перепончатокрылых (Hymenoptera: Apoidea – 243, Formicidae – 28) [7, 15].

4. Красновишерский район, заповедник «Вишерский» – более 200 видов Coleoptera из 36 семейств; указан конкретный материал по 41 виду жесткокрылых из 9 семейств – см. [20].

5. Красновишерский район, ООПТ «Кваркуш» (рис. 1) – 160 видов (105 родов) Arthropoda из 4 классов, 9 отрядов, 30 семейств; в том числе 34 вида Coleoptera из 12 семейств [21], база данных – <https://cloud.mail.ru/public/5pyr/3bgsbygrb> (здесь и далее дата обращения: 12.01.2020).

6. Кунгурский район, ООПТ «Белогорский» – 53 вида Arthropoda из 3 классов, 8

отрядов, 27 семейств (объем выборки 1056 экз.); в том числе 50 видов Insecta из 5 отрядов, 20 семейств (из них 24 вида Heteroptera, 7 семейств; 23 вида Coleoptera, 10 семейств) [12].

7. Кунгурский район, Кунгурский городской округ, ООПТ «Ледяная гора и Кунгурская ледяная пещера» – 25 видов Heteroptera из 9 семейств [13, 16], фрагмент базы данных – <https://cloud.mail.ru/public/5DmJ/3P4Uaf2UY> (рис. 2); более 70 видов Coleoptera из 20 семейств (из них 41 вид Carabidae) [10].

8. Пермский городской округ, ООПТ «Верхнекурьюинский» – 9 видов Murgaroda

[9], 71\* вид Heteroptera из 14 семейств [16], более 120 видов Coleoptera из 20 семейств (из них 72\* вида Carabidae) [2, 8, 15].

9. Пермский городской округ, ООПТ «Липовая гора» – 5 видов Murgaroda [9], 24\* вида Heteroptera из 8 семейств [16], около 100 видов Coleoptera из 23 семейств (из них 37 видов Carabidae; объем выборки более 4 тыс. экз.) [14, 15].

10. Усольский район, ООПТ «Огурдинский бор» – 3 класса, 7 отрядов, 13 семейств Arthropoda, в том числе идентифицированы 13 видов из 8 семейств [22], база данных – <https://cloud.mail.ru/public/FC6H/scU2HVRyO>.

Районы Пермск	Локалитеты	Годы сборов	Изученные биотопы (общ)	Даты сборов	Кол-во	Кол-во СДП	Литература	Кол-во	Кол-во	Изученность, %	
Краснокамский	"Пальтинское болото", ск	2016	Сфагновый торфяник, берк	26.07.-16.09.2016	4864	60	1,2	Козьминых, 2016	11	69	98,6
		2017	Сфагновый торфяник, берк	16.09.2016-2.05.2017	10						
	Итоговые данные	2016-2017	1	26.07.2016-2.05.2017	4864	70	1,2				Итого (Пальтинск
Кунгурский раио	"Ерگان", сборы 2011, 201	2011	Березняк разнотравный	6.05.-9.09.2011	4080	239	5,9	Козьминых, 2016	41	537	40,8
		2011-2012	Березняк разнотравный	9.09.2011-12.05.2012	48						
		2012	Березняк разнотравный	12.05.-26.07.2012	3722	118	3,2				
	Всего	2011-2012	Березняк разнотравный	6.05.2011-26.07.2012	7802	405	4,6				6.05.2011-26.07.2012
		2010-2012	Сосняк папоротниковый, т	18.09.2010-6.05.2011	15						
		2011	Сосняк папоротниковый, т	6.05.-9.09.2011	4641	178	3,8				
		2011-2012	Сосняк папоротниковый, т	9.09.2011-12.05.2012	156						
		2012	Сосняк папоротниковый, т	12.05.-26.07.2012	5541	93	1,7				
	Всего	2010-2012	Сосняк папоротниковый, т	18.09.2010-26.07.2011	10182	442	2,7				18.09.2010-26.07.2011
		2010-2011	Гипсово-известковые обн	18.09.2010-6.05.2011	9						
		2011	Гипсово-известковые обн	6.05.-9.09.2011	2774	238	8,6				
		2012	Гипсово-известковые обн	12.05.-26.07.2012	722	129	17,9				
	Всего	2010-2012	Гипсово-известковые обн	18.09.2010-26.07.2011	3496	376	10,5				18.09.2010-26.07.2011
		2011	Пойменный разнотравный	6.05.-7.06.2011	331	94	28,4				
	Итоговые данные	2010-2012	4	18.09.2010-26.07.2011	21811	1317	5,0				Итого (Ерған): 4
	"Ледяная гора и Кунгурск	2010	Березняк остепненный в лк	22.06.-9.08.2010	704	11	1,6	Козьминых, 2016	24	201	77,3
		2010	Сосняк остепненный на ск	22.06.-9.08.2010	480	2	0,4				
		2010	Разнотравная камешстая с	2.06.-9.08.2010	2104	141	6,7				
		2010	Ковыльяно-разнотравный л	22.06.-9.08.2010	912	106	11,6				
	Итоговые данные	2010	4	2.06.-9.08.2010	4200	260	6,2				Итого (Ледяная г
Пермь и ближай	"Андропоновский лес", сбор	2015	Елово-сосновый лес разн	28.04.-29.09.2015	5526	38	0,7	Козьминых, 2016	13	96	71,1

Рис. 2. Фрагмент рабочей базы данных по *Heteroptera* Пермского края – <https://cloud.mail.ru/public/5DmJ/3P4Uaf2UY>

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 97-04-48301-а.

### Библиографический список

1. Алимов А.Ф., Лобанов А.Л., Пугачёв О.Н. Сравнительный анализ реляционного и сетевого подходов к созданию банков данных по систематике, экологии и географическому распространению животных // Журнал общей биологии. 1993. Т. 54. Вып. 1. С. 96-103.
2. Андреев Д.Н., Гатина Е.Л., Козьминых В.О., Переведенцева Л.Г., Стенно С.П. Верхнекурьюинский // Атлас особо охраняемых природных территорий Пермского края. Под ред. д.г.н. С.А. Бузмакова. Пермь: «Астер Плюс», 2017. С. 41-42.
3. Базы данных и компьютерная графика в зоологических исследованиях. Труды Зоологического ин-та РАН. Т. 269. Под ред. С.Д. Степаньянц, А.Л. Лобанова, М.Б. Дианова. Санкт-Петербург: ЗИН РАН, 1997. 208 с.
4. Воронин А.Г. Локальные фауны жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Пермского края: географические аспекты изученности // Географический Вестник. Пермь, 2006. Вып. 2 (4). С. 135-142.

5. Гридина Т.И. Географический анализ фауны муравьёв (Hymenoptera, Formicoidea) Пермской области // Географический Вестник. Пермь, 2006. Вып. 1 (3). С. 145-148.
6. Есюнин С.Л., Гридина Т.И., Ефимик В.Е., Козьминых В.О. Пространственные тренды разнообразия беспозвоночных животных. Научный отчёт РФФИ 97-04-48301-а // Информационный Бюллетень РФФИ. Биология, медицинская наука. 1997. Т. 5. Вып. 4. С. 79. – <http://elibrary.ru/item.asp?id=231877>.
7. Козьминых В.О. Библиографические сведения о наземных беспозвоночных ландшафтного заказника «Предуралье» (Кишертский район Пермского края) // Естественные и математические науки в современном мире. Новосибирск: «СибАК», 2017а. № 3 (50). С. 32-51.
8. Козьминых В.О. Жесткокрылые (Insecta, Coleoptera) охраняемого природного ландшафта «Верхнекурьюинский» (Пермь) // Приволжский научный вестник. Ижевск: «Издательский Центр Научного Просвещения», 2014. Ч. 1. № 3 (31). С. 5-10.
9. Козьминых В.О. Каталог многоножек (Myriapoda) Урала // Эверсманния. Энтомологические исследования в России и соседних регионах. Тула: «Аквариус», 2018а. Вып. 55-56. С. 12-37.
10. Козьминых В.О. Материалы к изучению биоразнообразия жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera) памятника природы «Ледяная гора и Кунгурская Ледяная пещера» (Пермский край) // Пещеры. Сборник науч. трудов. Пермь: ПГНИУ, 2012а. Вып. 35. С. 67-75.
11. Козьминых В.О. Многоножки (Myriapoda) заповедных и охраняемых территорий Пермского края // Инновации в науке. Новосибирск: «СибАК», 2016а. № 10 (59). С. 7-21.
12. Козьминых В.О. Первые данные по беспозвоночным заказника «Белогорский» (Пермский край) // Фауна Урала и Сибири. 2018б. № 2. С. 45-53.
13. Козьминых В.О. Полужесткокрылые насекомые (Insecta, Heteroptera) некоторых заповедных и охраняемых территорий Пермского края // Наука вчера, сегодня, завтра. Сборник статей по материалам ХLI международной науч.-практ. конф., Новосибирск, 14 декабря 2016 г. Новосибирск: «СибАК», 2016б. Ч. I. № 12 (34). С. 11-28.
14. Козьминых В.О. Разнообразие жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) памятника природы «Липовая гора» в Перми // Известия Пензенского гос. педагогического ун-та им. В.Г. Белинского. Естеств. науки. Пенза: ПГПУ, 2012б. Вып. 29. С. 216-219.
15. Козьминых В.О. Разнообразие наземных беспозвоночных охраняемых природных ландшафтов Пермского края // Естественные и математические науки в современном мире. Новосибирск: «СибАК», 2017б. № 2 (49). С. 5-27.
16. Козьминых В.О. Системный анализ фауны полужесткокрылых насекомых (Insecta, Heteroptera) Пермского края. Часть II: территориальное распределение // Инновации в науке. Новосибирск: «СибАК», 2018в. № 8 (84). С. 4-11.
17. Козьминых В.О. Современные данные о фауне полужесткокрылых насекомых (Insecta, Heteroptera) заповедника «Басеги» и его окрестностей // Инновации в науке. Новосибирск: «СибАК», 2018г. № 1 (77). С. 4-9.
18. Козьминых В.О. Состав и распределение жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) по биотопам ландшафтного памятника природы «Лунежские горы» (Пермская область) // Экологические проблемы заповедных территорий России. Под ред д.б.н. С.В. Саксонова. Тольятти: изд-во Института экологии Волжского бассейна РАН, 2003. С. 204-210.
19. Козьминых В.О., Наумкин Д.В., Санников П.Ю. Жуки заповедника «Басеги». Часть 1 // Фауна Урала и Сибири. 2019. № 1. С. 38-96.
20. Козьминых В.О., Санников П.Ю. Жесткокрылые насекомые (Insecta, Coleoptera) заповедника «Вишерский» и соседних территорий // Антропогенная трансформация природной среды. Науч. журнал. Пермь: ПГНИУ, 2018а. № 4. С. 60-66.
21. Козьминых В.О., Санников П.Ю. Новые сведения о наземных членистоногих (Arthropoda) охраняемого ландшафта «Кваркуш» // Проблемы антропогенной трансформации природной среды. Материалы международной конф. памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 14-15 ноября 2019 г. Пермь: ПГНИУ, 2019. С. 76-81.

22. Козьминых В.О., Санников П.Ю. Первые сведения о наземных беспозвоночных охраняемого природного ландшафта «Огурдинский бор» (Усольский район Пермского края) // Антропогенная трансформация природной среды. Материалы международной школы-семинара молодых учёных памяти Н.Ф. Реймерса и Ф.Р. Штильмарка. Пермь, 14-16 ноября 2018 г. Пермь: ПГНИУ, 2018б. С. 42-52.
23. Smirnov I.S., Lobanov A.L., Smirnov A.V. Echinoderm collections of the Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, as information base for fundamental biological investigation // Acta Scientific Medical Sciences. 2019. Vol. 3. Issue 12. P. 85-102.

УДК 502.62

И.А. Кувшинский, mdqq@mail.ru

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15

### ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АНАЛИЗЕ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Особо охраняемые природные территории России в своем развитии столкнулись с рядом системных проблем, адекватное решение которых невозможно без применения геоинформационных систем (ГИС) и дистанционного зондирования. В статье рассмотрены роль применения ГИС при работе ООПТ всех уровней и обоснована необходимость дальнейшего наращивания применения ГИС-технологий при совершенствовании нашей сети ООПТ. Так же в статье представлена методика ландшафтного анализа, с учетом ГОСТ 17.8.1.02-88, основанная на дешифрировании результатов аэро и космосъемки с географической привязкой дополнительной информации, которая поможет детализировать ландшафтные особенности как отдельных ООПТ так и сети ООПТ.

*Ключевые слова:* ГИС, особо охраняемые природные территории, биоразнообразие, ландшафт.

I. Kuvshinsky, mdqq@mail.ru

Perm State University, Perm, Bukireva, 15

### USE OF GEINFORMATION TECHNOLOGIES IN ANALYSIS OF LANDSCAPE STRUCTURE OF SPECIALLY PROTECTED AREAS

Specially protected natural territories of Russia in their development encountered of systemic problems, an solution of which is impossible without the use of geographic information systems (GIS) and remote sensing. The article discusses the role of GIS application in the work of protected areas of all levels and substantiates the need to further increase the use of GIS technologies to improve our network of protected areas. The article also presents the methodology of landscape analysis, taking into account GOST 17.8.1.02-88, based on the interpretation of the results of aero and space surveys with geo-referenced additional information that will help to detail the landscape features of both individual protected areas and the network of protected areas.

*Keywords:* GIS, conservation areas, biodiversity, landscape.

Развитие сети ООПТ в России, по сравнению с другими странами, отличается объективной спецификой. Это связано прежде всего с огромными размерами территории страны, значительная часть которой не затронута деятельностью человека, низкой средней плотностью населения, при очень высоких региональных контрастах антропогенной нагрузки. Так же всё это осложнено экономическими преобразованиями и потрясениями страны в конце XX и начале XXI века – которые

и по сей день окончательно не решены и оказывают негативное влияние на развитие и поддержание сети ООПТ.

Всё это негативно сказывается на систематичности проведения традиционных методов крупномасштабного ландшафтного картирования, сокращению объемов изучения территорий в ходе маршрутных исследований, апробации и различных видов наблюдений. Что приводит к недостаточной детальности описания ландшафт-

тов и процессов, происходящих на них, неточности оценки экологического состояния территорий и отрицательно сказывается на природоохранной деятельности.

Так же стоит отметить еще одну специфичную проблему российских ООПТ – это некая их закрытость в информационном мире, приводящая к сложностям получения данных собранных на их территориях, плохому обмену информацией между ООПТ и отсутствию единой унифицированной системы хранения данных. Что часто приводит к невозможности получения и сравнения между собой многолетних данных.

Использование геоинформационных систем (далее - ГИС) и дистанционного зондирования является практичным выходом из сложившейся ситуации. Это позволит решить проблемы со сбором, хранением, обменом и обработкой данных ООПТ, что положительно скажется на качестве решения задач стоящих перед нашей системой ООПТ. Переход к использованию ГИС-технологий не требует вносить практически никаких изменений в содержания наблюдений, но форма их фиксации становится значительно более жесткой и адаптированной для компьютерной обработки. При этом надо понимать, что ГИС не могут полностью заменить собой традиционные методы маршрутных исследований, натурных наблюдений и т.д., но могут сократить и дополнить их, повысить точность и дать новые данные для анализа.

Сеть ООПТ Пермского края достаточно широко развита в количественном отношении, но она не является репрезентативной. Площадь ООПТ в регионе явно достаточна, но сами объекты расположены неравномерно для достижения цели сохранения биологического и ландшафтного разнообразия и поддержания экологического баланса региона. Что не единожды было показано в различных исследованиях, авторы которых приходили к выводу о недостаточном уровне сохранности географического разнообразия на охраняемых территориях региона и предлагали перспективные объекты разного размера и уровня охраны [2,3,7,8,9].

Исследований, детализирующих ландшафтные особенности региональных охраняемых территорий Прикамья, с учетом устоявшейся классификации согласно ГОСТ 17.8.1.02-88 [10], нами не встречено. Сегодня достаточно трудно судить о ландшафтной структуре ООПТ, приуроченности особо охраняемых, уникальных, а так-

же типичных объектов к тем или иным ландшафтам, согласно ГОСТ 17.8.1.02-88. А между тем именно ландшафтные особенности территории наряду с экосистемными являются одними из ключевых критериев выделения ООПТ.

Одна из попыток проанализировать внутреннюю структуру ООПТ выполнена А.А. Зайцевым [2,9], однако автор уделяет внимание изменённости ландшафтов в пределах ООПТ и их сукцессионным особенностям, используя при этом понятие базовая экосистема, а не ландшафт.

Вполне вероятно, что анализ ландшафтной структуры охраняемых территорий с синтезом полученных сведений об уникальных и типичных объектах и их состоянии позволит детализировать и дополнить современные рекомендации по созданию новых ООПТ.

Нами предлагается разработать методику исследований природных и природно-антропогенных ландшафтов ООПТ Пермского края, согласно ГОСТ 17.8.1.02-88, которая будет включать в себя дешифрирование ландшафтных контуров по имеющимся в открытом доступе аэро и космоснимкам, а также по топографическим и тематическим картам различного масштаба. А в последствие апробировать данную методику на определённых уже существующих охраняемых территориях.

В соответствии с государственными стандартами ГОСТ 17.8.1.01-86 [10] и ГОСТ 17.8.1.02-88 [11], разработанными с целью рационального использования и охраны ландшафтов при хозяйственном освоении территорий, установлены следующие требования к классификации ландшафтов:

1. Классификация современных ландшафтов должна быть основана на сочетании антропогенных и природных факторов их формирования;

2. По антропогенным факторам формирования ландшафты должны классифицироваться на основе их социально-экономической функции (сельскохозяйственные, лесохозяйственные, водохозяйственные, промышленные, ландшафты поселений, рекреационные, заповедные, и ландшафты, не используемые в настоящее время).

3. Для классификации ландшафтов по природным факторам формирования устанавливаются следующие признаки по степени убывания таксономического ранга: степень континентальности климата; принадлежность к морфоструктурам высшего порядка (равнинные, горные); особенности макрорельефа (ландшафты низ-

менных равнин, ландшафты возвышенных равнин, низкогорные, предгорные и др.); расчлененность рельефа (расчлененные, нерасчлененные); биоклиматические различия (лесотундровые, лесные, лесостепные, степные и др.). По типу геохимического режима ландшафты подразделяют на элювиальные, субаквальные, супераквальные;

4. Классификация по совокупности природных и антропогенных факторов дается в виде таблиц или матриц наложения соответствующих факторов формирования.

5. По устойчивости к антропогенным воздействиям ландшафты следует подразделять на: высокоустойчивые, среднеустойчивые, слабоустойчивые, неустойчивые. А по степени измененности ландшафты подразделяют на: неизменные, слабоизмененные, средне изменённые, сильноизмененные.

В качестве модельного объекта изучения ландшафтных особенностей с учетом классификации ГОСТ 17.8.1.02-88 мы предлагаем взять территории ландшафтного заказника «Предуралье». Территория данного ООПТ представляется нам удобной для проведения подобного исследования и отработки методики в виду своей доступности для сотрудников и студентов ПГНИУ, хорошей представленности типовых, для Пермского края, природных ландшафтов и экосистем, наличия зон с различной степенью и видами антропогенной нагрузки (от нетронутых и заповедных участков, до территорий ранее изменённых сельскохозяйственной деятельностью, затронутых влиянием лесной промышленности или строительством и функционированием Ж/Д и т.д.). К тому же данная территория остро нуждается в оценки современного состояния ее экосистемных, ландшафтных особенностей и объектов охраны.

В качестве рабочей картографической основы для дешифрирования будет использованы растровые изображения топографической карты масштаба 1:100000 (лист № 0-40-91), 1987 г. издания, а также другие топографические основы, взятые из открытых источников. В качестве «фотоосновы» будут использованы результаты аэрофотосъёмки территории ООПТ, проведенные сотрудниками кафедры «Биогеоценологии и охраны природы» Географического факультета ПГНИУ, а также имеющиеся в открытом доступе космоснимки. Для полноты анализа будут использоваться и специализированные

карты, и схемы (почвенная карта, схема лесоустройства, схема зонирования ООПТ и т.д.)

С учетом подхода к классификации, описанного выше, ландшафтное дешифрирование снимков необходимо сопровождать созданием отдельных слов, что наиболее удобно произвести с помощью ГИС (ESRI ArcGIS или MapInfo). Для оценки экосистемных и ландшафтных особенностей территории мы предлагаем следующий порядок выполнения работ.

Загрузка и векторизация основных растровых изображений топографических карт.

Географическая привязка к топографической основе аэро и космоснимков.

Далее на основе дешифровки аэро и космоснимков и анализе топографической карты в отдельных слоях производятся следующие работы.

Выделение в отдельном слое речной сети и прочих водных объектов ООПТ.

Ориентировочное выделение основных родов и биоклиматических типов природных ландшафтов.

Выделение, если они есть, памятников природы, геологических памятников, видимых карстовых процессов.

Выделение основных площадных и линейных объектов, связанных с антропогенными факторами формирования ландшафтов: земли поселений, сельскохозяйственные, лесохозяйственные участки, газопровод, железная дорога и т.д.

Географическая привязка почвенных карт, картосхем растительности и других тематических карт к созданной топооснове и их векторизация. Это позволит дополнить и уточнить контуры ранее выделенных типов ландшафтов.

Слои, образованные этими элементами, будут являться основой для классификации природных и природно-антропогенных ландшафтов заказника «Предуралье».

На этом этапе стоит попробовать выделить на отдельный слой уровни высот рельефа. Возможно, это позволит уточнить полученные ранее контуры ландшафтов и создать карту геохимических рядов ландшафтов.

Далее будет произведена аналитическая и математическая обработка межслоевых комбинаций и отдельных слоев, а также анализ пространственного распределения различных элементов.

Работы, связанные с выявлением

ландшафтных особенностей как отдельных охраняемых территорий, так и целых сетей ООПТ требуют обработки большого массива информации касающейся степени распространения тех или иных природных ландшафтов, степени антропогенного воздействия на них и анализа их устойчивости. Мы уверены, при таком массиве информации самым оптимальным путем решения задачи будет использования ГИС технологий. А именно дешифровка аэро и

космоснимков с сохранением пространственных данных всех индивидуальных контуров и географическая привязка разного рода тематической информации. Комбинации контуров природных и природно-антропогенных компонентов ландшафта в различных сочетаниях позволяет не только детально классифицировать ландшафты, но и произвести экологическое ранжирование территорий по степени антропогенной нагрузки.

*Анализ фондовых данных и создание первичной геоинформационной базы частично проведено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-05-31262.*

### Библиографический список

1. Батуев А.Р., Лопаткин Д.А. Обоснование и картографирование территориальной структуры экологического каркаса региона // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2008. № 1. С. 56-75.
2. Бузмаков С.А., Зайцев А.А. Состояние региональных особо охраняемых природных территорий Пермского края // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2011. № 3. С. 3-12.
3. Воронов Г.А., Циберкин Н.Г., Стенно С.П. Ландшафтные особенности Пермского края и перспективы выделения особо охраняемых природных территорий // Вестник Удмуртского университета, Серия Биология. Науки о Земле. 2008. № 1. С. 3-18.
4. ГОСТ 17.8.1.01-86 Охрана природы. Ландшафты. Классификация. Дата введения 01.06. 1989 г. Доступ из справ.-правовой системы «ТехЭксперт».
5. ГОСТ 17.8.1.02-88 Охрана природы. Ландшафты. Классификация. Дата введения 01.06. 1989 г. Доступ из справ.-правовой системы «ТехЭксперт».
6. Груммо Д., Коробушин Д., Млашенко Е. Мониторинг особо охраняемых природных территорий // Наука и инновации. 2018. № 188. С. 65-69.
7. Копылов И.С., Лунев Б.С., Наумова О.Б., Маклашин А.В. Геоморфологические ландшафты как основа геоэкологического районирования // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-10. С. 2196-2201.
8. Об особо охраняемых природных территориях. Федеральный закон от 14 марта 1995 № 33-ФЗ (Принят Государственной Думой 15 февраля 1995 г.; в редакции от 28.12.2013 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Отбоева С.Д., Жалсараева Е.А., Особенности применения геоинформационных систем при экоаудите особо охраняемых природных территорий // Российское предпринимательство. 2016. №15. С. 1807-1816/
10. Санников П.Ю. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. №1(4). С. 1250-1253.
11. Санников П.Ю., Бузмаков С.А. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2015. 173 с.
12. Buzmakov S.A., Voronov G.A., Zaytsev A.A. The characteristics of the state of protected areas of Perm krai // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 22. № 7. Р. 956-963.

УДК 502.052+575.76

В.А. Кулигина, В.О. Козьминых, [ler.kuligina@yandex.ru](mailto:ler.kuligina@yandex.ru)  
 Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
 г. Пермь, Россия

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ НАЗЕМНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ООПТ «ПЛОТБИЩЕ» (ПЕРМСКИЙ КРАЙ, ЧАЙКОВСКИЙ РАЙОН)

Рассматривается состояние популяций наземных беспозвоночных на особо охраняемой природной территории «Плотбище» в Чайковском районе Пермского края. Дано представление об экологических системах, основных экологических группах организмов по способу питания. Описаны методы сбора в полевых условиях, фиксации, обработки материала по беспозвоночным. Приводится информация о преимуществе использования геоинформационных технологий в экологических исследованиях.

*Ключевые слова:* беспозвоночные, особо охраняемые природные территории, экосистема, ГИС-технологии, мониторинг.

V. Kuligina, V. Kozminykh, [ler.kuligina@yandex.ru](mailto:ler.kuligina@yandex.ru)  
 Perm State University, Perm, Russia

## MONITORING OF POPULATION STATE OF TERRESTRIAL INVERTEBRATES ON THE PROTECTED NATURAL TERRITORY «PLOTBISHCHE» (PERM AREA, CHAIKOVSKIY DISTRICT)

The population state of terrestrial invertebrates on the Protected Natural Territory "Plotbishche" in Chaikovskiy District of the Perm Area is discussed. Ecological systems overview, the main ecological groups of organisms by the method of nutrition are given. Methods of collecting, fixing and processing of invertebrates in the field are described. Information about the advantages of using of geoinformation technologies in environmental research is provided.

*Keywords:* invertebrates, specially protected natural areas, ecosystem, GIS-technologies, monitoring.

Изучение биоразнообразия животного населения является одним из основных разделов экологических исследований. Экосистема представляет собой совокупность живых организмов и окружающей среды, связанных между собой обменом энергии и круговоротом веществ. Пищевые взаимоотношения между организмами играют важную роль в поддержании равновесного состояния экологической системы. Так, каждое сообщество включает в себя представителей экологических групп организмов: продуцентов, консументов и редуцентов.

К продуцентам относятся растения, хемо- и фотосинтезирующие бактерии. Они обеспечивают синтез органических веществ, используют минеральную и органическую составляющие почвы, и солнечную энергию. Редуценты утилизируют продукты жизнедеятельности и отмершие организмы нижестоящих трофических уровней. Животные, в том числе наземные беспозвоночные, представлены консументами, т. е. потребителями органического вещества растительного и животного происхождения. Они являются обязательным

и важным компонентом любого наземного сообщества [4].

Почвенные беспозвоночные могут служить особым информативным индикатором, характеризующим изменения в окружающей среде благодаря высокому экологическому и видовому разнообразию, тесной связи с почвой, сниженной миграционной активности, высокой чувствительности и достаточно быстрой реакции на изменение параметров внешних условий среды.

В настоящее время общее количество видов наземных беспозвоночных животных (членистоногих – Arthropoda), обитающих в границах Пермского края, составляет не менее десяти тысяч видов. Отмечается неравномерная изученность фауны беспозвоночных региона и недостаточность популяционных исследований. Местом для проведения работы выбрана юго-западная часть Пермского края [1], по этой территории мало информации о состоянии и видовом разнообразии наземных членистоногих.

Некоторые немногочисленные сведения о насекомых (Insecta: Heteroptera,

Coleoptera) Чайковского района имеются в работах [2, 3, 6, 7]. Так, на этой территории обнаружен 1 вид полужесткокрылых (Heteroptera: Pentatomidae) – *Graphosoma italicum* (O. F. Müller, 1766) [6], известно 7 видов жужелиц (Coleoptera, Carabidae) – *Carabus stscheglowi* Mannerheim, 1827; *Carabus granulatus* Linnaeus, 1758; *Clivina fossor* (Linnaeus, 1758); *Brosicus cephalotes* (Linnaeus, 1758); *Amara fulva* (O. Müller, 1776); *Harpalus tardus* (Panzer, 1797); *Microlestes minutulus* (Goeze, 1777) (г. Чайковский) [2], 2 вида жуков-карапузиков (Coleoptera: Histeridae) – *Atholus duodecimstriatus quatuordecimstriatus* (Gyllenhal, 1808) и *Hister unicolor* Linnaeus, 1758 (г. Чайковский) [7], а также 61 вид долгоносикообразных жуков (Coleoptera, Curculionoidea) (дер. Чернушка, с. Ольховка, пос. Волковский) [3]: из них 1 вид Anthribidae – *Platystomos albinus* (Linnaeus, 1758), 1 вид Rhynchitidae – *Temnocerus caeruleus* (Fabricius, 1798), 10 видов Brentidae (Apionidae) и 49 видов Curculionidae.

Согласно перечню об особо охраняемых природных территориях (ООПТ) Пермского края, «Плотбище» [1] является охраняемым природным ландшафтом регионального значения, организованным на основании постановления Правительства Пермского края от 28 марта 2008 г. № 64-п [9]. «Плотбище» расположено в границах Чайковского муниципального района. На территории ООПТ расположено пять типов экологических систем: сорно-рудеральное сообщество, переходное болото, мелколиственный лес, посадки ели сибирской, сосновый лес. Такая разнородность экосистем предполагает разнообразие биологического материала, варьирование факторов среды обуславливает суточные колебания состава и количественного со-

отношения групп беспозвоночных [8].

При сборе беспозвоночных животных используют различное оборудование и методики в зависимости от особенностей распределения. Для сбора наземных беспозвоночных применяют почвенные ловушки (ловушки Барбера). В грунт вкапывают ловчие банки объемом 0,3–0,5 л. (стеклянные или пластмассовые) таким образом, чтобы их горлышко находилось на одном уровне с поверхностью почвы. В ловушки помещают на 1/3 объема раствор фиксирующей жидкости (спирт, 3–4% формалин или 10% раствор хлорида натрия), или разнообразные приманки. Некоторые насекомые могут быть отловлены в ночное время на свет (рис. 1) [8].

Основной ход работы запланирован на весенне-летний период. Периодичность полевых работ по сбору необходимого материала составляет 3–4 недели. Длительность осуществления непосредственного сбора материала от 10 до 15 дней, в зависимости от погодных условий. Выполнение научно исследовательской работы предполагается в 3 этапа:

Подготовительный – сбор информации, создание карты-схемы ООПТ с точками отбора материала, подготовка оборудования, приготовление фиксирующего раствора.

Основной – сбор материала путем отлова почвенными ловушками наземных беспозвоночных, консервация и оформление энтомологической коллекции.

Заключительный – предполагает написание магистерской работы на основании собранной коллекции беспозвоночных животных, анализу и структурированию материала.

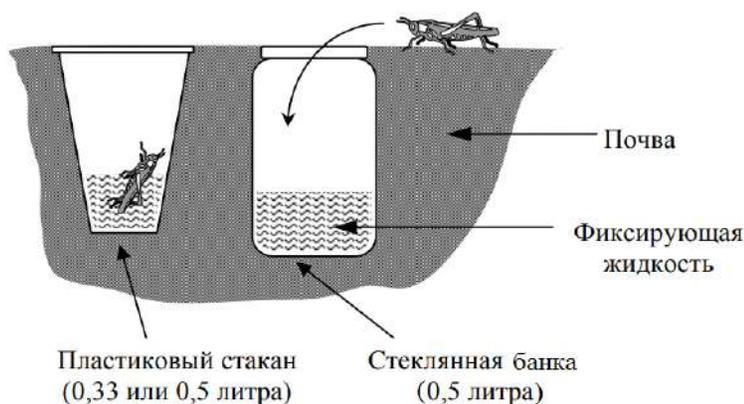


Рис. 1. Схема применения почвенных ловушек [8]

При изучении состояния популяции наземных беспозвоночных в ООПТ «Плотбище» целесообразно использовать ГИС-технологии – инструменты для обработки пространственной информации, привязанной к определенной части земной поверхности.

Наиболее практичной функциональной возможностью является проектирование и создание картографических или графических изображений. Применение такой функции позволит в наглядной и доступной форме показать разнородную информацию.

Таким образом, изучение биологического разнообразия животного населения является значимым аспектом экологической деятельности. Почвенные беспозвоночные животные являются важным ресурсом, который определяет скорость круговорота вещества, качество и свойства почв и процесса почвообразования в целом, но недостаточно изучены. Для восполнения «пробелов» в фауне беспозвоночных Пермского края, в частности в его юго-западной части, предполагается проведение комплексной работы по мониторингу состояния популяций наземных беспозвоночных в границах ООПТ «Плотбище» с использованием ГИС-технологий.

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 97-04-48301.*

### Библиографический список

1. *Атлас* особо охраняемых природных территорий Пермского края. Под ред. С. А. Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. 512 с.
2. *Воронин А. Г.* Фауна и комплексы жуужелиц (Coleoptera, Trachypachidae, Carabidae) лесной зоны Среднего Урала (эколого-зоогеографический анализ). Пермь, 1999. 244 с.
3. *Дедюхин С. В.* Долгоносикообразные жесткокрылые (Coleoptera, Curculionidea) Вятско-Камского междуречья: фауна, распространение, экология. Ижевск: Удмуртский ун-т, 2012. 340 с.
4. *Дмитриенко В. К.* Зоология беспозвоночных: учебное пособие. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2017. 172 с.
5. *Есюнин С. Л., Гридина Т. И., Ефимик В. Е., Козьминых В. О.* Пространственные тренды разнообразия беспозвоночных животных. Научный отчет РФФИ 97-04-48301-а // Информационный Бюллетень РФФИ. Биология, медицинская наука. 1997. Т. 5. Вып. 4. С. 79.
6. *Козьминых В. О.* Полуужесткокрылые насекомые (Insecta, Heteroptera) некоторых заповедных и охраняемых территорий Пермского края // Наука вчера, сегодня, завтра. Вып. 12 (34). Ч. I. Сб. статей по мат. ХLI междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 14 дек. 2016 г. Новосибирск: «СибАК», 2016. С. 11–28.
7. *Козьминых В. О., Есюнин С. Л.* Фауна жесткокрылых Урала. Карапузики (Coleoptera, Histeridae). Пермь: Пермский ун-т, 1991. 24 с.
8. *Лямин М. Я., Пахоруков Н. М.* Биоразнообразие и экология беспозвоночных животных. Наземная фауна: учебное пособие по полевой практике. Пермский гос. ун-т. Пермь, 2009. 176 с.
9. *Постановление* Правительства Пермского края от 28.03.2008 № 64-п. [Электронный ресурс]: URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/> (дата обращения 18.02.2020).

С.А. Куролап, О.В. Клепиков, Т.И. Прожорина, П.М. Виноградов, skurolap@mail.ru  
Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ, СВЯЗАННОГО С СОСТОЯНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В статье рассматриваются вопросы применения геоинформационных технологий для создания электронного медико-экологического атласа крупного промышленного центра. На примере города Воронежа показаны возможности геоинформационно-аналитических технологий в оценке экологических рисков вследствие промышленно-транспортного воздействия на городскую среду, загрязнения воздушного бассейна и почвы, недостаточной безопасности системы хозяйственно-питьевого водоснабжения. Обоснована сеть пунктов экологического мониторинга на территории города и разработана схема экологического мониторинга с применением геоинформационных технологий как необходимый составной блок городской экологической политики.

*Ключевые слова:* экологический риск, состояние окружающей среды, здоровье населения, геоинформационное картографирование.

S. Kurolap, O. Klepikov, T. Prozhorina, P. Vinogradov, skurolap@mail.ru  
Voronezh State University, Voronezh, Russia

## INFORMATION TECHNOLOGIES IN RISK ASSESSMENT FOR HEALTH OF POPULATION RELATED TO THE CONDITION OF THE ENVIRONMENT

The article discusses the application of geographic information technologies to create an electronic medical and environmental atlas of a large industrial center. Using the example of the city of Voronezh, the possibilities of geoinformation and analytical technologies in assessing environmental risks due to industrial and transport impacts on the urban environment, air pollution and soil pollution, and insufficient safety of the drinking water supply system are shown. The network of environmental monitoring points on the territory of the city is justified and an environmental monitoring scheme using geoinformation technologies is developed as a necessary component of urban environmental policy.

*Keywords:* environmental risk, state of the environment, public health, geoinformation mapping.

Проблема оценки экологических рисков для населения урбанизированных территорий эффективно решается с применением современных цифровых технологий, позволяющих формировать базы компьютерных данных о состоянии окружающей среды и здоровья населения, реализовывать алгоритмы анализа статистических связей в системе «среда обитания - общественное здоровье» и осуществлять геоинформационное картографирование медико-экологических ситуаций.

Целью данного исследования является создание геоинформационно-аналитического комплекса для обеспечения регионального медико-экологического мониторинга на примере крупнейшего промышленного центра Черноземья (города Воронежа), где в течение 2018-2020 гг. авторами статьи создан электронный медико-экологический атлас города Воронежа [1-3]. Используемая программная среда: MapInfo, MS EXCEL; масштаб исходных

карт - 1:25000; число карт - 63 с возможностью дальнейшего увеличения объема без специальных ограничений.

Разработчики атласа: Воронежский государственный университет и Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области. Созданный макет электронного медико-экологического атласа города Воронежа включает разделы: состояние окружающей среды (экологический фон: параметры техногенного воздействия и загрязнения атмосферы, почвы, снежного покрова; состояние родников; радиационный фон; фитотоксические эффекты; состояние биоты); состояние здоровья населения (по основным социально значимым классам заболеваний отдельно для взрослого и детского населения по территориям обслуживания поликлиник города); оценка экологического риска для здоровья населения (рисков, связанных с микроклиматическими условиями, промышленно-транспортным воздействием

и техногенным загрязнением городской среды).

Основой исходной базы данных является разработанная тематическая ГИС («МЕД-ЭКО ГИС г.Воронежа»), включающая подсистемы хранения эколого-геохимических и медико-экологических данных, а также программно-алгоритмическое обеспечение оценки экологических рисков. Базовым временным сроком для оценки качества городской среды выбран актуальный 11-летний период (2009-2019 гг.). В качестве операционных территориальных единиц выбраны три уровня генерализации информации: 1) функционально-планировочные зоны города (6 зон и фон, всего 7 территориальных единиц); 2) районы обслуживания взрослых (16) и детских (11) поликлиник города; 3) специальные пункты мониторинга состояния городской среды, включающие стационарные и передвижные посты контроля воздуха системы гидрометеослужбы, санитарно-эпидемиологической службы, а также дополнительно выбранные авторами пункты наблюдений для равномерного охвата территории города системой экологического мониторинга.

Исходные данные для создания ГИС формируются в ходе натурных экспериментальных исследований сотрудников Воронежского государственного университета, а также предоставлены Центром гигиены и эпидемиологии Воронежской области, некоторыми региональными природоохранными и мониторинговыми ведомствами города в рамках межведомственного взаимодействия.

Создание цифровых карт опасности техногенного воздействия на городскую среду осуществляется в среде ГИС MapInfo путем пространственного интерполирования значений индексов экологической опасности способом изолиний (методом IDW-интерполирования и построения изолиний при помощи модуля «Поверхность»). Карты состояния здоровья населения и карта суммарной промышленно-транспортной нагрузки на городскую среду построены по территориальным участкам взрослых и детских поликлиник города.

Интерфейс функционирования Медико-экологического атласа в сети Интернет сделан на языке «HTML» в виде системы гиперссылок. Обращение к разделам, отдельным картам и текстовым пояснительным описаниям осуществляется с титульной страницы атласа путем нажатия

специальных клавиш (*окон в нижней строке меню*), характеризующих различные структурные блоки и смысловые разделы атласа (содержание и вводный раздел, условные обозначения, окружающая среда, здоровье населения, экологические риски).

Выполненные с применением данной технологии экспериментальные и геоинформационно-аналитические исследования на территории города Воронежа позволили сформулировать следующие основные закономерности формирования экологических рисков для населения города.

1. Техногенное загрязнение городской среды формируется за счет природно-экологического фактора, в частности, сезонности и стратификации атмосферы, а также особенностей функционально-планировочной инфраструктуры и промышленно-транспортного комплекса; критерии качества атмосферы дают наиболее сильный ответный «отклик» на промышленно-транспортное воздействие, причем ведущим индикационным фактором экологического риска для населения служит аэротехногенное загрязнение. На территории г.Воронежа промышленная зона «лидирует» по суммарному загрязнению воздуха, а транспортная - по суммарному загрязнению почвы нефтепродуктами и тяжелыми металлами, прежде всего, цинком медью, свинцом, хромом, образующими геохимические ассоциации.

2. Исследование экологических проблем, связанных с утилизацией загрязненного снега, убираемого с территории г. Воронежа, показало, что среди анионов солевого состава в почвенном образце, отобранном под снегосвалкой, доминируют хлориды (74,0 мг/л), хотя в фоновом образце они находятся на последнем месте (26,2 мг/л). Кроме того, все основные анионы в пробах почвы под снегосвалкой превышают аналогичные фоновые значения. Однако, наибольшее превышение отмечается по хлоридам (в 2,8 раза). Это объясняется тем, что в качестве противогололедных материалов в г. Воронеже используют песко-соляную смесь. В зависимости от концентрации солей определили характеристики засоленности почвы под снегосвалкой: тип засоления – «смешанный» с преобладанием хлоридов, степень – «среднезасоленная». При подобных тенденциях через несколько лет почвенный покров перейдет в категорию «хлоридного» засоления, а после весеннего снеготаяния засоленные талые воды могут нанести не-

поправимый вред окружающей среде, связанный с загрязнением почв, поверхностных и подземных вод.

3. Выполненная оценка техногенного воздействия на состояние природных вод и условия хозяйственно-питьевого водоснабжения городского округа город Воронеж показала существенное ухудшение показателей качества воды реки Дон и его притоков. К числу приоритетных санитарно-химических показателей качества воды в реке Дон (по периодическим фактам превышения норматива) следует отнести концентрацию аммоний-иона (в местах рекреации - до 1,20 ПДК, в месте смешения с техногенно измененными притоками - до 9,75 раз) интегральные показатели БПК (до 2,21 и 2,58 раз соответственно), ХПК (до 1,05 и 1,07 раз соответственно), а также значительную концентрацию взвешенных веществ (до 75,0 и 81,35 мг/дм<sup>3</sup> соответственно). Приоритетными микробиологическими показателями для воды реки Дон являются содержание термотолерантных колиформных бактерий, контроль холероподобного вибриона, колифагов, особенно в контрольной точке поселка городского типа Шилово (место рекреации), расположенной ниже городской черты по течению и ниже сброса условно-чистых вод с Правобережных очистных сооружений. Установлено, что наибольшее влияние на качество воды в реке Дон оказывает приток «Голубой Дунай», куда поступают техногенные стоки с городской агломерации.

4. Результаты инвентаризации родников на территории Воронежской городской агломерации показали, что из 17 родников, отобранных в качестве объектов исследования, по санитарно-химическим показателям *наилучшим качеством* обладают воды 9 родников: пос. Рыбачий - родники №1 и №2; пос. Тепличный - родники «Маяк» и «Дон-1», родник «Ржавчик»; родник «Шиловский», родник «Подгоренский», родник Коминтерновского района, кладбище «Лесное», родник в санатории им. М. Горького.

Однако, для рекомендации этих родниковых вод в питьевых целях необходимо дополнительно провести микробиологический анализ. К родникам, непригодным для питьевых целей, с *неудовлетворительным качеством воды* относятся 8 родников: «Митрофановский»; «Центральный» в парке «Динамо»; родник «Факел» в пос. Тепличный; родник «Березовая роща»; родник «ВОГРЭСовский»; родник «Забота»; родник Святого Тихона Чудотворца в с. Подгорное; родник севернее моста ВОГР-

ЭС (пер. Заозерный, д.1).

Воды этих родников не соответствуют требованиям гигиенических нормативов СанПиН 2.1.4.1074-01, так как в них обнаружены превышения ПДК по общей жесткости (от 1,04 до 1,45 раза) и нитратам (от 1,12 до 2,75 раза). Также отмечается повышенная минерализация (выше 500 мг/л). Поэтому употреблять воду в питьевых целях, перечисленных выше родников небезопасно для здоровья.

Хорошо обустроенный и активно посещаемый населением родник не всегда свидетельствует о хорошем качестве воды. Например, наиболее обустроенные родники «Митрофановский», «Святого Тихона Чудотворца» в с. Подгорное и «Центральный» в парке «Динамо» имеют неудовлетворительное качество воды. Так, родник «Митрофановский», находясь в черте города, испытывает мощную антропогенную нагрузку. В бассейне питания родника загрязненность атмосферы выбросами промышленных предприятий, коммунальными отходами частного сектора, домовладений без канализационной сети, отрицательно сказывается на химическом составе воды. Результаты анализа родниковой воды показали превышение содержания токсичных нитратов - 58,5 мг/л (при норме до 45 мг/л), солей жесткости - 7,3 мг-экв/л (при норме не более 7 мг-экв/л) и повышенную минерализацию - более 720 мг/л (при норме до 500 мг/л). Это свидетельствует о сильном загрязнении водоносного горизонта [3].

Можно предложить ряд рекомендаций по оборудованию и охране источников. Прежде всего, необходимо отнестись к обнаруженному роднику бережно, обозначить место выхода воды, огородить, охранять от замусоривания. Место вокруг родника расчистить, воде дать сток. Следующий, более серьезный этап работы, — сделать каптаж, т.е. сооружение, улучшающее выход воды. Можно использовать несколько видов простейших каптажных сооружений. Завершающий этап работы - озеленение и художественное украшение родника. Целесообразно рядом с родником устроить малые архитектурные формы (скамейки, навесы).

До последнего времени охране родников в г. Воронеже уделялось совершенно недостаточное внимание. Поскольку в г. Воронеже и его окрестностях большая часть родников плохо обустроена, то администрации г. Воронежа рекомендуется выделять специальные целевые средства

на охрану и благоустройство городских родников.

5. Статистически подтверждено увеличение частоты заболеваний детей врожденными аномалиями, новообразованиями, болезнями эндокринной и мочеполовой сферы в микрорайонах города, более техногенно нагруженных; приоритетные факторы риска здоровью – коэффициент эмиссионной нагрузки выбросов химических канцерогенов в атмосферу и уровень автотранспортной загруженности. Важнейшим индикационным фактором экологического риска служит аэротехногенное загрязнение в сочетании с транспортным шумом (около 60 % вклада в формирование техногенной нагрузки городской среды), причем спектр наиболее реагирующих заболеваний следующий: по мере увеличения загрязнения воздуха наблюдается прирост новообразований, респираторных болезней, заболеваний мочеполовой сферы и врожденных аномалий, а наиболее реагирующей на шумовое воздействие является сердечно-сосудистая система. Кроме того, экологические риски для населения связаны и с проблемами питьевого водоснабжения г. Воронежа, а

именно: повышенными концентрациями в воде железа, марганца, а также повышенной общей жесткостью – факторами риска мочекаменной патологии среди населения. Общий тренд за последние 11 лет, однако, положительный: наблюдается снижение удельного веса неудовлетворительных проб воды по санитарно-химическим показателям примерно в 1,5 раза.

Обобщение материалов исследования позволило обосновать на территории города сеть пунктов экологического мониторинга, охватывающих различные функционально-планировочные зоны. Научно-практическая апробация предложенного геоинформационного обеспечения, подтвердившего его эффективность, осуществлена на базе Центра гигиены и эпидемиологии в Воронежской области. Разработанная схема экологического мониторинга с применением геоинформационных технологий может рассматриваться как необходимый составной блок городской экологической политики, ориентированной на снижение уровней экологического риска и повышение экологической безопасности городской среды обитания.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-05-00779).*

### Библиографический список

1. Куролап С.А., Клепиков О.В., Виноградов П.М. и др. Геоинформационное картографирование состояния окружающей среды промышленного города (опыт практической реализации на примере города Воронежа. // Оценка и геоинформационное картографирование медико-экологической ситуации на территории города Воронежа. Воронеж, 2019. - С. 6-54.
2. Куролап С.А., Клепиков О.В., Виноградов П.М., Гриценко В.А. Геоинформационное обеспечение региональной системы медико-экологического мониторинга // Балтийский регион. 2016. Т.8. № 4. С.146-167.
3. Куролап С.А., Клепиков О.В., Виноградов П.М. и др. Медико-экологический атлас города Воронежа // Русское географическое общество, Воронежский государственный университет, Центр гигиены и эпидемиологии в Воронежской области. Воронеж, 2019. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.geogr.vsu.ru/atlas.htm> (дата обращения 26.02.2020).

## **РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КАРСТОВОМ РАЙОНЕ**

В работе приведены результаты была рассмотрена возможность разработки баз данных с использованием геоинформационных технологий для изучения нефтепромысловых загрязнений. Выполнено описание использования программных продуктов, выделены преимущества использования геоинформационной системы ArcGIS.

*Ключевые слова:* нефтепродукты, уровень, загрязнение, месторождение нефти, нефтедобыча, ArcGIS.

M. Mankovskiy, mankovskiy.95@mail.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## **DEVELOPMENT OF A DATABASE FOR STUDYING OIL FIELD POLLUTION IN THE KARST REGION**

The paper presents the results and considers the possibility of developing databases using geoinformation technologies for studying oil field pollution. The use of software products is described, and the advantages of using the ArcGIS geo-information system are highlighted

*Keywords:* oil products, level, pollution, oil field, oil production, ArcGIS.

С каждым годом ухудшающееся геоэкологическое состояние приводит к необходимости проведение мер по его стабилизации и возможному улучшению. Поскольку нефтяная отрасль по суммарному риску возникновения аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, а также возникновению чрезвычайных ситуаций, способных привести к существенно влиянию на окружающую природную среду и человека, занимает одно из первых мест среди всех отраслей материального производства, целесообразно заняться поиском новых выявления с помощью геоинформационных технологий [11, 12, 14].

Актуальность данной работы заключается в поиске новых методов и приемов оценки нефтепромысловых загрязнений, разработки на этой основе различного рода рекомендаций.

Нефтегазовая промышленность является одной из ключевых в экономике Российской Федерации. Отсюда, в связи с возрастающими требованиями к обеспечению промышленной и экологической безопасности на объектах нефтегазового комплекса, становится наиболее повсеместным использование мониторинга с данными по дистанционному зондированию Земли, использование данных аэрокосмической информации и геоинформационных технологий [2, 10].

Наиболее полные сведения по проблематике нефтезагрязнений и последующей рекультивации представлены в работах С.А. Бузмакова [4-8], С.М. Костарева [5-6], С.А. Кулаковой [10], Н.Г. Максимовича [9], Б.А. Бачурина [2-3] и др. Кроме того, материалы исследований, осуществляемых кафедрой биогеоценологии и охраны природы ПГНИУ, а также непосредственно научными сотрудниками нефтедобывающей промышленности являются ценными источником информации по вопросам данной темы.

Территория нефтяного месторождения приурочена к долине реки Камы. Создание в 1954 г. Камского водохранилища привело к тому, что многие эксплуатационные скважины оказались в его акватории [9].

На начальном этапе разработки месторождения, признаков загрязнения Камского водохранилища нефтепродуктами не отмечалось. Имеется противоречивая информация о том, когда именно появилась нефтяная пленка. По словам местных жителей, она наблюдается с конца 50-х годов. По мнению Н. Г. Максимовича и С.В. Казакевича, появление нефтяной пленки зафиксировано лишь в начале 70-х годов [9].

При проведении исследований на данной территории с целью упрощения, а также минимизации ошибок, целесообразно

применять различного рода геоинформационные системы.

Одним из таких примеров использования геоинформационных систем является ArcGIS - семейство геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI [1].

Геоинформационная система – это совокупность программного обеспечения и данных для визуализации любой пространственной информации, анализа отношений между объектами, моделирования географических процессов и явлений [1].

В среде ГИС пространственные данные и вся связанная с ними информация используются совместно для представления и моделирования окружающего мира. ArcGIS применяется при создании, редактировании карт, моделировании, расчетах. Позволяет растровые данные конвертировать в векторные, и наоборот. Имеет различный функционал для работы с геодезией. Возможно применение для земельных кадастров. Также имеется публикация своих работ на собственный сервис ArcGIS Online для удаленного использования [1].

Если пространственные данные хранят информацию о локализации и геометрии объектов реального мира, то атрибутивные данные хранят информацию о свойствах этих объектов. Для того чтобы полностью отобразить свойства объектов реального мира, необходимо записать эти свойства в базу данных. [1].

База данных - это совокупность данных, обладающих следующими качествами:

1. Интегрированностью, направленной на решение общих задач в конкретной предметной области;
2. Модельностью (т.е. структурированностью, отражающей некоторую часть реального мира);
3. Взаимосвязанностью;
4. Независимостью описания данных от прикладных программ и наоборот.

Для манипуляции данными, хранимыми в базах данных, необходим еще один важный компонент – система управления базами данных – СУБД.

СУБД – это совокупность программ и языковых средств, предназначенных для создания, ведения и использования баз данных. СУБД представляет собой пакет прикладных программ, расширяющих возможности операционной системы при

работе с базами данных [1].

В настоящее время ГИС-технологии повсеместно используются для планирования операций и принятия решений в случае угрозы загрязнения нефтью, так как они поддерживают интеграцию и обработку различного вида географической и геофизической информации и данных о пространственном положении, составе и чувствительности к загрязнению прибрежных экосистем [11, 12].

В последнее время усилия в развитии ГИС были направлены на сбор и обработку информации о прибрежных ресурсах и биоценозах, их устойчивости к нефтяному загрязнению с целью выработки стратегии защиты окружающей среды и ликвидации последствий загрязнения.

Следует отметить, что значимость ГИС-технологий прежде всего в том, что использование подобных систем открывает для различных предприятий следующие перспективы: [10, 13, 14].

1. Геоинформационные системы позволяют организовывать математико-картографическое моделирование и картографическое представление больших объемов текстовой и табличной информации.

2. Особенности геоинформационных систем позволяют решать задачи природоохранного и природоуправленческого характера.

3. Использование данных GPS и ДЗЗ позволяют постоянно актуализировать информацию о геоэкологическом состоянии территории нефтепромыслов в геоинформационных системах.

4. Особенности геоинформационных систем позволяют иметь широкий набор карт, отражающих многоаспектность состояния природно-техногенных сред нефтепромыслов.

5. Геоэкологический мониторинг на основе геоинформационных систем позволяет снижать степень воздействия отрасли на природу, объекты обслуживания и человека, а также составлять прогнозы дальнейшего развития и трансформации измененных геосистем территории нефтяных промыслов.

В результате, была рассмотрена актуальность разработки баз данных с использованием геоинформационных технологий для изучения нефтепромысловых загрязнений. Выполнено описание использования программных продуктов, выделены преимущества использования геоинформационной системы ArcGIS.

Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-05-09240.

### Библиографический список

1. *Ананьев Ю.С.* Геоинформационные системы. Учебн. пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2003. 70 с.
2. *Бачурин Б.А.* Эколого-геохимическая оценка продуктов деградации нефти в условиях гипергенеза // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. №5. С. 8-14
3. *Бачурин Б.А., Одинцова Т.А.* Проблемы диагностики и контроля нефтяных загрязнений природных геосистем // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2005. № 9-10. С. 79 - 82.
4. *Бузмаков С.А.* Загрязнение почв при углеводородных миграциях в карстовых районах // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. № 5. С. 21-30.
5. *Бузмаков С.А., Костарев С.М.* Техногенное изменение компонентов природной среды в нефтедобывающих районах Пермской области. Пермь, 2003. № 5. С.124-131.
6. *Бузмаков С.А., Костарев С.М.* Трансформация геосистем в районах нефтедобычи // Изв. вузов. Нефть и газ. 2004. № 5. С.124-31.
7. *Бузмаков С.А., Кулакова С.А.* Изменение совокупных свойств наземных экосистем при эксплуатации нефтяных месторождений / Перм. ун-т. Пермь, 2005. 59 с.
8. *Бузмаков С.А., Кулакова С.А.* Формирование природно-техногенных экосистем на территории нефтяных месторождений (на примере Пермского края) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 1. С.20-24.
9. *Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г.* Карст и пещеры Пермской области. Изд-во Пермского университета, 1992. 200 с.
10. *Кулакова С.А.* Нефтепромысловые объекты и их воздействие на природные компоненты // Проблемы экологии, охраны природы и природопользования: Пермь. 2006. С. 79-93.
11. *Лавров В.В., Полещук С.Н.* Комплексное геоинформационное обеспечение проектов нефтегазовой отрасли // Информационный бюллетень ГИС-ассоциации. М.: 2010. С. 50-53
12. *Михайлов С.И.* Возможности использования данных дистанционного зондирования Земли в интересах предприятий нефтегазового комплекса // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2011, №8 (зима), С. 7-11
13. *Молочко А.В.* Применение ГИС-технологий при оценке степени устойчивости территории к загрязнению нефтью и нефтепродуктами (на примере районов промышленной добычи нефти в Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. Саратов. 2009. Вып. 2. Т. 9. С. 13-18.
14. *Чумаченко А.Н., Новаковский Б.А., Макаров В.З., Каргашин П.Е., Ольхов А.А.* Картографический подход при проектировании сети экологического мониторинга на объектах нефтегазовой отрасли. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле. Саратов. 2009. Вып. 2. Т.9. С. 8-11

УДК 556.3+504.4

А.В. Михайленко, Ю.А. Федоров, И.В. Доценко, avmihaylenko@sfedu.ru  
 Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

## КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТА АЗОВСКОГО МОРЯ

Настоящее исследование посвящено изучению распределения ртути в воде, взвешенном веществе и донных отложениях Азовского моря. Построены карты пространственного распределения металла в компонентах аквального ландшафта моря.

*Ключевые слова:* ртуть, качество вод, распределение, Азовское море.

A. Mikhailenko, Yu. Fedorov, I. Dotsenko, avmihaylenko@sfedu.ru  
 Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

## MAPPING THE SPATIAL DISTRIBUTION OF MERCURY IN COMPONENTS OF THE AZOV SEA LANDSCAPE

This study is devoted to the study of the distribution of mercury in water, suspended matter and bottom sediments of the Azov Sea. Maps of the spatial distribution of metal in the components of the water landscape of the sea are constructed.

*Keywords:* mercury, water quality, distribution, Sea of Azov.

Важной составляющей определения геохимических особенностей поведения загрязняющих веществ в компонентах аквальных ландшафтов является изучение их пространственного распределения. Картографирование этих особенностей позволяет глубже понять причинно-следственные связи в миграции, трансформации и массопереносе загрязняющих веществ в водных экосистемах, выделить районы их очагового загрязнения. В ходе экспедиционных исследований в акватории Азовского моря были отобраны пробы воды и взвешенного вещества в поверхностном и придонном слоях водной толщи, а также верхнего слоя донных отложений с последующим определением в них содержания ртути. Определение концентраций Hg производилось методом атомной абсорбции в холодном паре. По результатам полученных данных построены карты пространственного распределения этого элемента. В ходе картографического анализа результатов исследования было принято решение разделить Азовское море на две крупные составные части: Таганрогский залив и собственно Азовское море (открытая акватория), включая Керченское предпроливье. Залив также разбит на три района – восточный, центральный и западный [5].

Анализ полученных данных показал, что распределение металла в поверхностном слое воды характеризуется большей мозаичностью, чем в придонном. В Азов-

ском море в целом содержание ртути в верхнем слое воды варьировало от 0.006 до 0.063 мкг/л. В придонном концентрации изменялись от 0.002 до 0.183 мкг/л, средние значения составили 0.020 и 0.023 мкг/л соответственно (рис.1). В собственно море в поверхностном слое содержание ртути изменялось от 0.004 до 0.063 мкг/л (в среднем 0.023 мкг/л), а в придонном от 0.002 до 0.183 мкг/л (в среднем 0.032 мкг/л). Зоны максимума приурочены к Керченскому проливу, однако в верхнем слое отмечается также повышение в центральной части собственно Азовского моря.

Отмечено, что для Восточного района Таганрогского залива характерны концентрации 0.003-0.030 мкг/л (в среднем 0.014 мкг/л). Для Центрального района - 0.009-0.033 мкг/л, а для Западного - 0.017 - 0.029 мкг/л, а средние значения для этих районов составили 0.018 и 0.023 мкг/л, соответственно. Был построен ряд последовательности по уровням концентраций ртути в водный толще залив: Западный район → Центральный район → Восточный район.

Стоит отметить, что в большинстве случаев содержание растворенной ртути в водах Таганрогского залива и юго-восточной части Азовского моря превышали значения ПДК (0.010 мкг/л) в 2 и более раз, на отдельных участках достигая 46 ПДК<sub>р.х</sub>. В работе А.А. Клёнкина [4] приведено среднее содержание растворенной ртути в воде Азовского моря в целом в летний

период с 2000 по 2006 года варьировало в пределах 0.040-0.300 мкг/л. Данный интервал значений хорошо сопоставим с дан-

ными, полученными нами за аналогичный период времени [2, 6, 7].

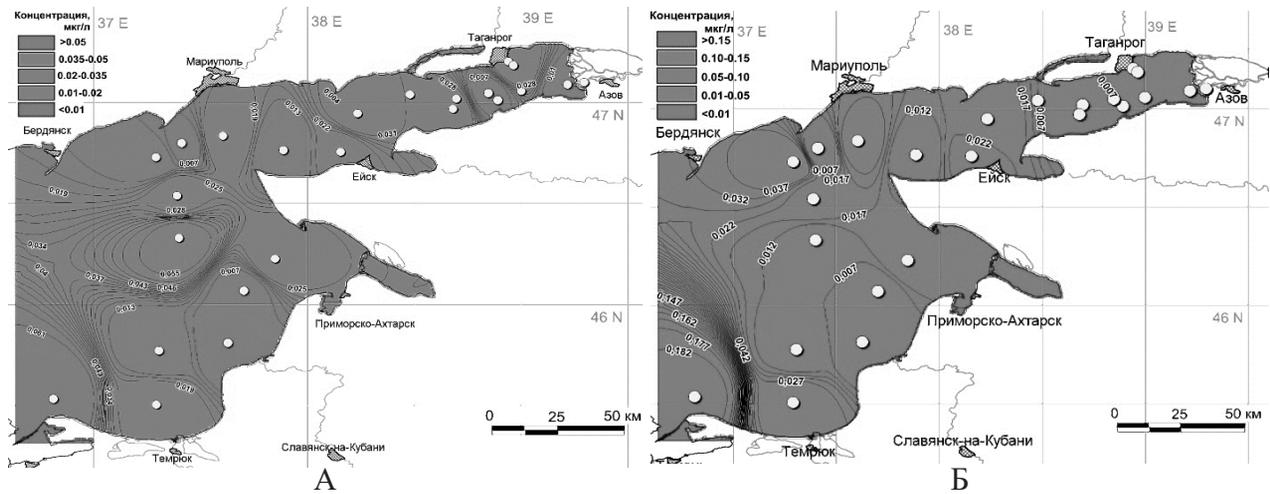


Рис. 1. Содержание ртути в поверхностном (А) и придонном (Б) слоях воды Азовского моря

Концентрации взвешенной ртути в поверхностном слое воды (рис.2 А и Б) варьировали от 0.003 до 0.234 мкг/л (среднее 0.038 мкг/л). В придонном слое среднее со-

держание Hg в взвешенном веществе составило 0.023 мкг/л и изменялось в пределах 0.001- 0.067 мкг/л.

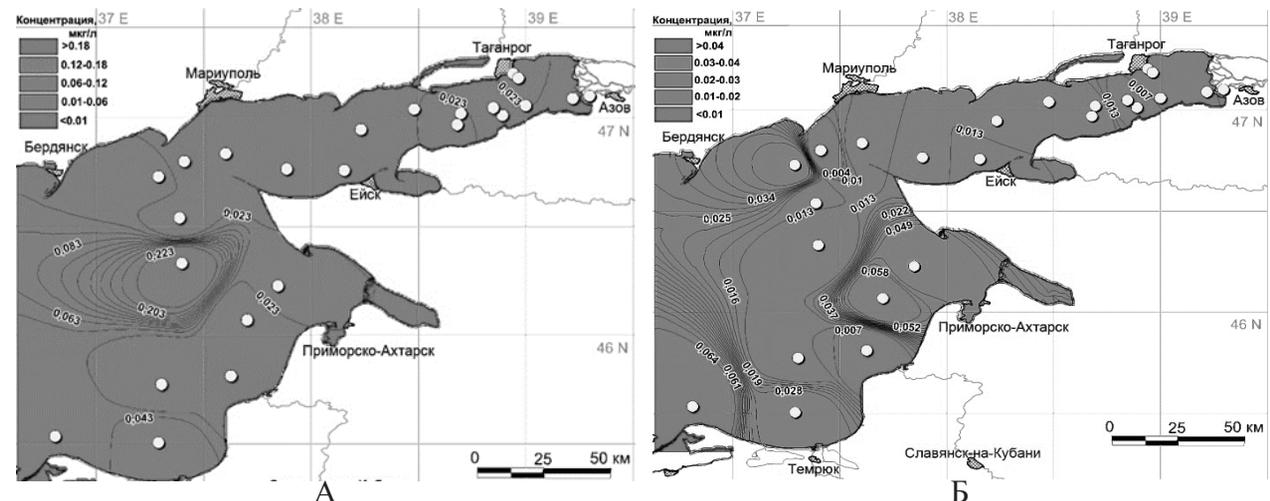


Рис. 2. Содержание ртути во взвешенном веществе в поверхностном (А) и придонном (Б) слоях воды Азовского моря

Распределение ртути во взвешенном веществе характеризуется обратной картиной, более мозаичное и сложное характерно для придонного слоя, где сохраняется зона максимума в Керченском проливе и образуется еще одна в районе г. Приморско-Ахтарска. В поверхностном слое отмечается более равномерное распределение, и сохраняется только одна зона максимума в центральной части собственно моря. Очевидно, зафиксирован переход ртути из взвешенной в растворенную форму. В Таганрогском заливе распределение металла во взвешенном веществе относительно равномерно.

Вероятно, выделенные зоны максимальных концентраций металла в воде и взвешенном веществе в предпроливье обусловлены тем, что в самом проливе наблюдается проявление грязевулканической активности и газо-флюидной разгрузки. Многие из расположенных здесь вулканов, особенно подводных, характеризуются периодами активной спонтанной активности и извержениями [1]. Было отмечено, что после извержения Голубицкого вулкана в июле 2008 года образовались зоны ртутного загрязнения воды, где концентрации достигали 2 мкг/л [5].

На рисунке 3 представлено распределение ртути в верхнем слое донных отложений Азовского моря в целом. Среднее содержание металла составило 0.088 мкг/г с.м. и варьировало от 0.042 до 0.26 мкг/г с.м.

В донных отложениях Таганрогского залива наблюдается увеличение Hg от дельты реки Дон до Центрального района, максимальные концентрации приурочены в станции, расположенной в районе влияния г. Таганрога. Содержание ртути изменилось от 0.16 мкг/г с.м. до 0.084 мкг/г с.м. Зафиксированное увеличение концентрации Hg синхронизирует с повышением содержания органического углерода и пространственно относится к располагающимся на дне залива илам с высоким содержанием глинистой фракции [2, 3]. По мере продвижения к выходу из залива отмечено снижение концентраций валовой ртути за исключением одной станции

отбора проб. Существенных изменений в содержании металла в собственно море и Керченском предпроливье Азовского моря не наблюдается, однако можно выделить зону относительно низких концентраций в центральной части моря, протянувшуюся с севера на юг.

Картографирование распределения ртути в компонентах ландшафта Азовского моря позволило выделить области высокого содержания, которые приурочены к областям влияния портовых комплексов г. Таганрог. Отмечено увеличение концентраций в Керченском заливе, что обусловлено как влиянием гидродинамических условий, так и воздействием грязевого вулканизма. Благодаря полученным картам распределения ртути в компонентах аквального ландшафта наглядно представлен переход тяжелого металла из одного компонента в другой.

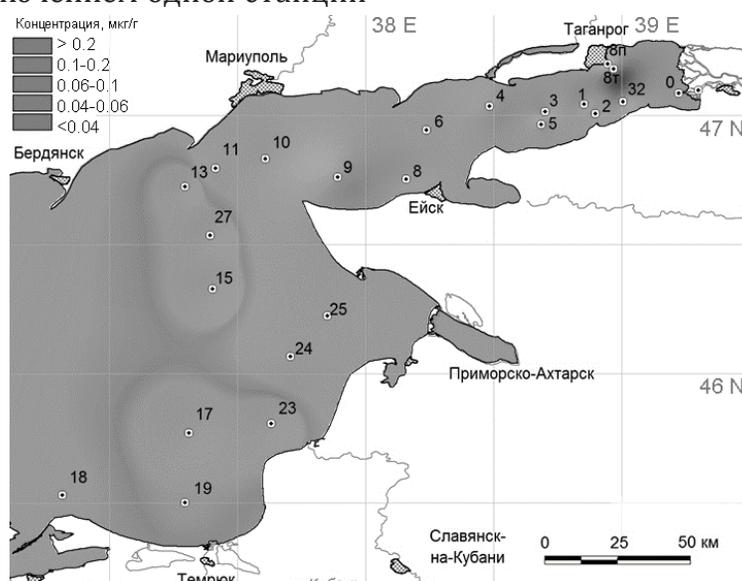


Рис. 3. Содержание ртути в поверхностном слое донных отложений

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-1862.2020.5.

### Библиографический список

1. Доценко И.В., Федоров Ю.А., Михайленко А.В. О связи содержания ртути и органического вещества в донных отложениях по профилю «река Дон – Азовское море» // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 3. С. 96-102.
2. Клёнкин А.А., Корпакова И.Г., Павленко И.Ф., Темердашев З.А. Экосистема Азовского моря: антропогенное загрязнение. Краснодар: Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, 2007. 324 с.
3. Михайленко А.В., Доценко И.В. Тяжелые металлы в донных отложениях в зоне грязевого вулканизма в Азовском море // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2019). 2019. С. 160-163.

4. Михайленко А.В., Федоров Ю.А., Доценко И.В. Тяжелые металлы в компонентах ландшафта Азовского моря: монография // Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. 214 с.
5. Федоров Ю.А., Доценко И.В., Михайленко А.В. Поведение тяжелых металлов в воде Азовского моря во время ветровой активности // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 3. С. 108-112.
6. Fedorov Yu.A. To the question of sources of volcanic fluids, mud mass, depth and temperature of their origin // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2018, Ecology, Economics, Education and Legislation Conference Proceedings. Issue 5.1 Volume 18. Ecology and Environmental Protection. Albena, Bulgaria. PP. 995-1002.
7. Fedorov Yu.A., Dotsenko I.V., Mikhailenko A.V. Regular patterns of distribution and behavior of trace elements in aquatic landscapes along the continuum of «the mouth of the Don River – Sea of Azov» // Conference Proceedings of 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2015. Bulgaria. 2015. Vol. I. PP. 721-726.

УДК 504.064

М.А. Мясникова, myasnikova150@gmail.com

Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ АУДИТЕ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В сообщении рассматривается применение ГИС-технологии, в рамках мероприятий проведения экологического аудита, как один из наиболее эффективных методов проверки соблюдения требований природоохранного законодательства и других нормативных экологических требований и своевременное выявление чрезвычайных ситуаций на нефтяных месторождениях.

*Ключевые слова:* экологический аудит, отходы, места размещения отходов, ГИС-технологии, данные дистанционного зондирования.

M. Myasnikova, myasnikova150@gmail.com

Perm State University, Perm, Russia

## USE OF GIS TECHNOLOGIES IN THE ENVIRONMENTAL AUDIT OF WASTE DISPOSAL SITES IN OIL FIELDS

In the message considers use of GIS technology in the framework of environmental audit activities as one of the most effective methods of verifying compliance with environmental legislation and other regulatory environmental requirements and timely detection of emergencies in oil fields.

*Keywords:* environmental audit, waste, waste disposal sites, GIS technologies, remote sensing data.

Экологический аудит является одним из необходимых элементов развития финансовых механизмов, которые являются средствами реализации государственной политики в области охраны окружающей среды. В свою очередь экологический аудит на предприятии может использоваться как административно-контрольный инструмент анализа текущего состояния той или иной области природоохранной деятельности. Аудит мест размещения отходов является частью экологического аудита.

Определение экологического аудита закреплено в статье 1 пункт 32 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» — «... экологический аудит — независимая, комплексная, документированная оценка соблюдения субъектом хозяйственной или иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды, требований международных стандартов и подготовка рекомендаций по улучшению такой деятельности» [4]. В настоящее

время в Российской Федерации экологический аудит не закреплен на федеральном уровне. Однако стоит отметить, что большинство предприятий - природопользователей добровольно проводят экологический аудит в целях получения объективной информации о состоянии промышленного объекта, эффективности действующей природоохранной деятельности предприятия, корректировки действующей экологической политики или ее разработка и другое.

Натуральный осмотр территории производства – аудит на месте, является неотъемлемой частью современного экологического аудита на любом предприятии. В случае проведения экологического аудита мест размещения отходов, он позволяет проверить фактические места размещения отходов на территории нефтяного месторождения, а также выявить наличие поврежденных (загрязненных нефтепродуктами) территорий. Разработка нефтяных месторождений может сопровождаться разливами нефти, и как следствие будет образовываться новый вид отходов – грунт, загрязненный нефтепродуктами. Однако не всегда есть возможность быстро оказаться на том или ином участке разработки нефтяного месторождения в связи с его удаленностью, труднодоступным расположением [2]. В Пермском крае большинство разрабатываемых месторождений, являются труднодоступными, так как расположены на севере края в условиях тайги. Поэтому во время проведения экологического аудита есть смысл обратиться к ГИС-технологиям – спутниковым данным.

Географическая информационная система (ГИС) – это такая информационная система, которая обеспечивает сбор, обработку, отображение и распространение пространственно координатных данных [1]. В настоящее время ГИС технологии являются ведущим инструментом анализа пространственных данных.

На рисунке 1 представлена карта нефтяных месторождений Пермского края. Как видно из карты, большая часть месторождений сосредоточена в южной части края. На северо-востоке края также имеются разрабатываемые месторождения. Именно они являются труднодоступными для наблюдения за состоянием объекта и наиболее перспективными для внедрения ГИС-технологий в программу проведения аудита.

Снимки со спутников с большим разрешением – данные дистанционного зондирования (ДДЗ) территории нефтяного месторождения или трубопровода в реальном времени можно сопоставить с природоохранной документацией, что в дальнейшем позволит сделать выводы о текущем состоянии объекта аудита.

Для использования ГИС-технологий во время проведения экологического аудита мест размещения отходов на нефтяном месторождении необходима следующая информация:

- географические координаты месторождения;
- карта местности с нанесенными разрабатываемыми месторождениями;
- спутниковые снимки.

В основе данных дистанционного зондирования (ДДЗ) лежит снимок, полученные во время съемки с разливных измерительных платформ. В случае применения ДДЗ в рамках экологического аудита используются снимки с летальных воздушных или космических аппаратов. Большой архив данных дистанционного зондирования, накопленный за последние десятилетия, и его пополнение в настоящее время позволяет не только следить за текущим состоянием объекта аудирования, но и проследить динамику изменения состояния природной среды под антропогенным воздействием. В процессе проведения экологического аудита могут быть использованы общедоступные изображения Земли из космоса. В данном случае открытыми источниками могут быть векторные карты в проектах, например, как «Яндекс», «Google Earth» и другие [3].

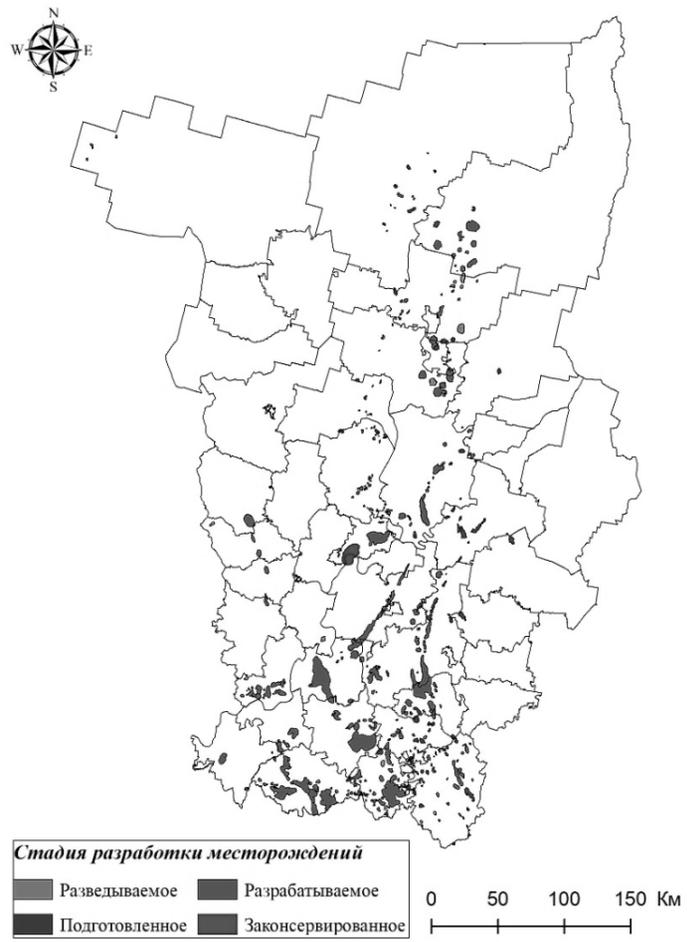


Рис. 1. Нефтяные месторождения Пермского края



Рис. 2. Космоснимок территории Гежского месторождения [5]

Рассмотрим внедрение использования ГИС-технологий, а именно ДДЗ, на примере крупного разрабатываемого месторождения на севере Пермского края – Гежского месторождения.

На полученному снимке с большим разрешением, возможно увидеть все тех-

нологические объекты месторождения. При увеличении масштаба карты будет рассматриваться конкретный объект месторождения – объект аудита. На рисунке 3 представлен максимально приближенный снимок территории Гежского месторождения, потенциального объекта аудита.



Рис. 3. Космоснимок территории Гежского месторождения [5]

На данном рисунке достаточно четко видны основные производственные постройки, где будут возможны случаи возникновения чрезвычайной ситуации. С помощью снимка такого масштаба также будет возможно сравнить соответствует ли фактические места размещения отходов заявленным в природоохранной документации объекта аудита.

Конечно, в рамках проведения экологического аудита объектов нефтяной промышленности в целях получения достоверной информации в режиме реального времени необходимо использовать платные источники данных дистанционного зондирования.

Экологические проблемы часто требуют незамедлительных действий, эффективность которых напрямую связана с оперативностью обработки и представления информации, поэтому снимки со спутника можно использовать в качестве повседневного оперативного контроля со состоянием окружающей природной среды. Внедрение ГИС-технологий в процедуру проведения экологического аудита можно рассматривать в нескольких направлениях: при составлении планов ликвидации аварийных разливов нефти, в частности прогнозирования разливов, установления границ зон чрезвычайной ситуации зон рекультивации нефтезагрязненных земель.

*Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-04-09255.*

### Библиографический список

1. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. М.: ГИС-Ассоциация, 1999. 204 с.
2. Кудрявцева О. В., Ледянцева Т. Н., Пинаев В. Е. Особенности проведения экологического (HSE) аудита на предприятии в современных условиях: Учебное пособие. М.: Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2016. 112 с.
3. Проект компании Google «Планета Земля» [Электронный ресурс] // URL: <https://www.google.com/earth> (дата обращения: 31.01.2020).

4. Солнцев, Л.А. Геоинформационные системы как эффективный инструмент поддержки экологических исследований. учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. 54с.
5. Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс] // URL: <https://www.google.com/earth> [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/) (дата обращения: 21.01.2020).

УДК 631.472.74: 631.46: 631.416.5

А.В. Назаров<sup>1,2</sup>, nazarov@iegm.ru

<sup>1</sup>Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

### ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ПРОДУЦИРОВАТЬ ОСМОПРОТЕКТОРЫ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ЗАСОЛЕНИИ ПОЧВЫ

Исследована способность продуцировать осмопротектор – эктоин бактериальными почвенными сообществами в условиях техногенного засоления на территории района промышленных разработок вблизи солеотвалов предприятий Соликамского калийного производственного рудоуправления. Концентрация эктоина в исследованных почвах увеличивалась с повышением засоления, при этом в ризосфере растений из-за большей численности бактерий отмечено большее содержание эктоина, чем в почве без растений. Обнаружено положительное воздействие эктоина на рост корней растений при засолении.

*Ключевые слова:* бактериальные сообщества, ризосфера, техногенное засоление, осмопротекторы, эктоин

A. Nazarov<sup>1,2</sup>, nazarov@iegm.ru

<sup>1</sup>Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms UB RAS, Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm State University, Perm, Russia

### STUDY ABILITY OF SOIL BACTERIAL COMMUNITIES TO PRODUCE OSMOPROTECTORS IN TECHNOGENIC SALINIZATION OF THE SOIL

The ability to produce osmoprotector - ectoine by bacterial soil communities under conditions of technogenic salinization in the territory of the industrial development region near the salt dumps of the Solikamsk potash production mine administration was studied. The concentration of ectoine in the studied soils increased with growing salinity and an increase in the number of bacteria. A positive effect of ectoine on the growth of plant roots during salinization was found.

*Keywords:* bacterial communities, rhizosphere, technogenic salinization, osmoprotectors, ectoine

В настоящее время из-за климатических изменений и воздействия на среду хозяйственной деятельности человека происходит увеличение площади засоленных почв, что приводит к снижению продуктивности экосистем из-за высокой чувствительности растений к засолению. Бактерии, живущие в почве вблизи корней растений – в ризосфере могут снижать чувствительность растений к различным стрессовым факторам, в том числе и засолению, например, улучшая минеральное питание растений, продуцируя биологически активные вещества (фитогормоны, витамины), уменьшая выработку растениями стрессового гормона – этилена [1]. Осмопротекторные соединения защищают

как бактериальные, так и растительные клетки от повышенной минерализации среды. При этом одним из наиболее распространенных осмопротекторных соединений у бактерий является эктоин [2]. Однако роль бактериальных осмопротектора – эктоина в повышении устойчивости растений к засолению почвы до сих пор мало изучена.

Цель настоящей работы – исследование способности почвенных бактериальных сообществ к продукции эктоина, а также оценка его роли в повышении устойчивости растений к техногенному засолению почвы.

Исследования проводились на территории района промышленных разработок

Верхнекамского месторождения солей вблизи солеотвалов предприятий Соликамского калийного производственного рудоуправления 2 (СКПРУ 2) и Соликамского калийного производственного рудоуправления 1 (СКПРУ 1) ПАО «Уралкалий» (г. Соликамск, Пермский край). В изученных почвах с техногенным засолением был измерен уровень минерализации, концентрация эктоина, а также проведен учет численности бактерий. Содержание эктоина и количество бактерий оценивались в почве без растений и ризосфере мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), доминирующего в луговых фитоценозах, находящихся рядом с солеотвалами. Кроме того, было изучено влияние эктоина на устойчивость растений к засолению в биотесте.

Общая минерализация оценивалась стандартными методами [3], отбор, пробоподготовку и микробиологический анализ почвы проводили согласно [4]. Для учета бактерий использовали агаризованную среду Раймонда с внесением 5 г/л триптона, 2,5 г/л дрожжевого экстракта и 50 г/л NaCl [5]. Эктоин из почвы выделяли по методу, используемому для определения почвенных аминокислот [4]. Количественное определение эктоина проводили на высокоэффективном жидкостном хроматографе высокого давления Shimadzu LC-20с УФ-спектрофотометрическим детектором с рабочей длиной волны  $\lambda=230$  нм («Shimadzu», Япония). Колонка «Separon SGX 100 NH<sub>2</sub>», 4,6x150 мм, 5 мкм (Dr. Maisch GmbH). Скорость потока элюента 1 мл/мин. Подвижная фаза – ацетонитрил и вода (80:20). Биотест на действие эктоина на растения в условиях засоления, был основан на удлинении корней проростков растений рапса (*Brassica napus* L.), которые выращивались в растворе 2%-ного NaCl

[6].

Установлено, что в условиях техногенного засоления происходит накопление эктоина в изученных почвах (Рис.1), при этом с увеличением минерализации почв в них возрастает содержание эктоина. При одинаковом уровне засоления концентрация эктоина в ризосфере растений была выше, чем в почве без растений. Данное отличие в содержании эктоина было обусловлено большей численностью бактерий в ризосфере, чем в почве без растений, и, соответственно большей продукцией эктоина ризосферными бактериальными сообществами. Так, численность бактерий в ризосфере мятлика составляла  $1,2 \times 10^7$ - $1,5 \times 10^8$ , численность, в почве без растений –  $2,0 \times 10^6$ - $8,2 \times 10^6$ .

Внесение эктоина в раствор, содержащий 2% NaCl, уменьшало негативное влияние засоления на растения. Так, у проростков растений, пророщенных в соленом растворе по сравнению с водой без соли длина корней уменьшалась в 3,4 раза. Внесение эктоина в раствор в количестве 0,001% снижало данный негативный эффект засоления в 1,2 раза, а добавление эктоина в количестве 1% – в 1,7 раза (Рис. 2).

Таким образом, в изученных почвах в условиях техногенного засоления происходит накопление эктоина, концентрация которого зависит от уровня засоления и численности бактерий в почвах. Установлено, что эктоин снижает негативное влияние засоления на рост корней растений. Полученные данные указывают на наличие не исследованного ранее механизма положительного влияния бактерий ризосферы на растения при засолении почв за счет продукции осмопротекторных соединений.

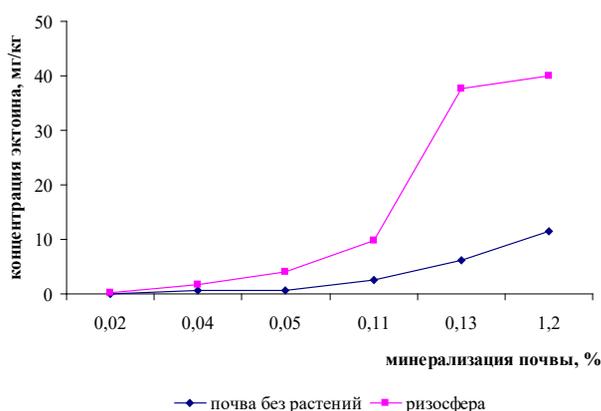


Рис. 1. Влияние техногенного засоления на концентрацию эктоина в почве

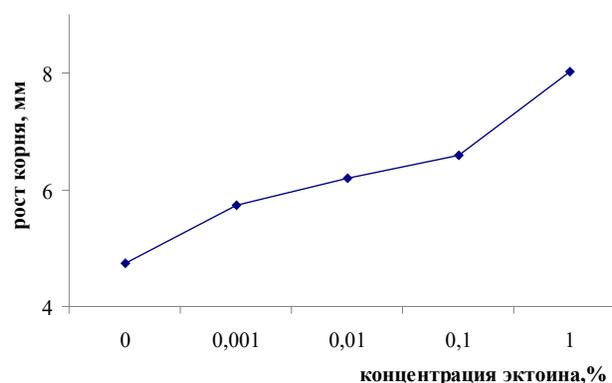


Рис. 2. Влияние эктоина на растения рапса в условиях засоления

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Министерства образования и науки Пермского края в рамках научного проекта № 17-44-590178.

### Библиографический список

1. Корсакова Е.С., Пьянкова А.А., Назаров А.В. Филогенетическое разнообразие бактерий, выделенных из ризосферы мари красной (*Chenopodium rubrum* L.), произрастающей в условиях засоления на территории солеразработок (г. Соликамск, Пермский край) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2013. Вып. 3. С. 47-51.
2. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 303 с.
3. Практикум по агрохимии: учебное пособие / Под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 689 с.
4. Практикум по физиологии растений / Под ред. Н.Н. Третьякова. – М., Агропромиздат, 1990. 271 с.
5. Czech L., Hermann L., Stöveken N., Richter A.A., Höppner A., Smits S.H.J., Heider J., Bremer E. Role of the Extremolytes Ectoine and Hydroxyectoine as Stress Protectants and Nutrients: Genetics, Phylogenomics, Biochemistry, and Structural Analysis // Genes. 2018. V. 177. № 9. P. 1-58.
6. Dimkpa C., Weinand T., Asch F. Plant-rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions // Plant Cell Environ. 2009. V. 32. P. 1682-1694.

УДК 502.175:556.043

М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин, m.opekunova@mail.ru  
 Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

### ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Статья посвящена основным принципам сбора, аналитической обработки и интерпретации экологических данных в условиях применения цифровых технологий для получения репрезентативной информации при оценке состояния окружающей среды. На примере многолетних геоэкологических исследований на севере Западной Сибири разработана методология проведения экологического мониторинга территории лицензионных участков нефтегазодобычи. Предложен комплекс методов, обеспечивающих унификацию сбора и обработки фактического материала, получения достоверных и сравнимых материалов, обеспечивающих необходимый контроль качества окружающей среды.

*Ключевые слова:* экологический мониторинг, нефтегазодобыча, север Западной Сибири, компоненты ландшафтов, загрязнение

M. Opekunova, A. Opekunov, S. Kukushkin, m.opekunova@mail.ru  
 St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

### APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL RESEARCH

The article discusses the main issues and problems of sampling, analytical processing and interpretation of environmental data, the use of digital technology to obtain representative information in assessing the state of the environment. Based on the experience of long-term geoecological studies in the north of Western Siberia, a methodology has been developed for environmental monitoring of the territory of licensed oil and gas production areas. A set of methods is proposed that ensure the unification of the selection and processing of factual information, obtaining reliable and comparable data, providing representative environmental quality control.

*Keywords:* environmental monitoring, oil and gas production, the north of Western Siberia, components of natural landscapes, pollution

В последнее время в практику эколого-географических исследований прочно вошло применение цифровых технологий. Использование компьютерной обработки массивов данных и графическое представление их с помощью ГИС-технологий является неотъемлемой частью экологического сопровождения рационального природопользования. Всеобщая компьютеризация упростила доступ и обработку экологической информации и дала возможность применения ее при решении широкого спектра практических вопросов. Цифровые технологии упрощают процесс обработки результатов наблюдений за состоянием и изменением окружающей среды в районах размещения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, а также оценку и прогноз изменения состояния окружающей среды, выработку предложений и мероприятий по снижению и предотвращению негативного воздействия.

Вместе с тем, на фоне всеобщей экологизации и компьютеризации обозначились проблемы сбора, аналитической обработки и интерпретации экологических данных в связи с их качеством. Размещенная в открытом доступе информация о состоянии компонентов окружающей среды зачастую получена различными методами и не может быть использована при сравнительной характеристике и оценке динамики трансформации природной среды. Поэтому для обеспечения необходимого уровня унификации, аналитичности и достоверности получаемых результатов при экологическом мониторинге на территории нефтегазовых месторождений ЯНАО, возможности их практического применения, в том числе для наполнения Единого государственного фонда данных о состоянии окружающей среды и ее загрязнении составлены «Методические рекомендации по проведению локального (производственного) экологического мониторинга территории нефтегазовых месторождений в северных районах России». В основу разработанного подхода положены требования, сформулированные в Постановлении Правительства ЯНАО, 14.02.2013 г. № 56-П «О территориальной системе наблюдения за состоянием окружающей среды в границах лицензионных участках на право пользования недрами с целью добычи нефти и газа на территории Ямало-Ненецкого автономного округа».

По результатам многолетних исследований на территории нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной

Сибири [1, 2] разработан комплексный подход для адекватной оценки антропогенной трансформации ландшафтов на основе репрезентативных наблюдений за состоянием компонентов окружающей среды с применением современных методов эколого-аналитических измерений, моделирования, биологических и дистанционных методов. В предлагаемом подходе унифицируются методы *сбора, аналитической и камеральной обработки* результатов экологических исследований в районах нефтегазодобычи Севера, где отсутствуют посты наблюдений.

Выполнение мониторинговых исследований проводится по сети эталонных площадей, включающих контрольные (вблизи каждого объекта инфраструктуры нефтегазового промысла) и условно-фоновые (не затронутые техногенным воздействием) станции мониторинга. Мониторинг должен проводиться 1 раз в год в период максимальной биологической активности (в июле-августе). Изучение компонентов природных наземных и аквальных комплексов (снежного покрова, поверхностных и грунтовых вод, донных отложений, почв и растительности) в ряду сопряженных ландшафтов по направлению стока. Для получения репрезентативной информации фоновые участки выбираются таким образом, чтобы охватить все разнообразие природных условий на контрольных станциях с учетом мозаичности и комплексности природных экосистем. При визуализации воздействия (загрязнения), что характерно при сливе шламовых амбаров, размещении вне подготовленных площадок промышленных отходов, сбросе пластовых вод, закладывается профиль в ряду сопряженных ландшафтов в направлении основного стока. Проводится изучение почвенных разрезов с опробованием всех генетических горизонтов и отбором грунтовых (почвенных) вод.

При *полевых* изысканиях в обязательный комплекс исследований входят экспресс-методы оценки физико-химических показателей воды, донных осадков, почв и снеговой воды: кислотно-щелочной показатель (pH), окислительно-восстановительный потенциал (Eh), удельная электропроводимость (ЕС) и минерализация (TDS). Измерение pH и ЕС выполняется для всех сред, в том числе твердых образцов (почва и донные осадки), для чего используются современные технологии горизонтального расположения электрода в pH-метрах и кондуктометрах (приборы фирмы Horiba). Eh определяется только в

грунтовых и поверхностных водах. Приводимые методы имеют большое значение в фиксации отклонений физико-химических параметров среды в результате воздействия визуализированных и не визуализированных источников.

В основе организации полевых мониторинговых исследований и отбора проб лежат требования СП 47.13330.2016. Отбор, хранение и транспортировка проб воды осуществляется в соответствии с действующими стандартами (ГОСТ 31861-2012, ГОСТ 17.1.5.05-85 в части атмосферных осадков, РД 52.24.309-2016). Требования к приборам и устройствам для отбора, первичной обработки и консервации проб устанавливаются в соответствии с ГОСТ 17.1.5.04-81. Документы, регулирующие отбор проб и анализ на загрязненность донных осадков, включают ГОСТ 17.1.5.01-80, приказ МПР от 24.02.2014 г. № 112, РД 52.24.609-2013.

Пробоотбор почв осуществляется в соответствии с ГОСТ 28168-89 и ГОСТ 17.4.3.01-2017 с учетом вертикальной структуры, неоднородности почвенного и растительного покровов, рельефа и климата местности. Точность данных, получаемых при лабораторных исследованиях, определяется не только тщательностью проведения анализа, но и репрезентативностью отбора проб. Общие требования к методам отбора и подготовки проб к химическому анализу изложены в ГОСТ 17.4.4.02-2017 и ГОСТ 29269-91; показатели санитарного состояния и качества почв – в ГОСТ 17.4.2.01-81 и СанПиН 2.1.7.1287-03; требования к охране почв - ГОСТ 17.4.3.04-85.

Для фиксации малозаметных изменений окружающей среды в условиях добычи углеводородов необходимо включать биологические методы контроля загрязнения среды. В качестве биоиндикаторов техногенного загрязнения рекомендованы известные для тундровых ландшафтов растения с высокой встречаемостью и обилием и имеющие на всей территории исследований однородные свойства. К наиболее значимым видам индикаторам относятся *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd. ex Steud. и *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar&Vezd. Оценку токсичности компонентов ландшафта целесообразно проводить по результатам биотестирования с использованием *Daphnia magna* Straus. и *Chlorella vulgaris* Beijer. (ГОСТ Р 54496-2011), особенно вблизи объектов техногенеза.

Отбор проб растений на химический

анализ проводится в соответствии с СП 47.13330.2016. Основными требованиями при проведении фитоиндикационных исследований являются: изучение разновозрастных экземпляров, отбор средней пробы растений (10-20 экземпляров), определение содержания загрязняющих веществ отдельно в листьях и ветвях кустарников, исследование нескольких взаимозаменяемых видов с целью получения сквозной информации по всем природным комплексам, кратковременность проведения полевых исследований в пределах одной фенологической фазы при относительно однородных метеорологических условиях. Для изучения миграции вещества по пищевым цепям рекомендуется проводить отбор проб в период максимальной биологической продуктивности сообществ.

В качестве основных параметров для оценки ландшафтно-экологического состояния геосистем принимаются такие биоиндикаторные признаки как состав и строение фитоценоза, запасы и ежегодный прирост биомассы. Неотъемлемой частью геоботанических исследований является определение видового состава, вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, отражающих особенности формирования растительного сообщества.

Оценка воздействия нефтегазодобычи на природную среду в ходе локального мониторинга лицензионных участков проводится по скорректированному *перечню загрязняющих веществ*, регламентированному Постановлением Правительства ЯНАО № 56П (табл. 1). В перечень веществ, определяемых в почве, донных отложениях и воде дополнительно включены Ba, Sr, V, Co, Na, Sc и нафталин, рост содержания которых указывает на загрязнение окружающей среды при проведении буровых работ (Ba, Sr, V, Na, нафталин), воздействии других видов промышленной деятельности (Co) или элементы служат индикатором геохимии почвообразующих пород, а также природных процессов миграции и аккумуляции вещества (Sc).

С целью унификации получаемых результатов различными изыскательскими организациями для анализа валового содержания химических элементов в твердых пробах (донные осадки, почвы, аэрозоли и растения) необходимо применение полного кислотного вскрытия образцов. Для этого используется способ последовательного разложения пробы концентрированными азотной, фтористоводородной и хлорной кислотами (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-

98). Исключается частичное разложение проб другими кислотными вытяжками. Наиболее предпочтительными методами определения химического состава проб (включая воду) являются ИСП МС и ИСП АЭС. Определение ртути проводится непламенным атомно-абсорбционным методом (метод «холодного пара») в соответствии с требованиями ПНД Ф 16.1:2.3:3.10-98.

Таблица 1. **Перечень загрязняющих веществ и параметров, подлежащих исследованию в компонентах окружающей среды**

Атмосферный воздух
Оценка проводится на основе анализа снега и индикаторных видов растений
Снег
pH, ЕС, TDS, $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl, нефтяные углеводороды, Feобщ, $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Cr}^{6+}$
Природные воды (поверхностные и грунтовые)
pH, Eh, ЕС, TDS, $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , Cl, $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , нефтяные углеводороды, фенолы, Feобщ, $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Cr}^{6+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ , Вобщ., $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$
Донные осадки
pH, ЕС, TDS, $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl, нефтяные углеводороды, Na, Fe, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr, Cd, Hg, Cu, Ba, V, Sr
Почвы: органогенный и иллювиальный горизонты
pH, ЕС, TDS, $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , Cl, нефтяные углеводороды, нафталин, фенантрен, Fe, Pb, Zn, Mn, Ni, Cr, фенолы, Na, АПАВ, Cd, Hg, Cu, V, Ba, Sr
Индикаторные виды растений: багульник <i>Ledum decumbens</i> и лишайник <i>Cladonia stellaris</i>
Na, Sr, Fe, Pb, Zn, Mn, Cu, Ni, Cr, Ba, V, Co, Cd

В почвах тундровых ландшафтов с высоким содержанием органического вещества для определения нефтепродуктов предпочтительным является флуориме-

трический метод, который направлен на определение ароматических углеводородов, в большей мере связанных с техногенным воздействием.

Критериями сравнения для определения качества компонентов служат действующие предельно допустимые концентрации (ПДК). Однако они установлены не для всех оцениваемых компонентов окружающей среды и загрязняющих веществ, в частности, они отсутствуют для донных осадков и растений. Кроме того, в природных водах тундры и лесотундры известны высокие природные концентрации железа, марганца и меди, значительно превышающие ПДК. В связи с этим при обработке геохимических данных целесообразно пользоваться фоновыми концентрациями металлов в компонентах ландшафтов, установленными для севера Западной Сибири [3].

При интерпретации результатов мониторинга необходимо учитывать геохимические особенности почвообразующих пород, которые определяют химический состав почв, донных осадков и растений [2, 3].

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ проект № 19-29-05081.*

#### Библиографический список

1. *Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г.* Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 2012. Вып. 4. С. 86-100.
2. *Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Арестова И.Ю.* Оценка трансформации природной среды в районах разработки углеводородного сырья на севере Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2018. № 1. С. 122--38.
3. *Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Ганул А.Г.* Фоновое содержание химических элементов в почвах и донных осадках севера Западной Сибири // Почвоведение. 2019. № 4. С. 422-439.

**БАЗА ДАННЫХ МЕСТ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПО ГОРОДУ ПЕРМЬ**

В статье поднимается вопрос о необходимости создания базы данных мест накопления твёрдых коммунальных отходов в городе Пермь. Также проводится анализ современной ситуации касающейся мест накопления твёрдых коммунальных отходов в городе Перми. Определяются требования к местам накопления твёрдых коммунальных отходов в Пермском крае.

*Ключевые слова:* бытовые отходы, твёрдые коммунальные отходы, места накопления твёрдых коммунальных отходов, площадки накопления, база данных мест накопления твёрдых коммунальных отходов.

T. Oshchepkova, S. Kulakova, tanya.soad@yahoo.com

*Perm State University, Perm, Russia***DATABASE OF MUNICIPAL SOLID WASTE ACCUMULATION SITES IN PERM**

The article raises the question of the need to create a database of places of accumulation of solid municipal waste in Perm. An analysis is also being made of the current situation regarding the places of accumulation of solid municipal waste in Perm. The study defines the requirements for places of accumulation of solid municipal waste in the Perm region are determined.

*Keywords:* household waste, solid municipal waste, places of accumulation of solid municipal waste, storage sites, database of places of accumulation of solid municipal waste.

В России остро стоит вопрос обращения с бытовыми отходами: несанкционированные свалки, растущее количество отходов, отсутствие фиксированного тарифа и др. – всё это имеет важнейшую социально-экологическую и экономическую значимость. С 1 января 2019 году в российском законодательстве произошли изменения по вопросам обращения с бытовыми отходами – твердыми коммунальными отходами (ТКО). Главная цель произошедшей реформы — стандартизировать услугу по обращению ТКО, повысить ее качество, снизить объемы накопления ТКО, предотвратить несанкционированные свалки и улучшить экологическую ситуацию в стране.

Целью данного исследования является начало разработки базы данных мест накопления твёрдых коммунальных отходов в городе Пермь. Важно установить, как происходит определение мест накопления твёрдых коммунальных отходов, выделить основные технические характеристики площадок накопления, также следует познакомиться с современной ситуацией, касающейся создания и размещения мест накопления твёрдых коммунальных отходов в Перми.

Места накопления твёрдых комму-

нальных отходов (МНО) – контейнерная площадка для временного накопления бытовых отходов, обустроенная в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации в области охраны окружающей среды, а также в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения, предназначенная для размещения контейнеров и бункеров. Эти площадки накопления могут осуществлять как отдельный, так и совместный сбор отходов. Каждое место накопления вносится в специальный реестр в соответствии со схемой размещения мест накопления ТКО. Собственниками площадок накопления может быть, как муниципалитет, управляющая компания, так и частное лицо или юридическое лицо.

База данных мест накопления ТКО необходима для нормализации системы обращения с ТКО, снижения количества несанкционированных свалок в Пермском крае. Благодаря информационной базе ожидается более чёткая и налаженная работа регионального оператора по вывозу отходов. Также электронный ресурс будет полезен для самих собственников площадок накопления, здесь с лёгкостью можно будет определить необходимые требова-

ния для уже существующего места накопления или же планируемого. База данных позволит определить соответствует ли место накопления ТКО требованиям законодательства Российской Федерации [2,8,9].

Итак, Постановлением Правительства РФ от 31.08.2018 № 1039 «Об утверждении правил обустройства мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов и ведения их реестра» регламентируется порядок согласования органами местного самоуправления размещения контейнерных площадок на территории населенного пункта и ведения Реестра созданных мест накопления ТКО. Схема создания контейнерной площадки для сбора мусора зависит от того, кому принадлежит место, предназначенное для её размещения. Создание МНО регламентируется региональными подзаконными актами и требованиями Федерального закона от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Если собственник земельного участка – муниципалитет, то орган местного самоуправления сам создаёт контейнерную площадку. Иная процедура предусмотрена для случаев, когда земля под контейнерной площадкой принадлежит частному лицу или организации, здесь лицо владеющее территорией, потенциально выбранной для размещения площадки, обращается в орган местного самоуправления с письменной заявкой на создание места для сбора ТКО. Обращение рассматривается в течение 10 дней со дня поступления, после чего предоставленные документы отправляются на экспертизу в территориальный орган санитарно-эпидемиологического надзора. Так, на основе экспертизы орган местного самоуправления выносит решение: согласовать заявку или отказать заявителю [4, 7,10].

Требования к оборудованию МНО на территории Пермского края определены Постановлением № 309-п: потребители осуществляют складирование ТКО в местах накопления ТКО, определенных договором на оказание услуг по обращению с бытовыми отходами, в соответствии с территориальной схемой обращения с отходами следующими способами [3]:

в контейнеры, расположенные в мусороприемных камерах (при наличии соответствующей внутридомовой инженерной системы);

в контейнеры и бункеры, расположенные на контейнерных площадках (далее -

централизованный способ);

в специально предназначенные емкости, пакеты и мусоровозы, предоставленные региональным оператором (далее - децентрализованный способ).

Площадка накопления ТКО должна быть огорожена по периметру с трех сторон и располагаться на уровне земли, на твердом, прочном, легко очищаемом покрытии. Контейнеры должны иметь крышку, предотвращающую попадание в контейнер атмосферных осадков и проникновение животных, за исключением случаев, когда контейнерная площадка, на которой расположен контейнер, имеет ограждение и оборудована крышей. Также следует отметить, что расстояние площадки накопления бытовых отходов от жилых домов, детских площадок, мест отдыха и занятия спортом должно быть не менее 20 м и не более 100 м, если речь идет о застройке индивидуальными и жилыми домами, то расстояние до контейнерной площадки может быть сокращено до 8 м [3].

Размер МНО должен быть рассчитан для установки необходимого количества контейнеров и (или) бункеров для накопления ТКО. Количество, объем и тип контейнеров и бункеров, которые устанавливаются на площадках, определяются лицами, ответственными за содержание контейнерных площадок с учетом нормативов накопления ТКО на территории Пермского края, утвержденных Приказом Региональной службы по тарифам Пермского края от 20.07.2018 № СЭД-46-04-02-97 и федеральным Приказом от 28.07.2016 № 524/пр. Расчетный объем контейнеров и бункеров должен соответствовать фактическому накоплению отходов в период их наибольшего образования с коэффициентом 1,25[3,5,6].

Собственник МНО, обязан обеспечить на таких площадках размещение информации – информационный аншлаг с данными об обслуживаемых объектах потребителей и о собственнике площадок с указанием почтовых, электронных адресов и телефонов их представителей, графика вывоза отходов.

Открытый реестр мест накопления ТКО в городе Перми содержит данные о расположении мест накопления ТКО, их технические характеристики и сведения о собственниках отходов и площадок. На февраль 2019 года городской реестр состоит из 2867 пунктов. Категории собственников МНО, составляющие реестр – это

юридические лица, управляющие компании, бюджетные организации и частные лица [1]. На рисунке 1 приведена информация по расположению мест накопления

ТКО в бюджетных организациях (район парка «Балатово») с их техническими характеристиками.

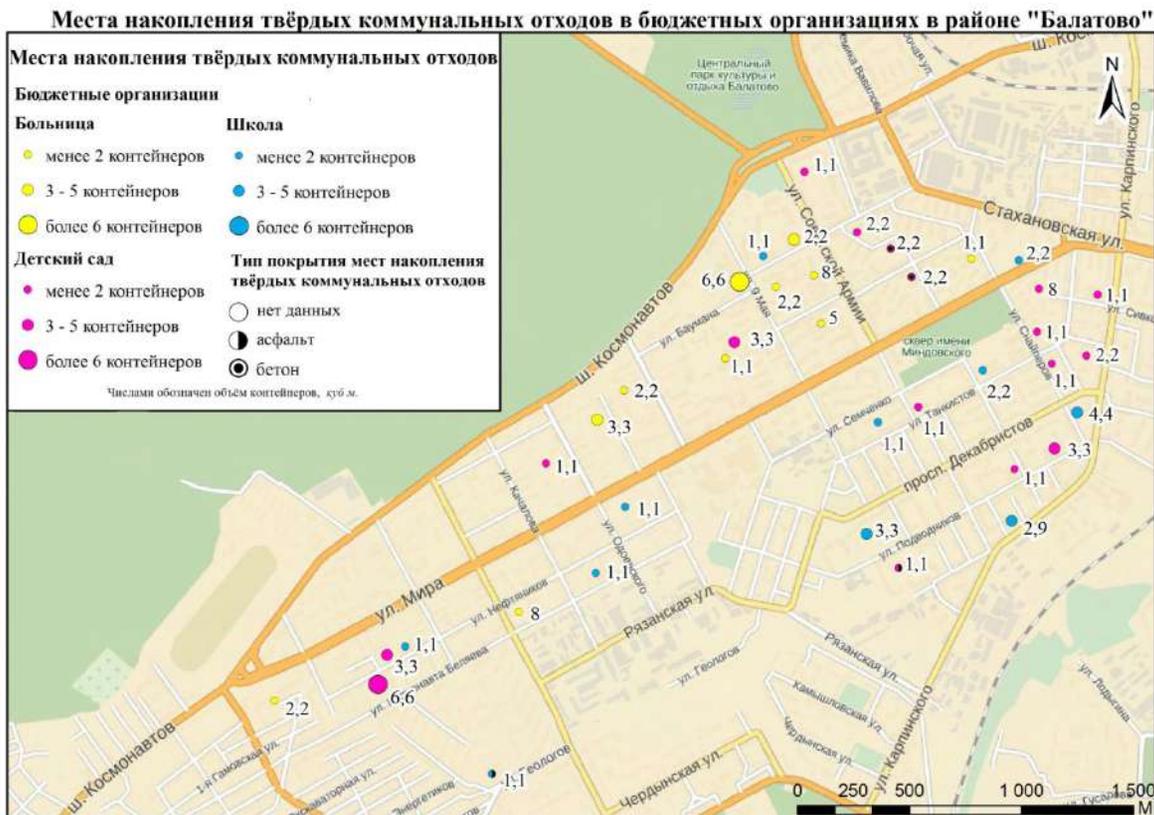


Рис. 1. Места накопления ТКО в муниципальных учреждениях в районе Центрального парка культуры и отдыха «Балатово» [1]

С момента вступления в силу обновлённого законодательства в сфере обращения с бытовыми отходами, идёт активное составление и обновление реестра. Определяющие технические характеристики МНО, указанные в реестре – количество контейнеров на площадке, их объём, а также материал покрытия и его площадь. Проанализировав данные реестра, оказалось, что и эти показатели часто не указываются полностью (см. рис. 1). Исчерпывающая информация о МНО указана у некоторого ряда юридических лиц, управляющих компаний.

Таким образом, зная основные требования, предъявляемые для мест накопления ТКО в Пермском крае, а в частности, в городе Пермь, можно создать полноценную базу данных с полным и точно разработанным атрибутивным наполнением. В разрабатываемую базу планируется внести не только упомянутые выше техни-

ческие характеристики мест накопления и информацию о собственниках, а также указывать дополнительно:

- точные координаты расположения;
- наличие или отсутствие крыши или крышки контейнеров;
- наличие или отсутствие отдельного сбора отходов,
- наличие или отсутствие дополнительных приспособлений для сбора ТКО;
- характеристика установленных контейнеров.

Адаптация действующего законодательства в сфере управления и накопления ТКО в Российской Федерации идет медленными темпами, но уже показывает положительные результаты: систематизация вывоза ТКО из населенных пунктов на полигон; создание и ведение реестра мест накопления ТКО; региональный оператор - монополист в сфере обращения с

ТКО в субъекте и единственный, кто осуществляет контроль и учёт всех несанкционированных свалок и полигонов ТКО и др. Но за год действия законодательных изменений в сфере обращения с отходами сохраняются некоторые проблемы, в том числе связанные с местами накопления ТКО. Как показала практика работы с реестром МНО в городе Пермь – на данный

момент о площадках накопления подробной информации не представлено, не все объекты МНО официально зарегистрированы или просто внесены в реестр. Таким образом, создание базы данных МНО будет огромным шагом в систематизации информации для нормализации системы обращения с ТКО не только в Перми, но и в Пермском крае в целом.

*Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-05-09244.*

### Библиографический список

1. *Муниципальное образование город Пермь. Обращение с отходами [Электронный ресурс] // URL: <https://www.gorodperm.ru/actions/jkh/Razvitie%20infrastrukturitoclean/> (дата обращения: 04.02.2020).*
2. *Попов Н.С., Пещерова О.В., Баламутова А.А., Чуксина Л.Н., О документальном сопровождении региональной системы управления ТКО // Экологические проблемы промышленных городов. 2019. С. 343-346.*
3. *Постановление Правительства Пермского края от 08.06.2018 №309-п «Об утверждении Порядка накопления твёрдых коммунальных отходов (в том числе их раздельного накопления) на территории Пермского края».*
4. *Постановление Правительства РФ от 31.08.2018 № 1039 «Об утверждении правил обустройства мест (площадок) накопления твердых коммунальных отходов и ведения их реестра».*
5. *Приказ от 28.07.2016 № 524/пр «Об утверждении Методических рекомендаций по вопросам, связанным с определением нормативов накопления твердых коммунальных отходов».*
6. *Приказ от 31.01.2019 № СЭД 24-02-46-2 «О внесении изменений в «Приказ Региональной службы по тарифам Пермского края от 20.06.2015 года № СЭД 46-04-02-97 «Об установлении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Пермского края».*
7. *Талаева О.В. Оптимизация системы обращения с ТКО на территории городских поселений // Наука без границ. 2019. С. 45-50.*
8. *Федеральный закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».*
9. *Федеральный закон от 29.12.2014 № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».*
10. *Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».*

## ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КАРКАС ТЕРРИТОРИИ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ СОХРАНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В статье рассматриваются теоретические основы создания природно-хозяйственных (экологических) каркасов, как совокупности взаимосвязанных природных и хозяйственных объектов. Целью создания таких каркасов выступает рациональное природопользование на территории, а также сохранение уникальных природных объектов.

*Ключевые слова:* природно-хозяйственный каркас, природопользование

## NATURAL AND ECONOMIC FRAMEWORK OF THE TERRITORY AS A PROMISING MODEL FOR THE CONSERVATION OF NATURAL COMPLEXES

The article discusses the theoretical basis for creating natural and economic (ecological) frameworks as a set of interrelated natural and economic objects. The purpose of creating such frameworks is rational use of natural resources on the territory, as well as the preservation of unique natural objects.

*Keywords:* natural and economic framework, nature management

Антропогенное воздействие в 21 веке достигло колоссальных масштабов. Этому способствовала долгое время наблюдающаяся положительная динамика численности населения как планеты в целом, так и в отдельных странах. В мае 2019 года численность населения планеты достигла 7,7 млрд человек. Увеличение численности населения в мировом масштабе привело к тому, что в оборот все больше вовлекаются территории, которые ранее не были освоены в связи с их неудобным расположением (склоны, овраги, горные территории, болотистые местности и т.д.).

Увеличение численности населения приводит к росту городу. В современных городах площадь преобразованных территорий (промышленная зона, селитебная зона, культурно-деловая зона и др.) составляет порядка 50 % площади города. Это в свою очередь обуславливает изменение химического состава атмосферы, химического состава вод и почвенного покрова, изменения в растительном и животном мире современных городов и населенных пунктов. Что в свою очередь оказывает влияние на изменение экологических связей, экологического равновесия, биологического разнообразия. Решить проблему восстановления природной среды отчасти помогают специально утверждаемые особо охраняемые природные территории. С

другой стороны, в настоящее время различными исследователями разрабатывается концепция экологического каркаса, как эффективного инструмента создания полноценной сети ценных природных комплексов, территорий и объектов.

В отношении экологического каркаса в научной литературе встречается достаточно большое количество используемых понятий: природный каркас территории (Кавалаяускас, 1985, Реймерс, 1990), экологическая инфраструктура (Николаев, 1992), экологическая сеть (Соболев, 1999), экологический каркас (Владимиров, 1982, Елизаров, 1998, Мирзеханова, 2000, Сохина, 1991, Стоящева Н.В., 2000, 2007, Селиверстов Ю.П., 2000), природно-экологический каркас (Пономарев, Байбаков, Рубцов, 2010), ландшафтно-экологический каркас (Чибилев, 1998, Казаков Л.К., 2007), геосистемный каркас территории (Турков, 2000), зеленый каркас (Тишков, 1995), биосферный каркас (Титова, 2013), природно-культурный каркас (Кулешова, 2007), природно-хозяйственный каркас (Барышников, 2002, Барышников, 2009). При этом наиболее часто используемыми являются «природный каркас», включающий в себя природные объекты, и «экологический каркас», содержащий помимо природных территорий, и природно-хозяйственные объекты. Исходя из того ка-

кие компоненты будут заложены в структуру каркаса, такое название данный каркас и будет иметь.

Достаточно четко сущность природного каркаса представлена в определении Н.Ф.Реймерса. Природный каркас – ранжированная по степени экологического значения система участков природы, неразрывная взаимосвязь которых создает предпосылки для формирования естественного экологического равновесия, способного противостоять антропогенным воздействиям [5].

По мнению авторов Барышников Г.Я., Краснослободцева Н.А. [1] важную роль в функционировании каркаса играет социально-экономический фактор, то есть деятельность человека, которая может, как его нарушить, так и улучшить. Именно поэтому этими авторами используется термин природно-хозяйственный каркас. Барышников Г.Я., Краснослободцева Н.А. также отмечают, что какое бы название каркас не имел, для него всегда характерна иерархичность. Он может формироваться как для территории страны и ее субъектов, муниципальных районов и городских округов, так и для отдельных природных территорий (бассейна реки, орографической зоны и т.п.).

Близкое нам определение Т.В.Воропаевой [2] «Экологический каркас территории речного бассейна — это объективно существующая реальность в виде совокупности природных процессов и территорий, обеспечивающих сохранение его экологических функций (средообразующая, водорегулирующая, формирования рекреационного потенциала, ресурсная для аборигенной флоры и фауны) и являющаяся основой для устойчивого развития региона». В рамках нашей дальнейшей работы считаем необходимо дополнить это определение и экономической составляющей. В связи с чем в дальнейшем поведем речь о природно-хозяйственном каркасе территории. Моделями каркасов в рамках нашего исследования будет рассматриваться графическая визуализация форм, размеров и особенностей территориального размещения природных объектов и объектов хозяйственной инфраструктуры в географически замкнутых границах речного бассейна.

В структуре природно-хозяйственного каркаса необходимо выделение нескольких составляющих.

Так, например, Барышников Г.Я., Краснослободцева Н.А. [1] включают в каркас

природные объекты, социально-экономическую составляющую (населенные пункты, промышленные узлы и пр.) и экологическую (существующие и проектируемые ООПТ). Все выше перечисленные элементы взаимосвязаны и взаимодействуют между собой таким образом, что образуют узлы и ядра, экологические коридоры и буферные зоны.

Согласно работам Кавалюскас П. [3], природный каркас состоит из следующих составных частей:

Узлы природного каркаса (они выполняют средообразующую функцию) – зоны наиболее активного участка в формировании геодинамических процессов, играющие роль узловых участков в природной ландшафтной структуре (крупные массивы леса, верховья рек, крупные болота, особо ценные территории, горные массивы и т.д.);

Транзитные коридоры (выполняют транспортную функцию – магистрали обмена веществом и энергией, связывают территории узлов в единую геодинамическую систему (цепочка озер и болот, овражно-балочная сеть, горные хребты, долины рек и т.д.);

Буферные территории (играют средозащитную роль) – зоны охраны транзитных коридоров (поймы рек, лесные массивы, зеленые зоны поселений и т.д.).

В нашей работе будем рассматривать две основные составляющие каркаса: природные экосистемы и хозяйство человека, базирующееся на них. Природно-хозяйственный каркас включает в себя следующие элементы:

Природный каркас, состоящий из трех типов элементов: узлы (крупнейшие болота, верховья основных рек и т.д.), транзитные коридоры (долины рек, вереницы озер и т.п.) и буферные территории (лесные массивы).

Узлы представляют собой территории с наиболее высокой природоохранной ценностью (высокое биоразнообразие, значительная степень эндемизма, концентрация ключевых биотопов редких видов и т.д.). Узлы сохраняют ресурсы живой природы, они максимально функционально автономны от окружающей территории.

Буферные территории защищают территорию узлов от деятельности человека. Они обеспечивают дополнительным местообитанием коренных видов, населяющих территорию узлов. Буферные зоны выполняют функцию энергетической целостности.

Транзитные коридоры осуществляют связь между узлами и другими элементами природно-хозяйственного каркаса. Благодаря коридорам предотвращается фрагментация местообитаний, обеспечивается миграция и обмен генофондом между узлами.

Хозяйственный (экономический) каркас, состоящий из ядер (городские агломерации, промышленные центры, крупные транспортные узлы) и линейные объекты (магистрали).

Выделение природно-хозяйственного каркаса целесообразно начинать с вычленения непосредственно природного каркаса. Так как именно он является базой, фундаментом, на котором строится вся хозяйственная, экономическая деятельность.

Ниже представим наиболее часто используемые в методологии экологического проектирования принципы и критерии, необходимые для вычленения компонентов и элементов каркаса территории [2]:

**Принцип целостности** предусматривает, что в границу планируемой экологической сети территории, геосистемы, ландшафты, фации, урочища, речные бассейны и прочие природные объекты входят целиком, поскольку внутри этих пространственных объектов функционируют единые потоки вещества, энергии и информации.

**Принцип территориальной взаимосвязанности** построен на том, что небольшие природные сообщества обречены на неизбежную деградацию, поэтому для длительного существования они должны быть связаны между собой.

**Принцип сохранения естественных процессов** полагает важность природных процессов как объектов охраны. Задача сохранения избранных видов, сообществ, отдельных участков должна быть наполнена задачей поддержания экологических и эволюционных процессов, обеспечивающих существование объектов охраны.

**Критерий типичности** основан на принципе ландшафтно-географической репрезентативности. В пределах каждой группы типичных территорий различного таксономического ранга должны быть сохранены эталонные участки.

**Критерий уникальности** допускает помимо типичных территорий включить в экологический каркас редкие и уникальные местности и сообщества, например, местообитания эндемичных и реликтовых растений и животных.

**Критерий учета биологического и ландшафтного разнообразия** предполагает охрану территорий с наибольшим ландшафтным и биологическим разнообразием, т.е. наличие мест обитания или произрастания редких или функционально важных для экосистем видов растений и животных экотон.

**Критерий функциональной развитости** предполагает использование разнообразных по своему целевому назначению и выполняемым функциям форм территориальной охраны природы.

**Критерий размерности** предусматривает, что размер территории должен максимально способствовать сохранению экологического равновесия. По современным представлениям площадь ООПТ должна составлять не менее 30 % от площади региона.

В основе природно-хозяйственного каркаса лежит природопользование.

В науку термин «природопользование» ввел Ю.Н.Куражковский. Согласно этому автору основной задачей природопользования как науки выступает разработка принципов осуществления любой деятельности, связанной с использованием природой и ее ресурсами или с изменяющимися ее воздействиями [4].

Другой отечественный автор, Н.Ф.Реймерс [6] определил природопользование как совокупность всех форм эксплуатации природно-ресурсного потенциала, включая и меры по его сохранению. К таковым относятся:

- извлечение и переработка природных ресурсов, их возобновление и воспроизводство;
- использование и охрана природных условий среды жизни;
- сохранение, воспроизводство и рациональное изменение экологического баланса (равновесия, квазистационарного состояния) природных систем.

В комплексных исследованиях по природопользованию кроме ландшафтно-географического подхода, представленного во многих работах, также часто рассматривается бассейновый подход. Основным недостатком бассейнового подхода является несовпадение границ с административно-территориальным делением.

Проектирование каркаса на трех масштабных уровнях представлено в работе Т.В.Воропаевой [2] по формированию экологического каркаса водосборного бассейна.

на р.Хилок. Каркас бассейна главной реки складывается из ряда каркасов частных бассейнов ее притоков. Из них формируется региональный каркас. Кроме того, каждый из них может быть приурочен к определенному масштабу административного устройства РФ. Важным является и то, что приоритет бассейновой концепции при выборе региональной стратегии охраны природы отражен в Экологической доктрине Российской Федерации (2002).

В рамках нашей работы планируется создание природно-хозяйственного карка-

са бассейнов рек Вишеры и Колвы. Данная территория занимает северо-восточную окраину Пермского края. В природном отношении достаточно богатый лесными ресурсами и полезными ископаемыми регион. В настоящее время в экономическом отношении находящийся в достаточно депрессивном состоянии. Именно поэтому очень важно на современном этапе создание такой модели управления, которая базировалась бы на учете существующего природного богатства с одной стороны, с другой стороны позволяла бы развивать территорию в экономическом отношении.

### Библиографический список

1. *Барышников, Г. Я.* Природно-хозяйственный каркас переходной зоны Алтая: монография; АлтГУ Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2012. 154 с.
2. *Воропаева, Т.В.* Региональные модели экологического каркаса территории: Автореф...дис. кан. геогр. наук. Улан-Удэ. 2011. 22 с.
3. *Кавалюскас П.* Системное проектирование сети особо охраняемых территорий // Геоэкологические подходы к проектированию природно-технических систем. М.: ИГ АН СССР, 1985. С. 145–153.
4. *Куражковский Ю.Н.* Очерки природопользования. М.: Мысль, 1969. 268 с.
5. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990, 637 с.
6. *Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р.* Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ  
РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Дается общая оценка радиационной обстановки на территории Пермского края, полученная при помощи геоинформационных технологий. Демонстрируется динамика радиоактивного загрязнения территории края. Проводится анализ состояния ГИС технологий в радиомониторинге.

*Ключевые слова:* радиационный фон, антропогенная нагрузка, радиационная обстановка, ГИС- технологии, Пермский край.

E. Peshkov, wisemir59@gmail.com

*Perm State University, Perm, Russia***USE OF GIS TECHNOLOGIES IN THE ANALYSIS OF THE RADIATION  
SITUATION ON THE TERRITORY OF THE PERM REGION**

A general assessment of the radiation situation on the territory of the Perm region, obtained using geoinformation technologies is given. The dynamics of radioactive contamination of the territory of the region is demonstrated. The analysis of the state of GIS technologies in radio monitoring is carried out.

*Keywords:* radiation background, anthropogenic load, radiation situation, GIS technologies, Perm region.

Оценка радиационной обстановки является важным показателем благополучия как населения, так и состояния окружающей среды в целом, поскольку радиоактивное излучение зачастую является не учитываемым параметром, хотя имеет высокую экологическую значимость. Чтобы наиболее наглядно отразить экологическую ситуацию на определенной территории, необходимо составление картографических материалов, при помощи ГИС технологий.

Геоинформационные системы (ГИС) - информационные системы, обеспечивающие сбор, хранение, обработку, отображение и распространение данных, а также получение на их основе новой информации и знаний о пространственно-координированных явлениях [5].

Радиационная обстановка - совокупность радиационных факторов в пространстве и во времени, способных воздействовать на функционирование (использование) объекта, вызывать облучение персонала, населения и окружающей среды [1,2].

На сегодняшний день в Российской Федерации и отдельно взятых субъектах, существуют онлайн карты радиационной обстановки, обновляющие свои данные не реже 1 раза в сутки, доступные любому пользователю с интернетом. К таким проектам относятся:

1- «Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации» которая транслирует показатели радиационного фона с большей части метеостанций РФ (информация о Пермском крае отсутствует полностью) [15].

2- Федеральное государственное унитарное предприятие – «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды» которое транслирует информацию со всех государственных радиометрических установок, находящихся в Московской области [16].

3- Федеральный информационно-аналитический центр Росгидромета «Оперативная информация о радиационной обстановке на территории Российской Федерации» который транслирует не только показатели фона в реальном времени во многих субъектах РФ, но также показывает наиболее крупные радиационно-опасные объекты на территории Российской Федерации [17].

4- Онлайн портал института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН «Карта радиационной обстановки на предприятия Росатома» который обновляет информацию о состоянии радиационного фона на предприятия госкорпорации «Росатом» каждые 30 секунд и

транслирует ее в режиме реального времени. Карта является самой современной и наиболее красивой среди всех возможных вариантов на территории РФ [19].

5- Проект «Карта Гейгера» компании «Соэкс», суть которого заключается в постоянном обновлении и заполнении информации о радиационной обстановке на территории РФ обычными гражданами. Также на самой карте указываются показатели границ нормы для различных субъектов РФ.

6- Множество управлений государственной метеорологической службы, также имеет на своих сайтах онлайн карты радиационной обстановки в субъекте расположения службы (в Пермском крае данная система не работает).

7- Любительские мобильные приложения, которые действуют по принципу всех вышеперечисленных, например, карта от АО «НЕОЛАНТ» которую можно установить на свой смартфон и при условии интернет соединения отслеживать и дополнять информацию о радиационном фоне на определенной территории.

При сборе данных для анализа радиационной обстановки были использованы как источники, находящиеся в открытом доступе, так и данные, полученные в ходе собственных исследований и обращений в федеральное государственное бюджетное учреждение «Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

Собственные замеры проводились на территории города Пермь, УНБ «Предуралье» и заповедника «Басеги» при помощи дозиметрического прибора «Polimaster ДКГ-РМ 1621М» на базе счетчика Гейгера-Мюллера диапазон измерений которого составляет от 0,01 мкЗв/ч до 100 мкЗв/ч [9]. Все измерения проводились строго в соответствии с методикой, указанной в руководстве по эксплуатации прибора, а также нормативными актами Российской Федерации, такими как, методическими указаниями «МУ 2.6.5.008-2016» и «НРБ-99/2009», «ОСПОРБ-99/2010». В настоящий момент, согласно постановлению, главного государственного санитарного врача Российской Федерации СанПиН 2.6.1.2523-09, нормы радиационного фона варьируются в зависимости от конкретного местообитания человека и имеют верхний предел допустимой мощности дозы, равный примерно 0.5 мкЗв/ч или 50 мкР/ч. Наиболее безопасным принято считать фон до 0.2 мкЗв/ч или 20 мкР/ч, при данных показа-

телях ставится отметка о том, что радиационный фон в норме [6,12,13].

Так как радиационный фон на территории Пермского края является относительно постоянным [6,10,11], то для его оценки и выявления наиболее высоких показателей было принято решение использовать ГИС-технологии, а именно инструмент пространственной интерполяции в программном обеспечении ArcGIS, под названием «Крининг». Данный метод был выбран, исходя из того, что расположение метеостанций, оснащенных дозиметрическим оборудованием на территории Пермского края, крайне неравномерно. Метод пространственной интерполяции служит для вычисления неизвестных значений в неизвестных точках и результатом его анализа является статистическая поверхность. Также использование программного обеспечения ArcGIS позволило создать картографический материал, на котором отображен усреднённый показатель радиационного фона по гамма спектру, радиационно-опасные объекты и места проведения подземных ядерных взрывов, что в свою очередь помогло сформировать общую картину радиационной обстановки и позволяет сделать выводы о некоторых различиях в показателях (Рис. 1) [11,14].

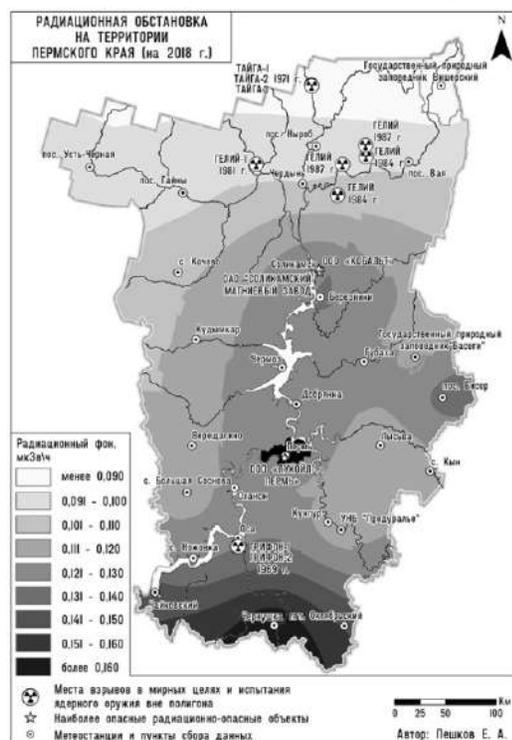


Рис. 1. Радиационная обстановка на территории Пермского края в 2018 года

Однако, при работе с ГИС технологиями были выявлены недостатки связанные с невозможностью получения фактиче-

ских данных в неизвестных точках. Так как радиационный фон и его изменения имеют очаговый характер и под воздействием природных и антропогенных факторов могут изменяться на расстоянии до полутора метров [3,4,7,8]. То программное обеспечение не в силах узнать корректный радиационный фон и обстановку в той или иной точке пространства.

Данные показатели возможно узнать только в случаях использования таких систем как «Армада», которые за счет автомобильных дозиметрических установок подает данные о фоне, не реже 1 раза в 2 секунды и автоматически выводит данные показатели в виде таблиц и карт в пунктах управления системой.

*Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-05-09240.*

### Библиографический список

1. *Абрамов А.И.* История ядерной физики. Учебное пособие. История развития представлений об атоме с античных времен до конца XX века Изд. 2-е, испр. М.: КомКнига, 2006. С. 5-48.
2. *Антонов В.П.* Уроки Чернобыля: радиация, жизнь, здоровье: Знание, 1989. 112 с
3. *Бекман И.Н.* Радон: враг, врач и помощник М.: Медицина, 2008. 18 с.
4. *Бондарьков М.Д.* Научное обоснование и оптимизация методов обеспечения радиологического мониторинга окружающей среды и контроля РАО АЭС. Автореферат доктора технических наук. Киев. 2012. 50 с.
5. *Е.Г.Капралов, А.В.Кошкарев, В.С.Тикунов* Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн. 1: Учеб. пособие для 0-75 студ. Вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 352 е.,
6. Единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории Российской Федерации [Электронный ресурс] // URL: <http://egasmro.ru/ru/> (дата обращения: 20.02.2020).
7. Ежегодник «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году». Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», 2018. 376 с.
8. *И. Б. Моссэ, П. М. Морозик* Генетические эффекты ионизирующей радиации/ Минск., Изд-во «Беларуская навука», 2018. С. 162-194
9. Информация о подземных ядерных взрывах на территории Пермского края.
10. Карта радиационной обстановки на предприятия Росатома [Электронный ресурс] // URL: <http://www.russianatom.ru> (дата обращения: 20.02.2020).
11. *Матвеев А.Н.* Атомная физика. М.: Оникс, 2007. 432 с.
12. *Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 СанПин 2.6.1.2523-09.* Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
13. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).* Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
14. *Проект «Карта Гейгера»* компании «Соэкс» [Электронный ресурс] // URL: <http://geiger.miatom.ru/карта/> (дата обращения: 20.02.2020).
15. *Руководство по эксплуатации «Дозиметр микропроцессорный Polimaster ДКГ-PM 1621М».* Минск. Изд-во «Полимастер», 2002. 30с.
16. *Толстиков В.С., Кузнецов В.Н.* Ядерное наследие на Урале: исторические оценки и документы. Екатеринбург: Банк культурной информации, 2017. С. 127-204.
17. ФГУП «Радон» [Электронный ресурс] // URL: <http://www.radon.ru/online-map/> (дата обращения: 20.02.2020).
18. *Федеральный информационно-аналитический центр Росгидромета* [Электронный ресурс] // URL: <http://www.feerc.ru/RadiationMonitoring/> (дата обращения: 20.02.2020).
19. *Шершакова В.М., Булгакова В.Г., Вакуловского С.М.* и др. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году. Ежегодник. Нижний Новгород: типография ИП Кузнецов, 2017. 376 с.
20. *Мирные ядерные взрывы* [Электронный ресурс] // URL [http://elib.biblioatom.ru/text/mirnye-yadernye-vzryvy\\_2001/](http://elib.biblioatom.ru/text/mirnye-yadernye-vzryvy_2001/) (дата обращения: 20.02.2020).

А.С. Порозова, porozova\_alena@mail.ru  
 Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
 г. Пермь, Россия

## **ВЛИЯНИЕ СЖИГАНИЯ ПОПУТНОГО ГАЗА НА ДРЕВОСТОЙ: ОБЗОР ИМЕЮЩЕГОСЯ ОПЫТА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРИКАМЬЕ**

Сообщение посвящено влиянию сжигания попутного газа на состояние древостоя. Рассмотрен ряд научных работ, оценивающих такое влияние. Проведён анализ методов и видов деревьев, используемых в отмеченных публикациях. На основе литературного обзора составлена сводная карта. Предложено место, перспективное для проведения аналогичного исследования в Пермском крае.

*Ключевые слова:* добыча нефти, попутный газ, древостой, дендрохронология.

A. Porozova, porozova\_alena@mail.ru  
 Perm State University, Perm, Russia

## **THE IMPACT OF OIL-ASSOCIATED GAS FLARING ON FOREST STAND: REVIEW OF EXPERIENCE AND RESEARCH PROSPECTS IN PERM REGION**

The paper is about impact of associated gas flaring on timber stand. A number of scientific papers assessing such impact are considered. The methods and tree species used in the mentioned publications are analyzed. The compiled map is prepared based on the literary review. A place promising for conducting a similar study in the Perm region is proposed.

*Keywords:* oil extraction, associated gas, timber stand, dendrochronology.

В современное время острой проблемой является загрязнение окружающей среды. В Пермском крае активно развивается многие отрасли, в том числе и нефтегазодобыча, которая является одной из самых экологически опасных отраслей. Любой процесс в этой деятельности приводит к негативному влиянию на естественную среду. Факельные стационарные установки по сжиганию неутрализованного газа при добыче нефти – не исключение. Установка по сжиганию газа изменяет тепловой режим близлежащей территории, водный баланс, а так же состояние почвенного покрова. Все перечисленные факторы сказываются и на древостое, произрастающем в непосредственной близости от факела. В ряде регионов России проводились исследования на тему отрицательного воздействия факелов на древостой. В Пермском крае такие работы ещё не осуществлялись. Поэтому, было принято решение в рамках магистерской диссертации провести исследование в этой области, и на собственном опыте убедиться, что установки по сжиганию газа имеют большую опасность для окружающей среды, а именно для такого важного природного компонента, как растительность [3-9].

Поэтому целью публикации является сбор и анализ теоретического материала по данной тематике, построение в программе ArcGIS наглядного картографического материала, а также определение перспектив для исследования в Пермском крае.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

Сбор и анализ первичной информации по указанной тематике;

Построение карт на основе найденной информации.

Собрать первичный материал для исследования в Пермском крае.

Во время проделанных работ были найдены некоторые научные материалы, которые и послужили основой для написания магистерской диссертации на начальном этапе. Источниками информации послужили 7 научных публикаций и 1 методический материал. Период издания публикаций достаточно широк – 2000-2016 года. При изучении каждого материала было выделено несколько основных составляющих: район проведения и объект исследования, метод анализа данных. Информация из источников и полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Опыт изучения влияния установок [3-9]

Научная публикация	Участок проведения исследования	Объект исследования	Метод исследования
Кокорина Н.В., Татаринцев П.Б., Касаткин А.М.. Применение дендрохроноиндикационных методов в оценке воздействия сжигания попутного нефтяного газа на хвойные породы в условиях средней тайги западной Сибири	Приобское месторождение (ХМАО)	Сосна кедровая сибирская, ель сибирская	Дендрохроноиндикация*
Коротких Н.Н., Граб М.И., Вешкурцева Т.М. «Влияние факелов по сжиганию попутного нефтяного газа на экологическое состояние сосновых лесов»	Тальниковое и Северо-Даниловское месторождение нефти ТПП «Урайнефтегаз» (ХМАО)	Сосна обыкновенная	Морфологические параметры**хвои
Полищук Ю.М. п др. «Анализ биоиндикационных свойств сосны сибирской для оценки воздействия факельного сжигания попутного газа на природную среду»	Приобское месторождение (ХМАО)	Сосна кедровая сибирская	Морфологические параметры кроны, хвои, побегов
Полищук Ю.М., Хамедов В.А., Русакова В.В. «Дистанционные исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров нефтедобывающей территории с использованием вегетационного индекса»	Приобское месторождение (ХМАО)	Мелколиственный берёзовый лес	Вегетационный индекс NDVI рассчитанный с использованием космических снимков среднего пространственного разрешения с КА Landsat
Крючков К. В. Диссертация: «Влияние факелов по сжиганию попутного газа на лесные насаждения»	Мегионский и Нефтеюганский лесхозы (ХМАО)	Сосна обыкновенная	Морфологические параметры хвои, шишек, крон, подстилки
Казанцева М.Н., Аюпова А.Ф. «Влияние газового факела на репродуктивные показатели сосны обыкновенной в северной тайге ЯНАО»	Пуровский район, факел Ао «Сибур ТюменьГаз» (ЯНАО)	Сосна обыкновенная	Морфологические параметры шишек
А.Е. Морозов. «Оценка степени жизнеспособности древостоев кедра, подверженных воздействию факелов для сжигания попутного газа»	Мегионский и Нефтеюганский лесхозы (ХМАО)	Сосна кедровая сибирская	Шкала жизнеспособности древостоя***

Примечание к таблице:

\*Дендрохроноиндикация – оценка корреляционных связей климатических условий и годового прироста [10];

\*\*Морфологические параметры – изучение внешних параметров (длина, толщина, вес и др.);

\*\*\* Шкала жизнеспособности древостоя – расчёт среднего индекса состояния древостоя в зависимости от доли участия каждого элемента леса в составе древостоя (жизнеспособность древостоев тем лучше, чем ниже индекс санитарного состояния) [6].

Во всех вышеперечисленных публикациях, территорией проведения исследований являлись северные районы страны: Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа – одни из регионов лидеров по добыче нефти и газа в России.

Учебно-методическое пособие «Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации» Шиятова С.Г. и др. позволило ознакомиться с основными положениями и принципами дендрохронологии, в нём даны краткие сведения об анатомическом строении древесины и сезонном росте деревьев, критериях отбора районов и местообитаний, технике взятия и подготовки образцов древесины,

абсолютной и относительной датировке годовых колец, измерении плотностных и химических характеристик древесины, форматах обработки и хранения дендрохронологической информации. Таким образом, данное пособие послужит одной из теоретических основ для проведения исследования [10].

Обработка научных материалов проходила в камеральных условиях, с помощью описательного и сравнительного методов. В ходе анализа и его систематизации удалось составить карты-схемы в программе ArcGIS. Результатом проведённых работ стали карты-схемы, представленные на рис.1. наглядно отражающие информацию из табл. 1

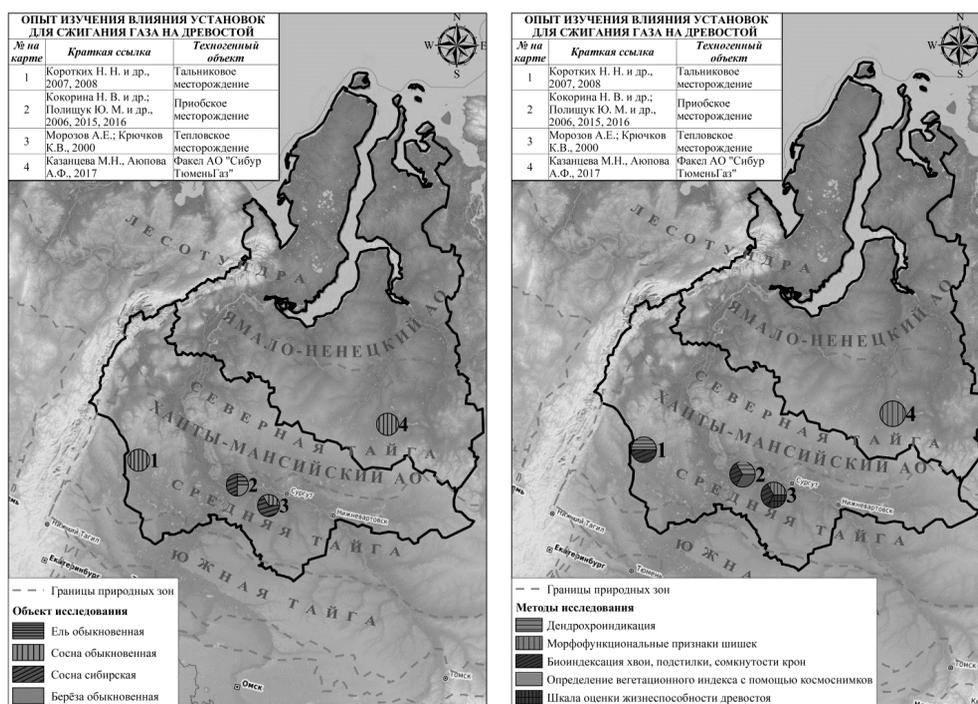


Рис. 1. Опыт изучения влияния установок для сжигания газа на древостой [1,2]

Ознакомившись со всеми методическими и научными материалами, стало известно, что наиболее выгодным объектом для исследования являются хвойные породы, а именно сосна обыкновенная. Так как сосна широко распространена в

районах холодного и умеренного климата (в том числе и на территории Пермского края), долговечна, а так же данная порода реагирует на любые изменения в природной среде и имеет хорошо различимые годовичные слои прироста древесины.

В ходе анализа территории Пермского края, опираясь на природное зонирование территории и расположение крупных нефтегазоносных месторождений, а также используя полученные теоретические знания, предложено провести исследование по влиянию сжигания попутного газа на древостой в Пермском крае на территории Озёрного месторождения нефти

(Красновишерский район). Выбор данного месторождения объясняется тем, что оно располагается в зоне средней тайги, где основной древесной породой является сосна обыкновенная и пихта сибирская – интересные нас объекты. Для исследования предполагается использовать метод дендрохронологии.

*Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-04-09255.*

### Библиографический список

1. Ботанико-географическое районирование Пермского края. Фондовые данные кафедры биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета.
2. Казанцева М.Н., Аюпова А.Ф. Влияние газового факела на репродуктивные показатели сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) В северной тайге ЯНАО [Электронный ресурс] // URL: [http://science-bsea.bgita.ru/2018/les\\_2018/kazantseva\\_vl.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2018/les_2018/kazantseva_vl.htm) (дата обращения: 31.01.2020).
3. Кокорина Н.В., Татаринцев П.Б., Касаткин А.М. Применение дендрохроноиндикационных методов в оценке воздействия сжигания попутного нефтяного газа на хвойные породы в условиях средней тайги западной Сибири // Вестник удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о земле 2015. Т. 25, вып. 1. С. 19-23.
4. Коротких Н.Н., Граб М.И., Вешкурцева Т.М. Влияние факелов по сжиганию попутного нефтяного газа на экологическое состояние сосновых лесов (на примере Северо-Даниловского и Тальникового месторождений). Природный парк «Кондинские озера», г. Советский Тюменский государственный университет. 2009. № 11. С. 96-110.
5. Морозов А.Е. Электронный архив Уральской государственной лесотехнической академии (электронный ресурс). Оценка степени жизнеспособности древостоев кедр, подверженных воздействию факелов для сжигания попутного газа [Электронный ресурс] // URL: [http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/5046/1/lesa\\_urala\\_20\\_23.pdf](http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/5046/1/lesa_urala_20_23.pdf) (дата обращения: 31.01.2020).
6. Нефтяные месторождения Пермского края. Картографический материал кафедры биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета.
7. Полищук Ю.М., Кокорина Н.В., Касаткин А.М. Анализ биоиндикационных свойств сосны сибирской для оценки воздействия факельного сжигания попутного газа на природную среду // Вестник Югорского государственного университета, 2006. Выпуск 4. С. 87-92.
8. Полищук Ю.М., Хамедов В.А., Русакова В.В. Дистанционные исследования воздействия факельного сжигания попутного газа на лесорастительный покров нефтедобывающей территории с использованием вегетационного индекса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 61-69.
9. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазена В.С., Наурызбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
10. Влияние факелов по сжиганию попутного газа на лесные насаждения [Электронный ресурс] // URL: <http://earthpapers.net/vliyanie-fakelov-po-szhiganiyu-poputnogo-gaza-na-lesnye-nasazhdeniya> (дата обращения: 31.01.2020).

С.А. Кулакова, А.М. Роготнева, rogotneva.nastya@mail.ru  
 Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
 г. Пермь, Россия

## ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДА

В статье уделяется внимание ГИС – технологиям. Рассмотрена методика городских зеленых насаждений. Описано использование дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий. Сформулированы цель и задачи применения ГИС- технологий. Подробно описан процесс геоинформационной модели в ГИС MapInfo на территории г. Перми. Охарактеризован состав и база данных зеленых насаждений. Приведены критерии оценки качественного состояния насаждений. Сделаны выводы о перспективах и проблемах использования ГИС для инвентаризации городских зеленых насаждений.

*Ключевые слова:* база данных, геоинформационная система, зеленые насаждения, инвентаризация, мониторинг, городское озеленение.

S. Kulakova, A. Rogotneva, rogotneva.nastya@mail.ru  
 Perm State University, Perm, Russia

## GIS-TECHNOLOGY IN THE MONITORING OF GREEN SPACES OF THE CITY

The article focuses on GIS - technology. The methodology of urban green spaces is considered. The use of remote sensing of the Earth and GIS technologies is described. The goal and objectives of the application of GIS technology are formulated. The process of the geographic information model in the MapInfo GIS in the territory of Perm is described in detail. The composition and database of green spaces is characterized. Criteria for assessing the quality of plantations are given. Conclusions are drawn about the prospects and problems of using GIS for an inventory of urban green spaces.

*Keywords:* database, geographic information system, green spaces, inventory, monitoring, urban gardening.

Зеленые насаждения – древесные, кустарниковые и травянистые растения естественного происхождения или посаженные на определенных территориях, в том числе в парках, садах, скверах, на бульварах, в городских лесах, в границах улично-дорожной сети, на местах погребения, а также газонах, цветниках.

Значение зеленых насаждений в городских условиях постоянно возрастает в силу увеличивающейся техногенной нагрузки. Эксперты отмечают, что наличие зеленых насаждений благоприятно сказывается на комфорте среды обитания городских жителей. В связи с высокими темпами роста города, из-за уплотненной городской застройки, расширения проезжей части дорог происходит быстрое сокращение существующих озелененных территорий, которое разрушает систему зеленых насаждений.

Для совершенствования управления в сфере благоустройства и озеленения территории необходимо внедрение современных информационных технологий. Их применение позволяет систематизиро-

вать информацию о состоянии озеленения в целом, площадях озелененных объектов, структуре и изменениях насаждений. Преимуществами таких геоинформационных систем является оперативность обработки информации, удобство ее использования, хранения и воспроизводства, что повышает эффективность управления зеленым фондом.

Цель - применение ГИС-технологий при мониторинге зеленых насаждений в г. Перми.

Мониторинг – это комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Мониторинг зеленых насаждений предусматривает получение огромного массива разнородной информации (общее количество деревьев, видовую принадлежность, о состоянии зеленых насаждений и причинах их ухудшения). Точечные объекты площадные наделенные характеристиками. Для оперативной работы с

многочисленными данными целесообразно создавать базу данных и использовать для анализа, синтеза, различных расчетов, составления прогноза и т.д. целиком или выборочно необходимую информацию.

ГИС предусматривает решение следующих задач:

- Инвентаризация существующих зеленых насаждений;
- Оценка состояния существующих зеленых насаждений;
- Составление базы данных по существующим зеленым насаждениям.
- Планирование новых и реконструкции существующих объектов озеленения.

Этапу создания ГИС зеленых насаждений предшествует этап сбора первичной информации.

Инвентаризация зеленых насаждений проводится в целях использования данных учета для составления статистической отчетности, развития зеленого хозяйства, планирования нового строительства, восстановления, реконструкции и эксплуатации ландшафтно - архитектурных объектов в городе.

Учету подлежат все зеленые насаждения в черте города Перми, за исключением городских лесов, особо охраняемых природных территорий и закрытых территорий (предприятия, частная территория).

Учет зеленых насаждений проводится согласно Методике инвентаризации зеленых насаждений на территории города Перми. Кулакова С.А. Учет зеленых насаждений города Перми. Известия Самарского научного центра Российской ак.наук, том 16, №1 (3). – Пермь, 2014. 769-771 с.

Городские зелёные насаждения по функциональному признаку подразделяются на 4 основные категории:

1 категория –насаждения ограниченного пользования (территории жилых районов и кварталов, территории микрорайонов, участки детских садов и яслей, участки школ, участки спортивных комплексов, участки учреждений здравоохранения, участки культурно-просветительных учреждений, участки высших, средних специальных учебных заведений, территория промпредприятий (придомовые));

2 категория - насаждения специального назначения (санитарно-защитные зоны, ботанические и зоологические сады, коммунально-складские территории, на-

саждения вдоль улиц, автомобильных дорог и т.п.);

3 категория - насаждения общего пользования (городские парки; районные парки; сады жилых районов, микрорайонные сады, скверы, бульвары, набережные, лесопарки (в пределах городской черты));

4 категория – стихийно развивающиеся зеленые насаждения (участки береговых склонов, долины малых рек, пустыри, заброшенные территории и т.д.).

Несмотря на то, что территории 4 категории формально не относятся к объектам озеленения, но активно используются местными жителями и в перспективе могут стать полноценными зелеными насаждениями, т.к. обладают высоким рекреационным потенциалом. Такие насаждения учитываются групповым способом, где выделяются биогруппы. В пределах биогруппы выделяются пробные площадки: линейные и прямоугольные.

Инвентаризация зеленых насаждений позволяет получать следующую информацию: границы и площади озелененных территорий, общее количество деревьев, площади, данные о состоянии зеленых насаждений и причинах их ухудшения.

Инвентаризация проводится в два этапа. На первом (полевом) этапе осуществляется натурное обследование зеленых насаждений, сбор данных об их характеристиках и состоянии. На втором этапе (камеральном) этапе данные инвентаризации интегрируются в базу данных о зеленых насаждениях г. Перми.

Качественное состояние насаждений определяется по следующим признакам:

1 – «хорошее» – растения здоровые с правильной, хорошо развитой кроной, без существенных повреждений;

2 – «удовлетворительное» – растения здоровые, но с неправильно развитой кроной, со значительными, но не угрожающими их жизни повреждениями, с дуплами и др.; кустарник без сорняков, но с наличием поросли;

3 – «неудовлетворительное» – древесной с слабо развитой кроной, со значительными повреждениями, с зараженностью болезнями или вредителями, угрожающими их жизни; кустарники с наличием поросли и отмерших частей.

Основным рабочим инструментом в ГИС является геоинформационная модель зеленых насаждений, при этом имеются следующие возможности:

- Проводить индивидуальную инвен-

таризацию (с определением координат) объектов озеленения города, благодаря использованию цифровых карт и планов различного масштаба;

- Создавать, обновлять и развивать базу семантической (атрибутивной) информации, содержащей детальные сведения о количественных и качественных характеристиках каждого отдельного объекта озеленения;

- на основании этой информации осуществлять оценку состояния объектов зеленых насаждений, выносить рекомендации по уходу за каждым конкретным объектом, документировать результаты оценки в базе данных.

Геоинформационная модель учета зеленых насаждений включает три составляющих:

- Блок картографической визуализации;
- Блок семантических данных;
- Блок нормативной документации.

Блок картографической визуализации представляет собой цифровую географическую основу переменного (от 1:500 до 1:100 000) масштаба, в дополнение к которой создаются цифровые тематические слои, отображающие пространственное размещение различных объектов озеленения. Картографические работы по созданию и ведению тематических слоев осуществляются в ГИС MapInfo; координаты объектов озеленения определяются с помощью GPS. Подобная методика позволяет проконтролировать размещение существующих зеленых насаждений и эффективно распланировать новые насаждения с высокой степенью детальности (вплоть до проектирования внутриквартального озеленения). Также моделирование городских насаждений средствами геоинформационного картографирования позволяет автоматизировать ряд операций по анализу данных: геометрические функции (расчеты площадей и др.), построение буферных зон вокруг любого объекта или группы объектов. Это значительно упрощает пространственное планирование мероприятий по коррекции существующих и проектированию перспективных зеленых зон.

Блок семантических данных содержит качественные и количественные харак-

теристики объектов озеленения, необходимые для инвентаризации зеленых насаждений. Это реестровый номер, видовое название, возраст растения, диаметр ствола, площадь, занятая групповым кустарником (живой изгородью), санитарно-экологическое состояние. Перечисленный набор может уточняться в зависимости от категории насаждения.

Блок нормативной документации включает в себя руководящие документы и справочные материалы, необходимые для ведения работ по городскому озеленению в соответствии с градостроительными нормами, а также с экологическим законодательством. Информация, визуализированная и проанализированная с применением ГИС, дает возможность объективно оценить текущее состояние зеленых насаждений и оптимизировать мероприятия по уходу за ними.

Вывод. К 2020 году уже получены результаты инвентаризации зеленых насаждений в нескольких районах города Перми. Определен видовой состав, возраст насаждений, санитарное состояние, а также составлена база данных со всем информационным атрибутом. Внедрение в сферу благоустройства и озеленения современных информационных технологий. Применение геоинформационных систем обеспечит систематизацию информации о состоянии зеленых насаждений в целом, площадях озеленения объектов, структуре насаждений. На сегодняшний день ГИС система разработана, но не обновляется и не дополняется новыми элементами. Также эта система обуславливает необходимость обучения специалистов, чтобы обеспечить дальнейшее развитие и обновление базы данных по зеленым насаждениям. Преимуществами таких баз данных является оперативность обработки информации, удобство ее использования (не только управлениями, но и административными районами города Перми), хранения и воспроизведения, что повышает эффективность управления зелеными насаждениями.

Реализация результатов инвентаризации и оценки зеленых насаждений в виде картографических моделей упростит публикацию схем озеленения в глобальной сети интернет, что обеспечит участие городской общественности в решении проблем озеленения территории города.

### Библиографический список

1. Андреев Д. Н., Крапивин А. Ю. Состав и структура информационной базы данных о зелёных насаждениях // Антропогенная трансформация природной среды: материалы междунар. науч. конф. (18–21 октября 2010 г.). Пермь: Перм. гос. ун-т, 2010. С. 22–27.
2. Кулакова С.А. Оценка состояния зеленых насаждений города // Географический вестник. 2012. №4 (23). С.59-66.
3. Кулакова С.А. Учет зеленых насаждений города Перми // Известия самарского научного центра РАН, 2014. №1-3. С. 200-203.
4. Морозова Г.Ю. Глухов В.А. Бабурин А.А. Геоинформационная система «Зеленые насаждения города Хабаровска» // Известия самарского научного центра РАН. 2011. №1 (6). С. 1367-1370.

УДК 595.421

Е.П. Самойлова<sup>1,2,3</sup>, Т.Н. Осипова<sup>3</sup>, lazyta@yandex.ru

<sup>1</sup>ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

#### ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КОЛИЧЕСТВО АКТИВНЫХ КЛЕЩЕЙ *IXODES PERSULCATUS* SCH. НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассматриваются долговременные изменения метеорологических показателей и их влияние на количество активных клещей *Ixodes persulcatus* на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области с помощью анализа трендов и закона редких событий.

*Ключевые слова:* *Ixodes persulcatus*, закон редких событий, биоклиматология

E. Samoylova<sup>1,2,3</sup>, T. Osipova<sup>3</sup>, lazyta@yandex.ru

<sup>1</sup>FGBU "Main geophysical observatory of A. I. Voeikov", Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Saint-Petersburg state university, Saint Petersburg, Russia

#### LONG-TERM CHANGES OF METEOROLOGICAL INDICATORS AND THEIR IMPACT ON THE NUMBER OF ACTIVE TICKS *IXODES PERSULCATUS* SCH. ON THE TERRITORY OF ST. PETERSBURG AND LENINGRAD REGION

The article deals with long-term changes in meteorological indicators and their impact on the number of active ticks *Ixodes persulcatus* on the territory of St. Petersburg and Leningrad region by analyzing trends and the law of rare events.

*Keywords:* *Ixodes persulcatus*, law of rare events, bioclimatology

Выявление влияния климатических факторов на количество активных клещей *Ixodes persulcatus* актуальная проблема, так как данный вид клещей является переносчиком опасных трансмиссивных заболеваний, таких как клещевой энцефалит (КЭ) и клещевые боррелиозы. Данные болезни могут передаваться от клеща к клещу трансфазово, от клеща к прокормителю, от прокормителя к человеку, от клеща к человеку непосредственно. Поскольку

на территории России современная эпидемиологическая обстановка изменяется в сторону увеличения заболеваемости природно-очаговыми инфекциями, большой интерес представляет вопрос о причинах таких изменений. Многие авторы склонны связывать рост заболеваемости с современными изменениями климата, о чем свидетельствует множество научных публикаций, посвященных данному вопросу [2; 5; 6]. Результаты многочисленных ис-

следований иногда противоречивы, а мнения авторов значительно различаются.

Административные районы Санкт-Петербурга и большая часть территории Ленинградской области являются эндемичными по клещевым инфекциям, и число инфицированных энцефалитом или боррелиозом клещей меняется от года к году. Но только ли изменения климата являются тому причиной. Проблема гораздо шире, чем кажется на первый взгляд, и затрагивает процессы разного масштаба: от микроклиматических изменений в пределах биотопа до мезомасштабных в пределах изучаемого региона.

Оценка влияния такого абиотического фактора как климат важна для понимания характера распространения иксодовых клещей в целом и функционирования отдельных клещевых биотопов в частности.

В работе были использованы данные сборов клещей на территории Санкт-Петербурга за период 1980-2012 гг., данные сборов на территории стационара, расположенного в Лисьем Носу за период 1992-2011 гг. Все данные предоставлены санитарно-эпидемиологической службой Санкт-Петербурга.

За относительный показатель обилия клещей взято среднее количество особей на 1 участок в час. На луговых участках с высокой травой, в лесу клещей собирают на флаг из однотонной светлой ворсистой ткани (вафельной, фланелевой) размером 60x100 см [1] или 40x80 см [3]. Материю прикрепляют узкой стороной к палке (лучше из липы) длиной 125-150 см. Флагом, не допуская его скручивания, приглаживают травяную или кустарниковую растительность, или протаскивают его по почве (в начале сезона) справа или слева от себя (но не сзади). При другом варианте этого метода вафельное полотенце или полотенце прикрепляют к двум палкам. Двигая по растительности вперед и назад, таким флагом собирают больше клещей, чем обычным [4].

За сезон принимался период времени от выхода клещей после зимнего анабиоза (с появлением проталин) до их ухода в летнюю диапаузу, то есть в зависимости от года с марта/апреля до начала июля.

Ежедневные метеорологические характеристики для станции Санкт-Петербург за период 1881-2016 гг. были выбраны из базы ВНИИГМИ-МЦД.

Метеорологические показатели по-разному влияют на выживаемость клещей и их активность в зависимости от

биологической фазы развития. Поэтому все метеорологические факторы были условно разделены на три группы:

1. Лимитирующие факторы, определяющие в большей степени выживаемость клещей.

2. Факторы, влияющие на сезонную активность клещей в весенне-летний период.

3. Факторы, являющиеся как лимитирующими, так и влияющими на сезонную активность клещей:

Таким образом, был определен 31 метеорологический показатель.

Для выявления связей были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона между всеми метеорологическими факторами, а также между количеством активных клещей по сборам на территории Санкт-Петербурга и сборам на территории стационара в Лисьем Носу и факторами. Для количества активных клещей по сборам на территории Санкт-Петербурга и сборам на территории стационара в Лисьем Носу и метеорологических факторов были рассчитаны и коэффициенты кросс-корреляции с лагами 1 и 2 года. Сдвиг на 1 и 2 года объясняется тем, что в Ленинградской области клещ развивается в течение 3 лет, переходя каждый год на новую стадию развития. Стоит отметить, что на каждой стадии развития на клеща может влиять свой набор метеорологических факторов. В результате анализа было выбрано 10 метеорологических факторов, которые имеют значимую связь со средним количеством активных клещей на 1 участок в час.

Наибольшая связь выявлена между суммами температур воздуха выше +10,0°C за год и количеством активных клещей, ср./уч.час (стационар) с лагом два года (-0,73), между числом дней со среднесуточным количеством осадков выше 5 мм за сезон и количеством активных клещей, ср./уч.час (сборы) с лагом один год (-0,56) и между числом дней с температурами воздуха ниже 0,0°C и количеством активных клещей, ср./уч.час (стационар) с лагом один год (-0,51).

Несмотря на незначительные корреляционные связи количества клещей и метеопоказателей, долговременные климатические изменения могут сказываться как на длительности сезонов передачи трансмиссивных болезней, так и на условиях обитания их переносчиков. Для того, чтобы определить, насколько быстро изменяются метеопоказатели и каковы значения

этих изменений для каждого метеорологического показателя и для количества клещей были построены и рассчитаны тренды. Тренды были построены для двух периодов: за весь срок инструментальных наблюдений в Санкт-Петербурге (с 1881 года по 2018 год) и за последние 39 лет (с 1978 года по 2018 год). Произведена оценка значимости трендов с помощью критерия Стьюдента. Анализ трендов показал, что метеорологические показатели изменяются незначительно или не изменяются совсем для обоих периодов. Наблюдается тенденция к росту, например, сумм температур воздуха выше  $+5,0^{\circ}\text{C}$  за год, и к уменьшению – число дней с температурами воздуха ниже  $0,0^{\circ}\text{C}$ . Все 62 тренда незначимы.

Стоит отметить, что количество активных клещей меняется от года к году, наблюдается тенденция к их уменьшению, как видно из рис. 1. Подобная тенденция может объясняться не только влиянием метеорологических факторов, но и сокращением количества прокормителей в результате антропогенного воздействия, а также методикой сбора.

Существует гипотеза о том, что долговременное изменение метеорологических показателей не может привести к увели-

чению количества активных клещей, так как это количество, как и все в природе, находится в балансе: сокращение количества клещей полученных из каждой отдельно взятой кладки к концу их жизненного цикла нивелируется большим количеством яиц, которое откладывает каждая отдельно взятая самка. В связи с этим, как аксиома, берется понятие о том, что баланс клещевой системы нарушается под воздействием экстремальных для клещей редких метеорологических факторов.

Поскольку нет достаточно длинного ряда данных количества активных клещей, а появление экстремальных метеорологических факторов настолько редко, что невозможно оценить их влияние, рассчитаны вероятности появления редких лимитирующих метеорологических факторов. Выбраны три особо опасных для клещей метеорологических показателя: показатель засухи (длина ряда с 1881 года по 2018 год), число дней от даты устойчивого перехода температуры воздуха через  $+5,0^{\circ}\text{C}$  весной до первого заморозка (длина ряда с 1966 года по 2018 год) и число дней с температурами воздуха ниже  $-10,0^{\circ}\text{C}$  без снежного покрова (длина ряда с 1934 года по 2018 год). Расчет произведен с помощью закона редких событий (модель Пуассона).

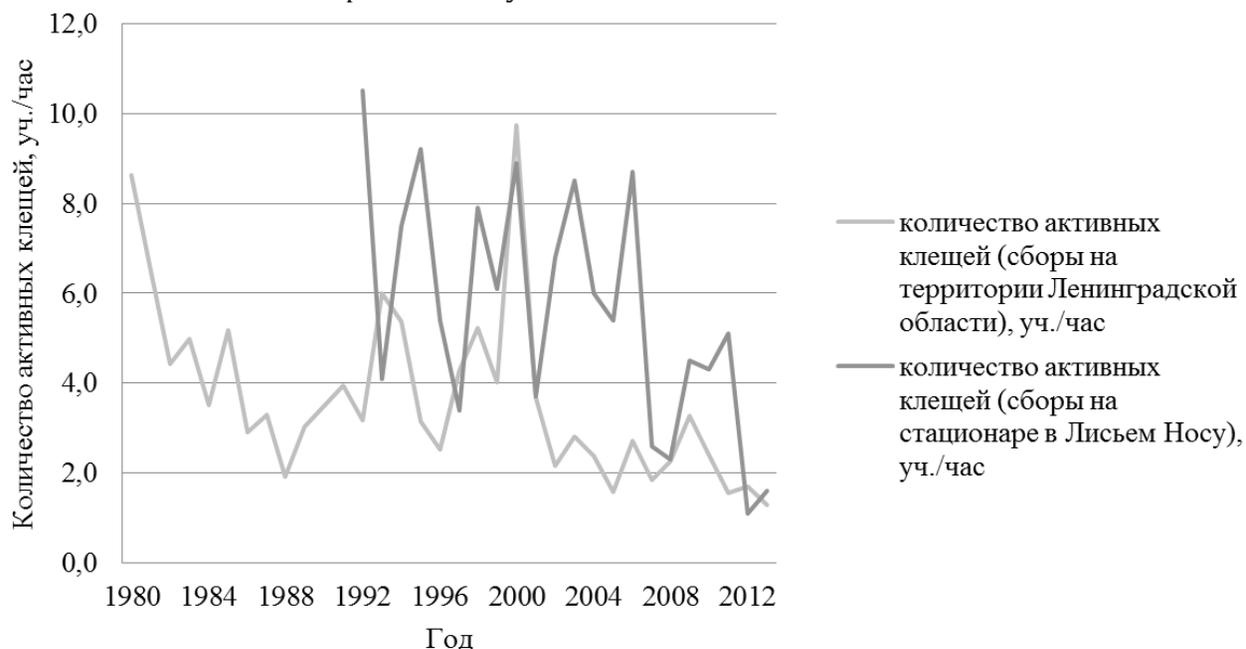


Рис. 1. Изменение количества активных клещей от года к году по сборам на территории Ленинградской области (1980-2013 гг.) и на стационаре в Лисьем Носу (1992-2013 гг.)

Закон редких событий обычно моделирует случайную величину, представляющую собой число событий, произошедших за фиксированное время, при условии, что данные события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью

и независимо друг от друга. Расчет произведен по формуле:

$$P_t(k) = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!},$$

где  $\lambda$  – математическое ожидание,

$k$  – число событий, произошедшее за время  $t$ .

Из таблицы 1 видно, что вероятности появления всех трех редких лимитирующих факторов равны 0. Это подтверждает гипотезу о том, что клещевая система была стабильной и останется таковою на долгие годы, то есть, если количество клещей и уменьшится в результате появления какого-либо из редких явлений, то популяция быстро будет восстановлена.

Анализ многолетних изменений метеорологических характеристик позволяет сделать вывод о том, что за весь срок инструментальных наблюдений в Санкт-Петербурге (с 1881 года по 2018 год) и за последний 41 год (с 1978 года по 2018 год), не

выявлено статистически значимых трендов. Однако на фоне этих незначительных изменений, т.е. в относительно стабильных климатических условиях, происходит уменьшение количества активных клещей от года к году.

Несмотря на то, что выявленные долговременные изменения метеорологических показателей не могут привести к увеличению количества активных клещей, баланс клещевой системы может быть нарушен под воздействием экстремальных для клещей редких метеорологических факторов. Расчеты показали, что вероятности появления редких лимитирующих метеорологических событий равны 0, что в свою очередь не приведет к уменьшению количества клещей.

Таблица 1. Вероятности появления редких лимитирующих метеорологических факторов

Параметры	Показатель засухи	Число дней от даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5,0 С весной до первого заморозка	Число дней с температурой воздуха ниже -10,0 С без снега
Временной отрезок ( $t$ )	136	51	83
Математическое ожидание ( $\lambda$ )	1,3	1,4	0,1
Частота события ( $k$ )	7	1	3
Вероятность редкого явления ( $P(k)$ )	0,000	0,000	0,004

Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ № 18-04-00075.

### Библиографический список

1. Временные методические указания по работе в очагах клещевого энцефалита. Изд. Министерства здравоохранения РСФСР. М., 1960. Доступ из справ.-правовой системы «ТехЭксперт».
2. Коренберг Э.И. Биохронологическая структура вида. М., 1979. 172 с.
3. Павловский Е.Н. (ред.). Лабораторный практикум медицинской паразитологии. М.: Л., 1959. 494 с.
4. Петрищева П.А., Олсуфьев Н.Г. (ред.). Методы изучения природных очагов болезней человека. М., 1964, 308 с.
5. Estrada-Peña A., Gray J.S., Kahl O., Lane R.S. and Nijhof A.M. Research on the ecology of ticks and tick-borne pathogens — methodological principles and caveats. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. August 2013. Vol 3, Art. 29
6. Greenfield B.P.J. Environmental parameters affecting tick (*Ixodes ricinus*) distribution during the summer season in Richmond Park, London // *Bioscience Horizons*, Volume 0, Number 0, 2011.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ХРЕБТА БАСЕГИ**

Метод интерполяции простым кригингом (SK) показал удовлетворительные результаты для прогнозирования пространственного распределения органического вещества в горных почвах. Однако, SK не учитывает неровности рельефа (внешний фактор), что возможно снижает точность и эффективность использования простого кригинга в условиях, где рельеф является ведущим фактором почвообразования.

*Ключевые слова:* почвы, кригинг, органическое вещество, интерполяция, прогноз.

I. Samofalova, samofalovairaida@mail.ru

*Perm State Agrarian and Technological University, Perm, Russia*

## **USE OF GEOSTATISTIC INSTRUMENTS IN THE PROCESS OF SPATIAL ANALYSIS ORGANIC CARBON CONTENT IN SOILS OF THE BASEGI RIDGE**

Simple kriging (SK) interpolation has shown satisfactory results for predicting the spatial distribution of organic matter in mountain soils. However, SK does not take into account the unevenness of the terrain (external factor), which possibly reduces the accuracy and efficiency of using simple kriging in conditions where the terrain is the leading factor in soil formation.

*Keywords:* soil, kriging, organic matter, interpolation, forecast

В конце 90-х гг. в ряде заповедников и национальных парках России начали внедряться геоинформационные системы, обладающие широкими возможностями. Так, в некоторых ООПТ с помощью ГИС решают задачи создания условий для регулируемого туризма и отдыха, предоставления справочной информации о территории и инфраструктуре ООПТ, зонирования ООПТ, обработки и анализа данных мониторинга с целью оценки экологического состояния территории и разработки природоохранных мероприятий, создания и ведения экологических баз данных, моделирования и прогнозирования экологических ситуаций, анализа данных о благоустройстве различных участков ООПТ, проектирования ООПТ [5, 6, 8]. ГИС позволяют строить и использовать цифровые модели рельефа и пространственные модели местности для изучения природных экосистем и агроландшафтов [2-4, 10]. В целом природоохранные ГИС решают задачи инвентаризации и мониторинга, оценки и прогноза, планирования и управления.

Проведение почвенно-экологического мониторинга в ООПТ предполагает определение, и контроль за изменением ряда свойств почв. Одним из важных и глав-

ных качественных характеристик почвы является содержание органического вещества/гумуса, который используется в экологическом моделировании и прогнозировании состояния окружающей среды. Процесс гумификации является сложным био-физико-химическим процессом. Процесс гумификации является глобальным процессом на планете [12, 15, 22, 24], который протекает и в самых экстремальных условиях. Знание пространственной структуры содержания гумуса и выявление их характеристик может стать базой для разработки эффективного управления окружающей средой. Таким образом, необходимо иметь адекватную информацию о пространственно-временном поведении содержания гумуса в пределах территорий разного уровня: локального, регионального, и природно-территориальных комплексов.

Для решения этого вопроса используют различные методы. Методы классической статистики не позволяют определить пространственное распределение содержания гумуса в местах с отсутствием данных показателя. Для изучения пространственного распределения свойств почвы более эффективна использование геостатистики [11, 15, 20]. Геопространственные

методы, сравнение их эффективности при оценке пространственной связи свойств почв и их географической изменчивости используют многие исследователи [12-19, 21-24]. Цель исследования – определить эффективность метода интерполяции простого кригинга (SK) для прогнозирования пространственного распределения гумуса в почвах хребта Басеги (Средний Урал).

**Объекты и методы.** Для оценки пространственной неоднородности содержания гумуса почвы был использован геостатистический метод Simple Kriging, исследование данных и интерполяция проведены средствами модуля Geostatistical Analyst программы ArcGIS 10.1 [9]. Для анализа использованы данные автора о содержании гумуса, выполненные в Пермском ГАТУ. Изучены почвенные профили в бассейне р. Малый Басег в разных экотонах высотных ландшафтов: горная тундра, криволесье, луговые поляны, болотный массив, предгорный парковый лес, горная тайга (315-945 м н.у.м.). Площадь обследованной территории составляет 171,06 км<sup>2</sup>. Почвы отличаются разной мощностью напочвенного покрова, представленного органоминеральными (ОМ) и органогенными (О) горизонтами. В связи с этим, содержание органического углерода в ОМ горизонтах определяли методом Тюрина в модификации Антоновой [1], а в органогенных – по потерям при прокаливании. Геостатистический анализ проведен в несколько этапов: исследование данных; интерполяция экспериментальных данных, определение ошибки прогноза.

**Результаты исследования.** Пространственное распределение содержания гумуса в почвах характеризуется большим разбросом значений: от < 1,0 до > 90 %. Среднеарифметическое содержание признака (24,2 %) и медианное значение (7,8%) не совпадают, что указывает на то, что выборка (n = 55) не подчиняется закону нормального распределения, которое в данном случае имеет правую асимметрию (рис. 1).

Большой размах варьирования значений признака может быть результатом: пространственных изменений почвенных свойств; несовершенства знаний о связях между условиями окружающей среды и содержанием гумуса; ограничения данных для представления мелкомасштабной вариативности почвенных свойств. Так как данные не соответствуют нормальному распределению, то для дальнейшей обработки методом Simple Kriging требуются

проведение их трансформации по методу нормальных меток (оптимизация кривой под значения данных, (Normal score transformation) (NST).

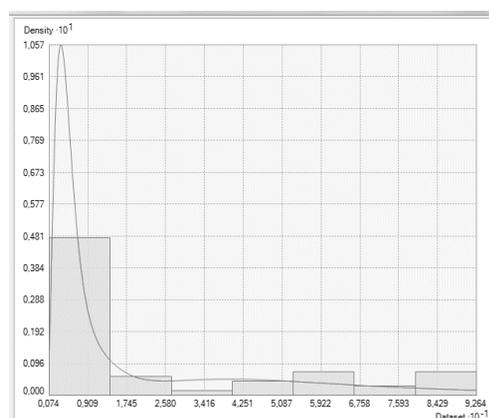


Рис. 1. Гистограмма относительных частот содержания гумуса в горных почвах

По результатам исследований входных данных содержания гумуса выявлены четкие тренды U-образной формы (рис. 2), поэтому, перед интерполяцией был удален тренд второго порядка (зеленая линия направление запад-запад, синяя линия направление север-юг). На обследуемой территории содержание гумуса обладает пространственной зависимостью, так как средние значения точек кривой вариограммы не образуют прямую линию (рис. 3). Оптимальная модель вариограммы подобрана автоматически при помощи функции «Оптимизация вариограммы» модуля Geostatistical Analyst.

Оценка точности интерполяции данных проводилась методом перекрестной проверки, по результатам которой установлено, что средняя ошибка прогнозирования близка к нулю (ME = -0,43) и указывает, что модель несмещенная. Это свидетельствует о надежности результатов интерполяции [7] для дальнейшего картографирования содержания гумуса в почвах. Нормированная версия ошибки среднего (Mean standardized) близка к нулю (-0,012), что также доказывает на отсутствие смещения модели. Квадратный корень среднеквадратичной ошибки (Root-mean-square) показывает, что прогнозируемые значения могут отличаться от измеренных не более, чем на 24,87 %, что соответствует удовлетворительной точности прогнозирования. Нормированная версия среднеквадратичной ошибки (Root-mean-square standardized) определяет корректность вычисления стандартных ошибок прогнозирования, которая

должна быть близка 1 (1,085). Полученное значение указывает на некоторую неточность. Стандартные ошибки вычислены достаточно точно, так как среднее значе-

ние стандартных ошибок в исходных точечных местоположениях является близким к среднеквадратичной погрешности (1,568).

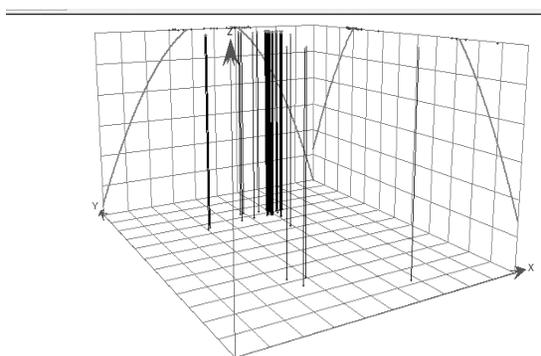


Рис. 2. Тренд пространственного распределения гумуса

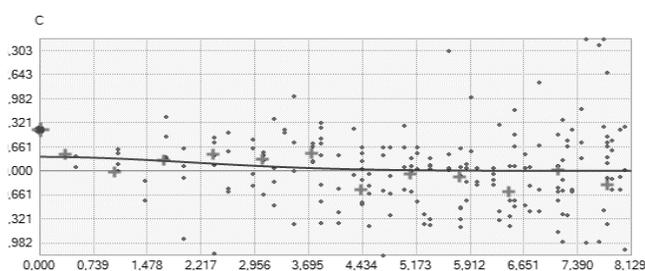


Рис. 3. Вариограммы содержания гумуса

**Заключение.** Метод интерполяции простого кригинга для оценки пространственного распределения гумуса в горных почвах дает удовлетворительные результаты. Данный метод не учитывает неровности рельефа (внешний фактор), что возможно снижает точность и эффективность использования простого кригинга для прогнозирования пространственного

распределения свойств в горных почвах. Необходимо оценить пригодность применения иных современных подходов к моделированию пространственного распределения органического вещества почв: ОК (ординарный кригинг), ВК (байесовский кригинг), IDW (метод обратных взвешенных расстояний), РК (регрессионный кригинг), СОК (кокригинг).

### Библиографический список

1. Антонова, З.П., Скалабан В.Д., Сучилкина Л.Г. Определение содержания в почвах гумуса // Почвоведение. 1984. № 11. С. 130-133.
2. Бахарев П.Н., Семенов В.В., Андреев Д.Н. Геоинформационная база данных территории заповедника «Вишерский» // Географический вестник = Geographical bulletin. 2015. №2(33). С. 56-62. DOI 10.17072/2079-7877-2015-2-56-62.
3. Калюжная И.Ю., Калюжная Н.С., Леумменс Х.Дж.Л. Опыт использования картографических методов и ГИС в проектировании биосферного резервата «Эльтонский» // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Мат-ы Межд. конф. М.: Издательство МГУ, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 337-351. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-337-351.
4. Мудрых Н.М., Яшина И.А. Геоинформационные технологии в агрохимическом мониторинге земель сельскохозяйственного назначения / В сборнике: Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. Пермский гос. нац. исслед. университет, ГИС-центр ПГНИУ. Пермь, 2015. Выпуск 8. С. 72-75. ISBN 978-5-7944-2608-3 (вып. 8).
5. Отбоева С.Д., Жалсараева Е.А. Особенности применения геоинформационных систем при экоаудите особо охраняемых природных территорий // Российское предпринимательство. 2016. Т. 17. № 15. С. 1807-1816. DOI: 10.18334/гр.17.15.36404.
6. Самофалова И.А. Геопространственное моделирование физико-химических свойств горных почв (Северный Урал, заповедник «Вишерский») // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 2 (18). С. 35-41.
7. Самофалова И.А., Микайылсой Ф.Д., Мудрых Н.М. Обзор критериев оценки адекватности эмпирических моделей // Материалы Всерос. научно-практ. конф. с межд. уч. «Агротехнологии XXI века», посвященной 100-летию высшего аграрного образования на Урале. МСХ РФ, ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ им. акад. Д. Н. Прянишникова. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2019. Ч. 1. С. 30-35.

8. Самофалова И.А., Шутов П.С. Использование ГИС-технологий для пространственной дифференциации геосистем на территории заповедника «Басеги» // В сборнике: Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Сборник научных трудов. Пермский гос. нац. исслед. университет, ГИС-центр ПГНИУ. Пермь, 2015. Выпуск 8. С. 112-120.
9. Упражнение 2. Исследование данных / справка ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс] <http://desktop.arcgis.com> (14.12.2019).
10. Чащин А.Н., Кондратьева М.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозарастания угольных отвалов Кизеловского бассейна // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №2(49). С. 135–147. DOI 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147.
11. Behera S.K., Shukla A.K. Spatial distribution of surface soil acidity, electrical Conductivity, soil organic carbon content and exchangeable Potassium, calcium and magnesium in some cropped acid Soils of India // Land Degrad. Dev. 2015. Vol. 16. P. 71–79.
12. Gouri S.B., Gouri S.B., Shit P.K., Maiti R. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC) // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2016. Vol. 2. P. 1–13.
13. Homann P.S., Sollins P., Chappell H.N., Stangenberger A.G. Soil organic carbon in a mountainous, forested region: relation to site characteristics // Soil Sci. Soc. Am. J. 1995. V. 59. P. 1468–1475.
14. Hussain I., Shakeel M., Faisal M. [and all] Distribution of total dissolved solids in drinking water by means of Bayesian kriging and gaussian spatial predictive process water quality // Expos. Health. 2014. Vol. 6. P. 177–185.
15. Liu L., Wang H., Dai W. [and all] Spatial variability of soil organic carbon in the forestlands of northeast China // J. Forest. Res. 2014. Vol. 25 (4). P. 867–876.
16. Mirzaei R., Sakizadeh M. Comparison of interpolation methods for the estimation of groundwater contamination in Andimeshk–Shush Plain Southwest of Iran // Environ. Sci. Pollut. Res. 2015. Vol. 24. P. 1-12.
17. Moskalenko, A.A. Justification of geoinformation system on land soils quality monitoring // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. 2012. № 3–4. С. 108–112.
18. Pang S., Li T.X., Zhang X.F. [and all] Spatial variability of cropland lead and its influencing factors: a case study in Shuangliu county, Sichuan province, China // Geoderma. 2011. Vol. 162. P. 223–230.
19. Robinson T.P., Metternicht G.M. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties // Comput. Electron. Agric. 2006. Vol. 50. P. 97–108.
20. Saito H., McKenna A., Zimmerman D.A., Coburn T.C. Geostatistical interpolation of object counts collected from multiple strip transects: ordinary kriging versus finite domain kriging // Stoch. Environ. Res. Risk Assess. 2005. Vol. 19. P. 71–85.
21. Samsonova, V.P., Blagoveshchenskii Y.N., Meshalkina Y.L. Use of empirical bayesian kriging for revealing heterogeneities in the distribution of organic carbon on agricultural lands // Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. №3. P. 305–311.
22. Wei J.B., Xiao D.N., Zeng H., Fu Y.K. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China // Environ. Geol. 2008. Vol. 53. P. 1663–1672.
23. Zare-mehrjardi M., Taghizadeh-Mehrjardi R., Akbarzadeh A. Evaluation of geostatistical techniques for mapping spatial distribution of soil PH, salinity and plant cover affected by environmental factors in Southern Iran // Not. Sci. Biol. 2010. Vol. 2 (4). P. 92–103.
24. Zhang W., Wang K.L., Chen H.S. [and all] Ancillary information improves kriging on soil organic carbon data for a typical karst peak cluster depression landscape // J. Sci. Food Agric. 2012. Vol. 92. P. 1094–1102.

УДК 575.76 (470.53-751.2)

П.Ю. Санников<sup>1</sup>, В.О. Козьминых<sup>1,2</sup>, sol1430@gmail.com<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия<sup>2</sup>Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Пермь, Россия

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ИЗУЧЕННОСТИ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ НАСЕКОМЫХ (INSECTA: COLEOPTERA) ЗАПОВЕДНИКА «БАСЕГИ»

Составлена геоинформационная база данных по результатам исследований фауны жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera) заповедника «Басеги», начиная с 1982 г. Отмечено разнообразие обследованных экосистем заповедника с учётом хронологии.

*Ключевые слова:* геоинформационные данные, жесткокрылые насекомые, Insecta, Coleoptera, заповедник «Басеги», экосистемы.

P. Sannikov<sup>1</sup>, V. Kozminykh<sup>1,2</sup>, sol1430@gmail.com<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia<sup>2</sup>Perm State Humanitarian Pedagogical University, Perm, Russia

## GEOINFORMATIONAL EVALUATION OF KNOWLEDGE FOR BEETLES (INSECTA: COLEOPTERA) AT THE «BASEGI» RESERVE

The geoinformational database on results of investigation of the fauna for beetles (Insecta, Coleoptera) of the Nature Reserve «Basegi» since 1982 is compiled. Diversity of ecosystems, studied at the «Basegi» Reserve in chronological aspect, is pointed out.

*Keywords:* geoinformational data, beetles, Insecta, Coleoptera, «Basegi» Reserve, ecosystems.

**Актуальность работы.** В течение почти четырёх десятилетий проводились эколого-фаунистические исследования беспозвоночных животных на территории заповедника «Басеги», по основным итогам опубликованы статьи [10, 11]. В настоящее время массив обработанных сведений детально анализируется, составлены базы количественных данных и формируются геоинформационные слои с подробными и наглядными результатами.

**Описание исходных данных и их обработка.** Изученность жесткокрылых насекомых заповедника «Басеги» охарактеризована по оригинальным научным публикациям, посвящённым соответствующей тематике. Всего проанализировано 84 источника, полный список которых приводится в работе [11]. Библиографический список в настоящем сообщении для краткости включает лишь основные публикации некоторых авторов: А. Г. Воронина [1–3], С. Л. Есюнина [3, 4, 8, 12], А. В. Козырева [4, 6–8], В. О. Козьминых [4, 8–12], Г. И. Юферева [12], а также дополнительные материалы инвентаризации флоры заповедника «Басеги» [5].

Обработка сведений, приведённых в этих статьях, позволила создать геоинформационную базу данных исследований жесткокрылых заповедника. В дальнейшем все места работы были объединены по участкам: Северный Басег (с делени-

ем на 5 подрайонов: вершина и северный склон, восточный склон, южный склон, восточное подножье, южное подножье), межгорная котловина (между Северным и Средним Басегом), Средний Басег, а также 3 точечных обособленных участка (кордон «Коростелёвка» (юго-восток охранной зоны), грунтовая дорога (соединяющая пост охраны и домик научных сотрудников), сфагновые болота (к югу от поста охраны (13-й кордон) заповедника).

В результате создана геоинформационная база, включающая 3 блока:

Сведения об изученности Coleoptera. Точечный слой мест проведения обследований (97 точек), включает сведения о датах обследования, числе выявленных семейств жесткокрылых, кем материал собран и определён, краткую ссылку на научную публикацию, пространственную привязку к топографическим объектам и экосистемам. Полигональный слой районов (участков) работ (всего 10 районов) содержит информацию о: названии района, продолжительности обследований фауны и населения жуков на основных типах экосистем, а также по годам, числе выявленных семейств Coleoptera.

Сопутствующие общегеографические и тематические данные. Фрагменты топографических карт и космических снимков, векторные границы заповедника и его

охранной зоны, лесные кварталы, дороги, фрагменты растровых изображений с данными о лесном покрове (лесопокровная зона и потери за период 2001-2017 гг.) проекта Global Forest Change, векторный слой последствий стихийных явлений в лесах Прикамья по материалам многолетних наблюдений за 2001-2016 гг.

Авторские (самостоятельно созданные) слои. Деление заповедника по основным типам экосистем, речная сеть, посты охраны (кордоны), дом научных сотрудников. Сводные данные обо всех районах работ, изученных экосистемах, хронологии исследований и авторов сборов приводятся в таблице 1, а также на рисунках 1 и 2.

Таблица 1. Краткая информация об изученности Coleoptera заповедника «Басеги»

№	Районы обследований	Обследованные экосистемы	Годы обследования	Прод-ть обслед., мес.	Кол-во выявл. сем. Coleoptera	Авторы сборов
I	Вершина и северный склон Северного Басега	Горные тундры, криво-лесье, луга	1984-1986, 1990	68	16	Есюнин С.Л., Гридина Т.И., Дурманов П.В., Воронин А.Г.
II	Восточный склон Северного Басега	Горные тундры	1984-1986, 1990	19	5	Есюнин С.Л., Гридина Т.И., Воронин А.Г.
III	Южный склон Северного Басега	Горные тундры, луга, тайга, вторичные леса, криво-лесье, курумники	1982, 1984-1986, 1990, 2008	65	14	Есюнин С.Л., Дурманов П.В., Воронин А.Г., Санников П.Ю.
IV	Восточное подножье Северного Басега	Луга	1984-1986, 1990	11	8	Есюнин С.Л., Дурманов П.В.
V	Южное подножье Северного Басега	Луга, околоводные сообщества	1982, 1984-1986, 1990, 2008, 2016	20	13	Есюнин С.Л., Воронин А.Г., Санников П.Ю., Митрохин В.О.
VI	Межгорная котловина между Северным и Средним Басегом	Тайга, околоводные сообщества	1982, 1984-1986, 1990	33	7	Есюнин С.Л., Дурманов П.В., Воронин А.Г.
VII	Средний Басег	Криво-лесье, горные тундры, околоводные сообщества	1982, 1984-1986, 1990	14	6	Есюнин С.Л., Воронин А.Г.
VIII	Грунтовая дорога	Грунтовые дороги и тропинки, лужи	1982, 1990	3	1	Есюнин С.Л., Воронин А.Г.
IX	Кордон «Коростелёвка» (юго-восток охранной зоны)	Луга	2014	1	1	Лоскутова Н.М.
X	Сфагновые болота (южнее 13-го кордона заповедника)	Сфагновые болота	1984-1986, 1990	8	6	Есюнин С.Л.

**Сводные данные.** Годы изучения: 1982, 1984-1986, 1990, 2008, 2014, 2016; Общая продолжительность обследований: 242 мес.; Выявлено семейств Coleoptera: 24; Авторы сборов: Есюнин С.Л., Гридина Т.И., Дурманов П.В., Воронин А.Г., Санников П.Ю., Митрохин В.О., Лоскутова Н.М.

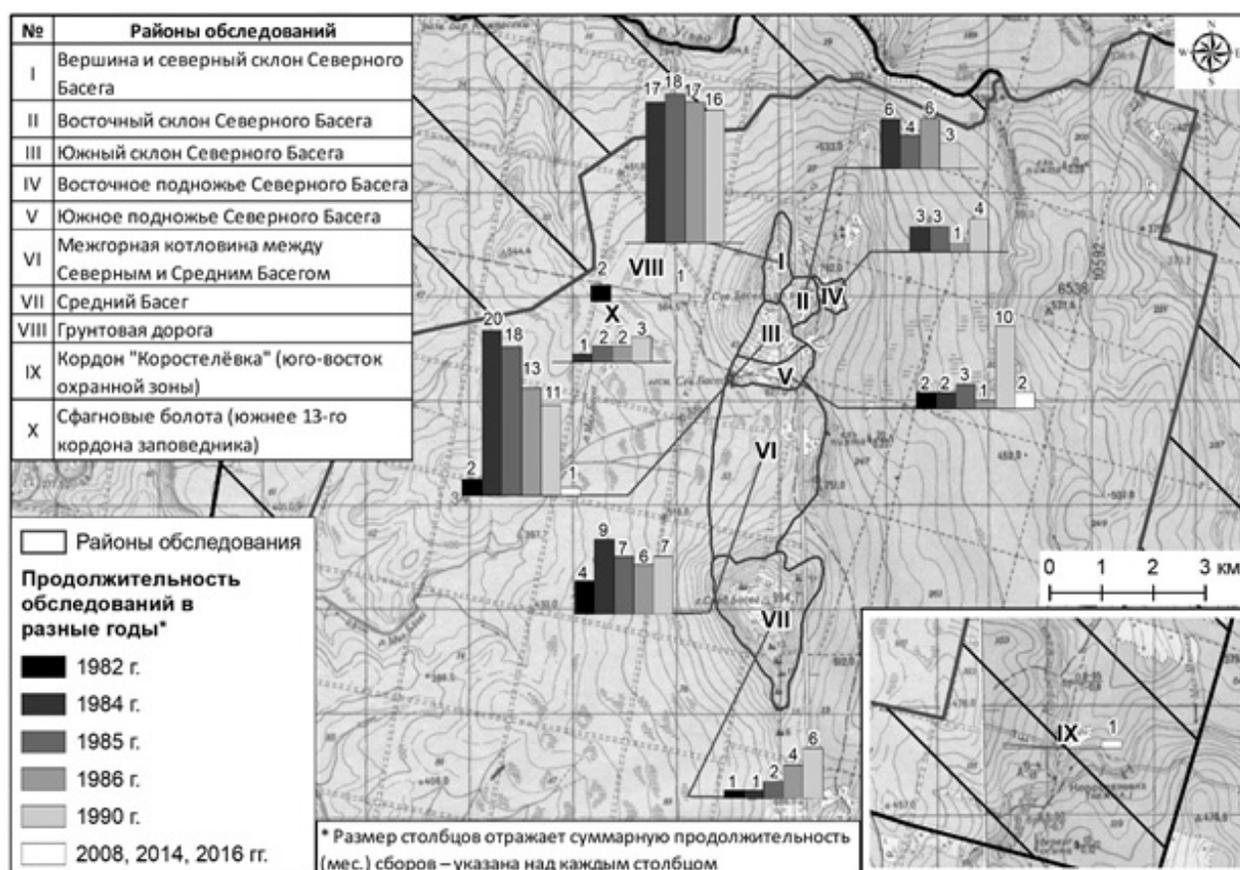


Рис.1. Изученность жуков заповедника «Басеги»: хронология

**Результаты.** Наиболее подробно изученным (по фауне Coleoptera) географическим объектом заповедника следует считать Северный Басег со склонами и подножьем. В значительно меньшей степени обследовано пространство между Северным и Средним Басегом, собственно Средний Басег, а также сфагновые болота (южнее 13-го кордона). Сборы беспозвоночных на других участках (дороги и тропы заповедника, а также юго-восток охранной зоны – кордон «Коростелёвка») следует характеризовать как единичные. Население жуков большей части территории заповедника (в том числе, хребта Южные Басеги и скальной гряды «Басежата») фактически остаётся не исследованным.

Основные хронологические этапы обследования жуков: 1982 г. – комплексное

изучение территории при подготовке проекта организации заповедника; 1984-1986, 1990 гг. – этап активных исследовательских работ (более 90% от общего объёма за всю историю) первого десятилетия после создания заповедника; 2008, 2014, 2016 гг. – единичные находки беспозвоночных в ходе краткосрочных обследований последних лет (рис. 1).

Наибольший объём исследований Coleoptera приходится на экосистемы горных тундр, криволесья, тайги, луговых сообществ (рис. 2). Значительно меньший объём работ проводился в сообществах верховых болот, каменистых россыпей, вторичных лесов и на околородных участках. Население Coleoptera облесённых болот и заболоченных лесов не изучено.

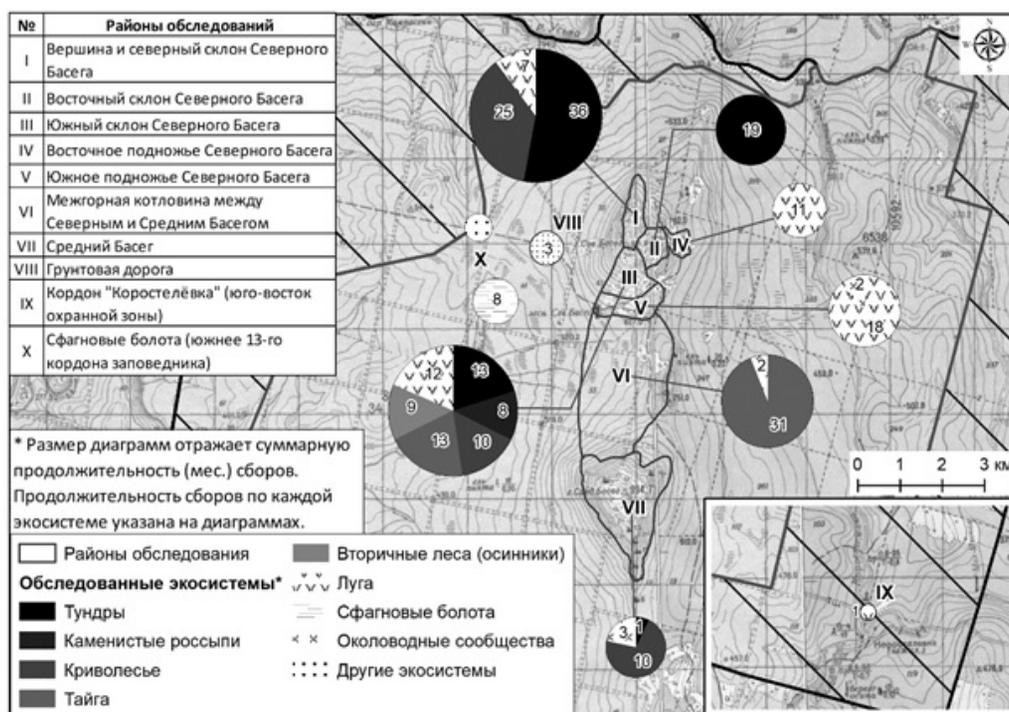


Рис. 2. Изученность жуков заповедника «Басеги»: разнообразие экосистем

Анализ фондовых данных и создание первичной геоинформационной базы проведено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-05-31262.

### Библиографический список

1. Воронин А. Г. Локальные фауны жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Пермского края: географические аспекты изученности // Географич. вестн. Пермь, 2006. Вып. 2 (4). С. 135–142.
2. Воронин А. Г. Фауна и комплексы жужелиц (Coleoptera, Trachypachidae, Carabidae) лесной зоны Среднего Урала (эколого-зоогеографический анализ). Пермь, 1999. 244 с.
3. Воронин А. Г., Есюнин С. Л. Ландшафтно-географические группы жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Среднего Урала // Географич. вестн. 2006. Вып. 1(3). С. 141–144.
4. Есюнин С. Л., Козьминых В. О., Козырев А. В. Жесткокрылые (Insecta, Coleoptera) Пермской области. 10. Материалы к фауне жесткокрылых заповедника «Басеги»: список видов по семействам // Пермь, 1995. 20 с. – Деп. в научно-исследовательской лаборатории «Денаст», Минск, Беларусь 02.03.95, № 464.
5. Зенкова Н. А., Леушина Н. Р. Конспект флоры заповедника «Басеги» // Природа Басег: труды ГПЗ «Басеги». Соликамск, 2015. Вып. 4. С. 113–168.
6. Козырев А. В. Жуки-жужелицы (Coleoptera, Carabidae) Свердловской области. Свердловск, 1993. 180 с. (Рукопись, деп. в ОНП НПЭЦ «Верас-Эко» и ИЗ АН Беларуси 8 февраля 1993, № 214).
7. Козырев А. В. Итоги изучения жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Урала и сопредельных территорий // Успехи энтомологии на Урале. Екатеринбург, 1997. С. 44–50.
8. Козырев А. В., Есюнин С. Л., Гридина Т. И., Козьминых В. О. Жесткокрылые (Insecta, Coleoptera) Пермской области. Сообщ. 9. Фауна жужелиц (Trachypachidae, Carabidae) заповедника «Басеги». Пермь, 1995. 29 с. (Рукопись, деп. в ВИНТИ 23 марта 1995, № 789-B95).
9. Козьминых В. О. Разнообразие наземных беспозвоночных охраняемых природных ландшафтов Пермского края // Естеств. и математич. науки в соврем. мире: материалы LI междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2017. Вып. 2 (49). С. 5–27.

10. Козьминых В. О., Наумкин Д. В., Санников П. Ю. Жуки заповедника «Басеги». Часть 1 // Фауна Урала и Сибири. 2019а. № 1. С. 38–96.
11. Козьминых В. О., Наумкин Д. В., Санников П. Ю. Жуки заповедника «Басеги». Часть 2 // Фауна Урала и Сибири. 2019б. № 2. С. 68–115.
12. Юфреев Г. И., Козьминых В. О., Есюнин С. Л. Материалы к фауне жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) заповедника «Басеги». Жуки семейств Catopidae и Leiodidae // Охраняемые природные территории. Проблемы выявления, исследования, организации систем: тезисы докл. междунар. науч. конф. Пермь, 1994. Ч. II. С. 92–93.

УДК 004.65+902/904

П.Ю. Санников<sup>1</sup>, М.Л. Перескоков<sup>1</sup>, П.С. Козьякова<sup>1</sup>, В.В. Мингалев<sup>2</sup>, sol1430@gmail.com

<sup>1</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия

## ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ «ПОСЕЛЕНИЯ АНАНЫНСКОЙ И ГЛЯДЕНОВСКОЙ КУЛЬТУР В ГРАНИЦАХ БАСЕЙНА Р. ТУЛВЫ»

Бассейн р. Тулвы – один из самых хорошо изученных (с археологической точки зрения) районов Пермского Прикамья. На примере этой территории планируется создание и опробование методики реконструкции палеосреды раннего железного века и эпохи Великого переселения народов. В качестве обобщающего аналитического инструмента создана геоинформационная база данных, включающая как археологические, так и естественнонаучные данные.

*Ключевые слова:* ананьинская культура, гляденовская культура, геоинформационная база данных, иерархия поселений, ёмкость среды.

P. Sannikov<sup>1</sup>, M. Pereskokov<sup>1</sup>, P. Koziyakova<sup>1</sup>, V. Mingalev<sup>2</sup>, sol1430@gmail.com

<sup>1</sup>Perm State University, Perm, Russia

<sup>2</sup>National Research University «Higher School of Economics», Russia

## GEOINFORMATION DATABASE «ANANYINO AND GLYADENOV CULTURE'S SETTLEMENTS IN THE BASIN OF TULVA RIVER»

Basin of Tulva River is one of the most well-studied in Perm Prikamye area from the archaeological point of view. On the example of this territory, it is planned to create and test the methodology for reconstructing the environment of the Early Iron Age and the era of the Great Migration. A geoinformation database has been created as a generalizing analytical tool, including archaeological data, as well different information about natural conditions and resources.

*Keywords:* ananyino culture, glyadenovo culture, geoinformation database, hierarchy of settlements, environmental capacity.

**Введение.** Период от начала раннего железного века (РЖВ) до раннего средневековья для территории Пермского Прикамья стал эпохой сложных социально-экономических трансформаций, сменой различных адаптационных моделей, внутренних миграций и смены векторов культурных трансмиссионных процессов. Если в период до РЖВ и после раннего средневековья палеоэкономическая модель Прикамского населения выглядит стабильной, то в период I тыс. до н.э. – I тыс. н.э. происходят социально-экономические

«естественные эксперименты».

В археологической литературе выделяется несколько археологических культур, которые сосуществуют и сменяют друг друга на территории Пермского Прикамья в данный период: ананьинская, гляденовская, пьяноборская, мазунинская и харинская, в дальнейшем на основе культурной трансформации, симбиоза и культурных разрывов формируются три средневековые культуры: ломоватовская, неволинская и полумская культуры.

Реконструкцию хозяйственного уклада, социально-экономических процессов, природной обстановки, взаимосвязи и динамики этих факторов во времени, мы считаем актуальной научной задачей.

Задачи подобного рода традиционно решаются археологическими методами. В дополнение к ним используются методы естественных наук. В настоящее время все большее значение в археологических исследованиях приобретают геоинформационные методы.

Цель настоящего сообщения – раскрыть роль геоинформационной базы данных (далее – БД) для подготовки пространственно-временной модели социально-экономического развития общества РЖВ и эпохи Великого переселения народов (ВПН) в Приуралье в связи с изменениями природных условий.

**Краткая географическая характеристика района.** Водосбор р. Тулвы относится к юго-западной части Пермского края. Он охватывает большую часть Осинского, Бардымского районов и западную часть Уинского района. Общая площадь – около 3,5 тыс. км<sup>2</sup>. Рельеф в верхней части средне-холмистый, в нижней части – мелко-холмистый. Относительная высота холмов до 60 м. Долина реки в верхнем течении V-образная, ниже – местами ящикообразная. Преобладающая ширина долины – 2 км, в приустьевой части – до 3 км. Левый склон в основном пологий и низкий, правый – крутой и высокий. Пойма в верхнем течении левосторонняя, ниже – двусторонняя. Её ширина меняется от 100 до 400 м [22].

Собственно, река Тулва имеет длину 118 км, общее падение 141 м, средний

уклон 1,2‰. Исток находится вблизи дер. Верхняя Тулва; впадает в Тулвинский залив Воткинского водохранилища. Основные притоки: Ашап, Барда, Большая и Малая Амзя, Глубокая (левые), Искильда, Тунтор (правые) [22].

**Состав базы данных и её функции.** БД представляет собой набор векторных и растровых слоев, а также сопутствующей литературы и статистических сведений, описывающих структуру и свойства природных компонентов и комплексов соответствующей территории. Основные задачи исследования, решение которых реализуется при помощи геоинформационных методов и материалов БД представлено на рис. 1.

**Археологические памятники.** Непосредственно археологические данные представлены в виде точечного слоя поселений. Слой сформирован на основе исходных данных многолетних археологических исследований Камской археологической экспедиции [18], включающих: географические координаты, наименование, тип, площадь поселения, хронологические и культурные параметры, характеристики фортификации (для городищ).

Также проведена работа по дополнению атрибутивных данных этого слоя. Так, для каждого памятника отмечены следующие сведения: высота поселения над уровнем моря, ближайший водоток (а также данные о последующих водотоках более высокого порядка до Камы (например, Чермода-Тунтор-Тулва-Кама)), высота уреза воды ближайшего водотока на соответствующем участке, разница между высотной отметкой поселения и уреза воды.



Рис.1. Состав геоинформационной БД «Поселения ананьинской и гляденновской культур в границах бассейна р. Тулвы» и задачи, которые решаются с её помощью

**Речная сеть и гидрологический режим рек.** Наличие постоянного доступа к воде, было важным фактором расселения для изучаемых культур. Об этом говорит характер распределения большей части выявленных поселений – в речных бассейнах относительно крупных рек вдоль Камы [20].

Важным фактором также могла быть ежегодная динамика уровня воды. Преобладающий тип экосистем Прикамья – лес. Небольшое число топоров и землеобрабатывающих орудий труда, найденных на археологических памятниках РЖВ и ВПН в Пермском Прикамье, может указывать на слабое развитие земледелия [18; 20]. Доминирующим типом производящего хозяйства было животноводство [9; 18]. Мы предполагаем, что в этих условиях важным ресурсом становилась доступная площадь пойменно-террасной части долины, где естественная деятельность сравнительно крупной реки способствовала преобладанию травянистой или кустарниковой растительности над лесной.

В результате в состав БД вошел набор гидрологических сведений:

Векторный слой Тулвы и её притоков [4], дополненный и исправленный авторами работы;

Данные многолетних наблюдений за гидрологическим режимом р. Тулвы [1; 14]. Наиболее полный архив имеется по гидрологическому посту в селе Барда, где наблюдения за уровнями выходы охватывают 1936-1948 гг., 1954-1959 гг., 1973-1980 гг., и период с 2008 г. по настоящее время. По 3 другим постам (Крылово, Александровка, Сараши) наблюдения затронули относительно краткие периоды;

Данные дистанционного зондирования (далее – ДЗЗ) Landsat, фиксирующие случаи наиболее высоких весенних половодий на Тулве;

По материалам физико-географических исследований [16] создан слой ширины пояса горизонтальных русловых деформаций Тулвы и некоторых её притоков;

Ряд материалов необходим для реконструкции контуров водотоков на участках, затопленных водохранилищами: лоции Камы до и после создания Воткинской ГЭС [3; 10-12]; данные эхолотных съёмок водохранилищ [7]; ДДЗ, полученные в период минимального уровня воды в зимнюю межень, позволяющие фиксировать контур русла Камы и русел устьевых частей её притоков; ряд карт Пермского При-

камья и отдельных его частей первой половины XX в., отражающих расположение водных объектов до наполнения камских водохранилищ [6; 8; 15; 25-26].

**Рельеф.** Анализ местоположения выявленных поселений позволяет говорить о том, что рельеф также был важным фактором освоения территории. Согласно «концептуальной модели системы расселения» [19] положение относительно рельефа может свидетельствовать о функциональной роли поселений. Селитьба на возвышенных участках, вблизи бровок склонов носила, как правило, оборонительный (городища) или религиозный (святилища, костыща) характер. Поселения, расположенные на выположенных, слабонаклонных участках вблизи рек (селища), создавались для выполнения хозяйственной функции.

В результате в состав БД вошла следующая информация о рельефе:

Цифровые модели рельефа (далее – ЦМР). В состав БД вошли 2 ЦМР. Созданная на основе данных SRTM 90 [27] мелкомасштабная ЦМР и крупномасштабная модель рельефа, сформированная на основе векторных данных цифровой топографической карты М 1: 100 000 [5];

Растровые слои, производные от ЦМР: уклон местности и экспозиция склонов;

Топографические карты М 1: 100 000 и 1: 25 000;

Ряд карт Пермского края и отдельных его частей первой половины XX в., показывающих рельеф долины Камы, в настоящее время затопленной водохранилищами [2; 17];

Для отделения поймы от надпойменных террас в качестве сведений дополняющих гидрологическую информацию, привлечён ряд материалов: ДДЗ (Sentinel), полученные в характерные периоды (первая половина зимы) с хорошо читаемым рельефом долины Тулвы; построение серии поперечных профилей долины Тулвы на основе имеющейся ЦМР.

**Дополнительные данные (геология, почвы, растительность).** В ряде случаев ценными дополнительными сведениями могут стать сведения о других природных компонентах. В этой связи в состав описываемой БД также включены векторные слои: геологических отложений Пермского края [13], почвенного покрова Прикамья [21], сведения о растительных феноменах – участках реликтовой растительности [23-24].

**Выводы.** В рамках продолжительного научного проекта, направленного на разработку пространственно-временной модели социально-экономического развития общества РЖФ и эпохи ВПН в Приуралье в связи с изменениями природных условий, используется комплекс методов. В дополнение к археологическим, палинологическим, почвоведческим методам применяются и геоинформационные способы обработки и интерпретации данных.

Первым шагом в этом направлении стало создание геоинформационной базы данных. На сегодняшний день, её содержание составляет комплекс растровых, векторных слоев, а также дополнительной информации как о самих поселениях ананьинской и гляденовской культур, так и о природной среде бассейна реки Тулвы.

Роль базы данных и геоинформационных методов в рамках научного проекта

состоит в следующем. Двумя начальными блоками задач являются первичная инвентаризация исходных археологических данных и их векторизация, а также сбор обширного массива информации о природных компонентах и комплексах (прежде всего о водных объектах и рельефе).

Наиболее сложными и комплексными задачами следует считать определение иерархии поселений, деление их на группы, а также расчет ёмкости среды. Под последним может пониматься как определение площади доступных участков пригодных для ведения соответствующей хозяйственной деятельности, расчет поголовья стада скота, выпас которого мог проходить в пределах этих участков, так и формирование обоснованных представлений о вероятных пределах численности населения соответствующей территории.

*Исследование выполнено за счет гранта РНФ (проект № 19-78-10050).*

### Библиографический список

1. Американская карта СССР. Поволжье, Прикамье и Урал. М 1:250 000 // Военно-картографическая служба США, 1950.
2. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Том 9, часть I. Камское и Воткинское водохранилища. От посёлка Керчевский до города Чайковский. М 1:25 000 // СПб.: ГБУ «Волго-Балт», 1990. 54 с.
3. Базовые картографические векторные данные на территорию Пермского края. Проект OpenStreetMap [Электронный ресурс] // URL: <https://data.nextgis.com/ru/> (дата обращения: 23.05.2016).
4. Векторная основа цифровой топографической карты М 1: 100 000. Бассейна р. Тулвы. Роскартография, 2006.
5. Иллюстрированный путеводитель по р. Каме и по р. Вишере с Колвой. С приложением карты Камы и ближайших населённых мест (под ред. И.И. Ткаль и И.Я. Кривошекова). М 1:168 000 // под ред. П.В. Сюзёва. Пермь: Типо-Литография Пермского губернского правления, 1911. 488 с.
6. Калинин В.Г. Водный режим камских водохранилищ и рек их водосборов в зимний период: монография. Пермь: ПГНИУ, 2014. 184 с.
7. Карта Сарапульского округа. М 1: 300 000 // Составитель – инспектор Сарапульского окружного землеустроительного управления И. Дмитриев, 1930.
8. Коренюк С.Н., Мельничук А.Ф., Перескоков М.Л. Возникновение и развитие производящей экономики в таежной зоне Среднего Приуралья (поздний энеолит – начало раннего средневековья) // Тверской археологический сборник. Выпуск 11. Материалы 18-го-20-го заседаний научно-методического семинара «Тверская земля и сопредельные территории в древности». 2018. С. 18-30.
9. Лоцманская карта р. Камы от устья Вишеры до впадения в Волгу. М 1:50 000 // Сборник Казанского округа путей сообщения. Выпуск XLVI. Казань: Хромо-литография Правления Казанского округа путей сообщения, 1913. 50 с.
10. Лоцманская карта р. Камы от устья р. Вишеры до Новоильинского рейда. М 1:25 000 // Управление речных путей Камского Бассейна. Молотов, 1945. 87 с.
11. Лоцманская карта р. Камы от устья р. Чусовой до впадения в Волгу. Управление речных путей Камского Бассейна. М 1:25 000 // Молотов, 1951. 82 с.

12. *Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края: энциклопедия* / гл. ред. А. И. Кудряшов. Пермь: Книжная площадь, 2006. 464 с.
13. *Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Том 1. РСФСР. Выпуск 25. Бассейн реки Камы. Л.: Гидрометиздат, 1988. 707 с.*
14. *Молотовская область. М 1:500 000* // Главное управление геодезии и картографии МВД СССР, 1956.
15. *Назаров Н.Н. Егоркина С.С. Реки Пермского Прикамья: горизонтальные русловые деформации. Пермь: ИПК «Звезда», 2004. 155 с.*
16. *Немецкая топографическая карта Восточной Европы. М 1:300 000* // Издание немецкого генерального штаба Люфтваффе, 1941.
17. *Перескоков М.Л.* Пермское Приуралье в финале раннего железного века. Пермь: ПГНИУ, 2018. 320 с.
18. *Перескоков М.Л., Козьякова П.С.* Опыт пространственного анализа ГИС методами археологических объектов финала раннего железного века Тулвинского микрорегиона пермского Прикамья: проблемы и результаты // *Естественнонаучные методы в цифровой гуманитарной среде материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2018. С. 159-162.9*
19. *Поляков Ю.А.* Гляденовская культура // *Археология и этнография Среднего Приуралья. ПГУ, Камская археологическая экспедиция. Вып.1. 2001. С. 10-19.*
20. *Почвенная карта Пермской области. М 1: 700 000* // под ред. Р.К. Сигнаевского, 1989.
21. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11. Средний Урал и Приуралье / под ред. Н.М. Алюшинской. Л.: Гидрометиздат, 1973. 849 с.*
22. *Санников П.Ю., Бузмаков С.А.* Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. 173 с.
23. *Сивков Д.Е., Санников П.Ю.* Геоинформационная база данных «Особо охраняемые территории и объекты Пермского края» // *Антропогенная трансформация природной среды. №4, 2018. С. 104-106.*
24. *Специальная карта Европейской России с прилегающей к ней частью Западной Европы и Малой Азии. М 1:420 000* // под ред. генерала И.А. Стрельбицкого. Санкт-Петербург: Издание военно-топографического отдела генерального штаба, 1871.
25. *Спутник по реке Волге, ее притокам, Каме и Оке: с картами Волги, Камы и Оки, видами и планами Волжских, Камских и Окских городов. М 1:126 000* // Саратов: Типо-литография П.С. Феокритова, 1902. 358 с.
26. *Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. Средние, высшие, низшие уровни воды (пост «р. Тулва – с. Барда») за 2008-2017 гг. [Электронный ресурс] // URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 15.11.2019).*
27. *The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 90m DEM Digital Elevation Database [Электронный ресурс] // URL: <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (дата обращения: 10.10.2019).*

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ВЫБОРА РЕЗЕРВАТОВ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

В статье приводятся результаты применения алгоритмов выбора резерватов для оптимизации сети особо охраняемых природных территорий Пермского края. Рассмотрена методика использования программного продукта Zonation для выявления приоритетов развития региональных сетей охраняемых природных территорий.

*Ключевые слова:* особо охраняемые природные территории, репрезентативность, сеть ООПТ, алгоритмы выбора охраняемых территорий, программное обеспечение Zonation

D.N.Slashev, slash.dn@gmail.com, Perm State University, Perm, Russia

## **RESERVES SELECTION ALGORITHMS APPLICATION FOR DEVELOPMENT PRIORITIES IDENTIFICATION OF THE REGIONAL NETWORK OF PROTECTED NATURAL AREAS**

The results of applying reserve selection algorithms for Perm krai protected natural areas network optimization are presented. Discusses the methodology of using the Zonation software for setting priorities development of regional protected areas networks.

*Key words:* protected natural areas, representativeness, network of protected natural areas, reserves selection algorithms, Zonation software

Широкий спрос на методы и оперативные модели, решающих проблему пространственно оптимального и эффективного распределения природных ресурсов возник после принятия Конвенции о биологическом разнообразии, предусматривающей почти двукратное увеличение площади особо охраняемых природных территорий (ООПТ) мира к 2020 г. Традиционные подходы и методы, применяемые для проектирования охраняемых территорий, не всегда в полной мере отвечают современным требованиям, предъявляемым к охране природы. Дефицит ненарушенных территорий, наиболее подходящих для этих целей, а в некоторых регионах мира, вообще физическое отсутствие таких участков в силу значительной хозяйственной освоенности или изначально небольшой территории способствует возникновению комплекса новых трудно разрешимых конфликтов природопользования. ООПТ и их системы должны быть спроектированы таким образом, чтобы соответствовать целям устойчивого развития, увеличивая вероятность успешной реализации экологической политики и учитывая альтернативные издержки возможной утраты разнообразия видов и экосистем. В этом контексте интерес к

разработке и апробации методов проектирования территориальных систем охраны природы, выглядит более чем оправданным.

Первые исследования, касающиеся разработки новых подходов выявления территорий перспективных для создания ООПТ начали появляться в конце XX в. Возникновению этих концепций способствовала попытка устранения пробелов в существующих сетях ООПТ за счет необходимого расширения, повышения репрезентативности и включения в их структуру новых системообразующих объектов.

Первые автоматизированные методы выявления потенциальных ООПТ были реализованы в компьютерных алгоритмах выбора резерватов (reserve selection-RS), основанных на принципах комплементарности. Теоретические разработки и апробация методов расстановки пространственных приоритетов позволили создать как фундаментальные концепции планирования в территориальной охране природы, так и разнообразное программное обеспечение. На сегодняшний день доступен широкий спектр инструментов для определения территорий, имеющих особое значение для сохранения ландшафтного и биологического разнообразия и после-

дующей их интеграции в существующие сети охраняемых территорий. Методы расстановки пространственных приоритетов выступают полезными инструментами в природоохранном и ландшафтном планировании, управлении земельными ресурсами и все чаще применяются для решения практических вопросов охраны природы органами государственной власти и неправительственными организациями на национальном и региональном уровнях [5].

Результатом работы алгоритмов RS является выявление оптимального пространственно ориентированного сочетания, локализованных в границах определенных единиц планирования природных характеристик и объектов, которое позволяет сохранять совокупное биологическое и ландшафтное разнообразие территории с максимальным совокупным экологическим эффектом и минимальными (в первую очередь, экономическими) издержками.

Современные алгоритмы RS эволюционировали от простого представления природных особенностей до включения моделей распространения биологических видов, климатических изменений, экосистемных услуг и др. Благодаря понятным и воспроизводимым методам значительно упрощена процедура выявления пробелов в существующих сетях ООПТ и формализован ряд природоохранных проблем.

Учитывая международные обязательства, взятые Российской Федерацией, по значительному расширению ООПТ, очевидно достаточно широкие перспективы применения и апробации алгоритмов RS.

Для оценки перспектив развития региональной системы ООПТ в качестве объекта исследования выбрана территория Пермского края.

Несмотря на то, что рекомендации по расширению существующих ООПТ региона приведены в ряде работ [1,2,3], очевидна проблема оптимизации их сети для обеспечения максимально полной охраны природных компонентов. Необходимость доработки результатов предыдущих исследований, продиктована сложившимися за последнее время тенденциями в мировой практике заповедного дела.

В качестве основного инструмента расстановки природоохранных приоритетов для расширения сети ООПТ Пермского края использован программный продукт Zonation (версия 4.0), разработанный исследовательской группой по биоинформа-

тике Хельсинского университета [6].

Zonation представляет, программный пакет направленный на решение задач, связанных с определением приоритетов широкомасштабного природоохранного планирования. Через иерархическую расстановку пространственных приоритетов, программные алгоритмы, реализованные в Zonation, идентифицируют участки важные для сохранения природоохранных характеристик и свойств территории (например, биологических видов, ландшафтов, экосистемных услуг и др.), основываясь на их представленности и взаимодополняемости, а также количественной оценки необходимой для обеспечения уровня устойчивости экосистем в долгосрочной перспективе. Кроме того, программа позволяет учитывать экономические издержки, что также способствует эффективному распределению и рациональному использованию имеющихся ресурсов. Zonation может применяться и как традиционный программный пакет, реализующий ряд RS алгоритмов, так и как программное обеспечение, позволяющее решать задачи по определению расположения оптимально связанных между собой ООПТ или расширения уже существующих сетей ООПТ, а также при определении районов для перспективного хозяйственного освоения и реализации природоохранных мероприятий.

В качестве исходной информации Zonation использует данные о расположении объектов. В общих чертах, саму работу алгоритмов можно описать как итеративное удаление наименее ценных ячеек раstra, при котором сводится к минимуму предельная потеря природоохранных объектов, но при этом учитывается экологическая оценка территории и особенности заданных природоохранных характеристик. Результатом работы Zonation является набор растровых изображений и статистический массив данных, отражающих приоритетность охраны участков. Таким образом, любая территория может быть поделена на соответствующие определенным природоохранным приоритетам области (зоны), в которых могут быть реализованы различные мероприятия по сохранению биоразнообразия и восстановлению экосистем.

Для выполнения работ по пространственной приоритизации природных объектов и комплексов Пермского края использованы следующие массивы данных:

1. Данные о типах экосистем, биоло-

гическом и ландшафтном разнообразии региона представлены 230 растрами, содержащими информацию о расположении основных единиц районирования территории края: ландшафтно-типологического, ботанико-географического, почвенного, гидрологического и лесорастительного. Кроме того, места обитания краснокнижных видов, ценные геологические и почвенные объекты, лесные генетические резерваты, центры ландшафтного разнообразия, ареалы почв и растительный покров, крупные лесные массивы, болотные комплексы, остепненные участки (Кунгурская лесостепь), горные ландшафты (Урал).

2. Для составления карты оценки экологического состояния Пермского края использован модуль Landscape Mosaic программного пакета Guidos Toolbox[7]. Модуль выполняет трехполярную классификацию земельного покрова, учитывающую вклад трех типов ландшафта – сельскохозяйственного (A), природного (N) и антропогенного (D). Классификационная модель использует пороговые значения, указывающие на их присутствие (10%), преобладание (60%) или полное доминирование (100%). Исходной информацией послужили: данные о состоянии лесного покрова края за 2000-2019 гг. ресурса Global Forest Change [4], а также пространственная информация о размещении населенных пунктов, транспортных путей, сельскохозяйственных земель, месторождений полезных ископаемых. В полученной мозаике, состоящей из 19 классов,

каждый пиксель имеет триплет значений, показывающих относительный вклад каждого типа землепользования в заданном радиусе. Каждому классу, полученной мозаики присвоен балл в соответствии с уровнем антропогенной нагрузки от 1 (для естественных ландшафтов) до 19 (антропогенная инфраструктура).

3. Современная сеть особо охраняемых природных территорий региона включает 361 ООПТ федерального, регионального и местного значения, площадь которых составляет 10,7 % от площади края. Представленность охраняемых объектов, как и распределение ООПТ по территории крайне неравномерно. Охват выделенных природных районов края охраняемыми территориями уменьшается в ряду: Центральный Урал (35%), Средняя тайга (11%), Западный Урал (5%), Смешанные хвойно-широколиственные леса (2,8%), Южная тайга (1,5%), Кунгурская лесостепь (0,8%) [1,3].

Целевыми задачами сохранения биологического и ландшафтного разнообразия Пермского края приняты показатели, в соответствии с которыми площадь ООПТ должна составлять 20-30% площади региона [2].

По результатам установки природоохранных приоритетов получен картографический и статистический материал характеризующий современный уровень охраны компонентов биологического и ландшафтного разнообразия и отражающий перспективы дальнейшего расширения региональной сети ООПТ (рис.1).

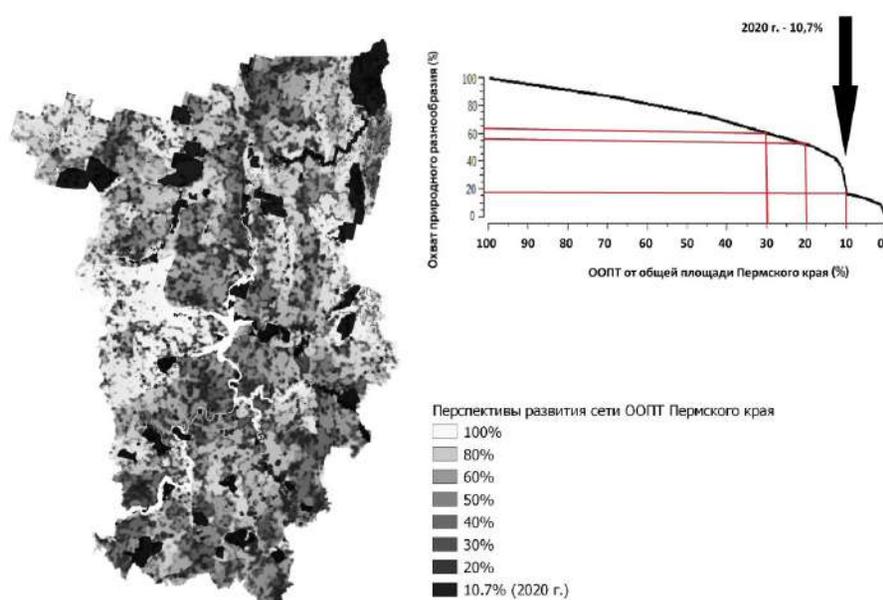


Рис.1. Перспективы развития сети ООПТ Пермского края

Современный уровень охвата био- и ландшафтного разнообразия региона охраняемыми территориями следует признать недостаточным. Только 19% представленных на территории края природных комплексов и объектов охраняются различными категориями ООПТ. Расширение площади природно-заповедного фонда региона до минимально необходи-

мых 20% приведет к увеличению репрезентативности до 55 %, а при увеличении до 30% представленность природных комплексов будет составлять 64%. Другими словами, только при двукратном увеличении площади ООПТ может быть обеспечена минимально необходимая устойчивость экосистем региона.

### Библиографический список

1. Бузмаков С.А., Зайцев А.А., Санников П.Ю. Актуальное состояние сети ООПТ Пермского края // Вопросы степеведения. 2019. №15.
2. Воронов Г.А., Стенно С.П. Современное состояние особо охраняемых природных территорий Пермской области // Географический вестник. 2005. №1-2. С. 113–123.
3. Санников П.Ю., Бузмаков С.А. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. 173 с.
4. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. 2013. Vol. 342. pp. 850–853.
5. Margules C.R. and Pressey R.L. Systematic conservation planning // Nature. 2000. Vol. 405. pp.243-253.
6. Moilanen A., Kujala H., and Leathwick J.R. The Zonation framework and software for conservation prioritization. In Spatial Conservation Prioritisation: Quantitative Methods and Computational Tools, K.A. Wilson, A. Moilanen, and H. Possingham, eds. Oxford University Press. 2009. pp. 196–210.
7. Riitters K.H., Wickham J.D., Wade T.G. An indicator of forest dynamics using a shifting landscape mosaic // Ecological Indicators. 2009. Vol. 9. pp. 107-117.

**КАРТИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ УЧАСТКАХ**

В статье рассматривается проблема загрязнения природных сред в условиях добычи нефти. Определены компоненты природной среды, отражающие процесс антропогенной трансформации, проведён анализ лабораторных данных и выявлен уровень загрязнения нефтепродуктами. Построена серия карт, отражающих загрязнение природных сред. Пространственная информация обобщена в виде количественных выводов о распространении и уровне загрязнения.

*Ключевые слова:* нефтепродукты, антропогенная нагрузка, трансформация природной среды, геоинформационные системы, экология.

V. Smetanina, Valeriiasmetanina@gmail.com

*Perm State University, Perm, Russia***MAPPING OF ENVIRONMENTAL POLLUTION IN THE OIL FIELDS**

This article discusses the problem of environmental pollution in oil production. The components of the environment, reflecting the process of anthropogenic transformation, were determined, an analysis of laboratory data was carried out, and the level of pollution with oil products was revealed. A series of maps reflecting environmental pollution was built. Spatial information is summarized in the form of quantitative conclusions about the distribution and level of pollution.

*Keywords:* petroleum products, anthropogenic load, transformation of the environment, geographic information systems, ecology.

Нефтедобывающая отрасль является одной из основополагающих экономики России, вместе с тем добыча природного сырья оказывает негативные последствия на природную среду в глобальных масштабах. Темпы добычи углеводородного сырья увеличиваются пропорционально нуждам человека, при этом негативные последствия от эксплуатируемых месторождений в будущем могут носить серьёзный характер.

Напрямую от скорости и темпов добычи, возрастает нагрузка на природную окружающую среду, подверженную влиянию негативных факторов. Ввиду высокой нагрузки на природную среду происходит антропогенная трансформация природных компонентов на территориях, где активно ведётся добыча нефти и газа.

При добыче природного сырья наиболее серьёзный урон оказывают ситуации, при которых возможно попадание углеводородов в компоненты природной среды. Загрязнение нефтепродуктами может носить катастрофический характер, уничтожая растительность и живые организмы, делая территорию непригодной для существования живых организмов.

Как правило, уничтожение ключевых экосистем происходит на длительное

время и без возможности полного восстановления первоначального состояния. Частичной или полной деградации подвергаются следующие природные компоненты: воздушная оболочка, почвенный покров, поверхностные воды, подземные воды, растительность, живые организмы.

Целью работы является подготовка серии карт по результатам анализа загрязнения нефтепродуктами различных компонентов окружающей природной среды.

Сведения о состоянии природных компонентов и комплексов представляют собой фондовые данные организации, проводившей на изучаемом участке комплексные инженерные изыскания под строительство и реконструкцию нефтепромышленных объектов.

При выполнении работы использованы методы, основанные на описании, наблюдении, обработке исходных данных, а также метод пространственного анализа и дальнейшей визуализации в виде построения карт.

Визуализация загрязнения нефтепродуктами имеет важное значение для определения качества окружающей среды вблизи нефтепромышленных участков. Однако при проведении оценки загрязнения возникает ряд трудностей, прежде всего

ввиду отсутствия единых нормативных документов, регулирующих допустимое содержание углеводородов в природной среде. Таким образом на территории России не существует официально утвержденных нормативов допустимого содержания нефтепродуктов в почве. Основным ориентиром являются ОДК (ориентировочно допустимые концентрации) однако, данный норматив имеет множество недостатков в своем применении и не даёт объективную оценку состояния почвенного покрова. Для оценки качества природных вод, также нет регламентируемого единого норматива.

Для исследования степени загрязнения использовались следующие параме-

тры: площадь участков, среда опробования (поверхностные воды, подземные воды, почвы), а также уровень загрязнения в соответствии с нормативными документами. Предельно допустимые концентрации (ПДК) содержания нефтепродуктов в почвах оцениваются в соответствии с письмом Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 27 декабря 1993 г №04-25/61-5678 «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами» [4]. На основании таблицы 4 данного документа уровень загрязнения земель нефтепродуктами оценивается следующим образом (табл. 1).

Таблица 1. Показатели уровня загрязнения земель нефтепродуктами

Элемент	Содержание, мг/кг, соответствующее уровню загрязнения				
	1 уровень допустимый	2 уровень низкий	3 уровень средний	4 уровень высокий	5 уровень очень высокий
Нефть и нефтепродукты	менее ПДК (1000 мг/кг)*	от 1000 до 2000	от 2000 до 3000	от 3000 до 5000	более 5000
Примечание*: Нормативы в соответствии с [4]					

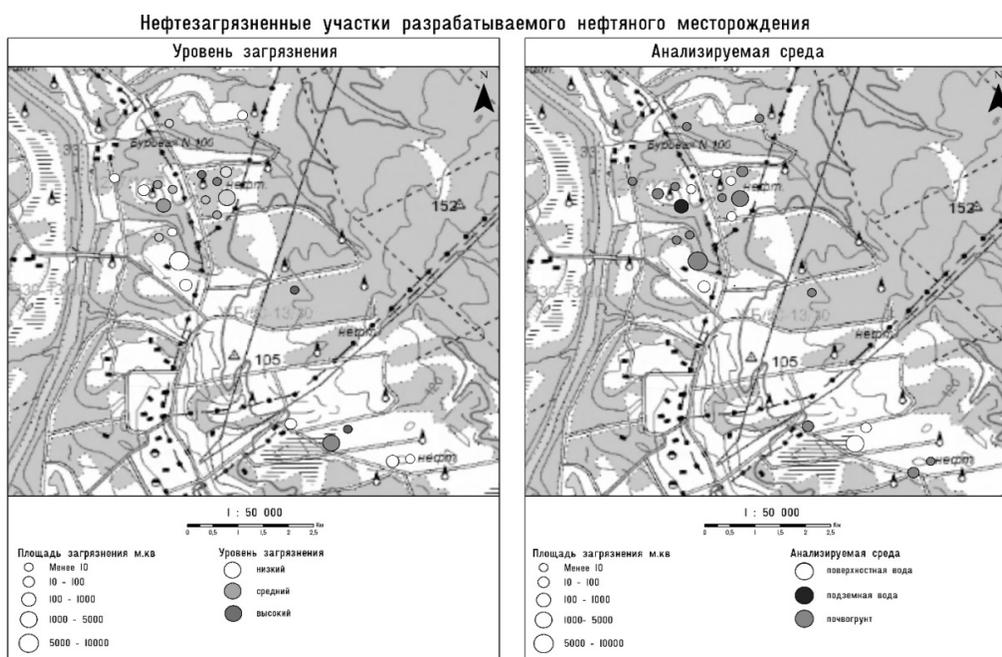


Рис. 1. Карта загрязненных участков, загрязненных нефтью, на участке исследования

Качество природных вод оценивалось согласно ГН 2.1.5.1315-03 (с изм. № 97 от 13.07.2017 г.) [3] ПДК для нефтепродуктов в данном нормативе составляет 0,3 мг/л. Комплексная оценка степени загряз-

ненности поверхностных вод согласно РД 52.24.643-2002 [6]. Уровень загрязненности водного объекта по кратности превышения предельно-допустимых концентраций оценивается как низкий (от 1 до 2

ПДК), средний (от 2 до 10 ПДК), высокий (от 10 до 50 ПДК) и экстремально высокий (свыше 50 ПДК). При обработке лабораторных данных определена градация степени загрязнения в зависимости от превышения ПДК и площади загрязнения природных сред [4].

Район исследования приурочен к северо-востоку Европейской части Российской Федерации и находится в подзоне северо-таёжных хвойных лесов. Выбор территории обусловлен наличием большого количества нефтепромысловых объектов, а также достаточной изученностью природной среды.

Для выявления уровня загрязнения были проанализированы 23 пробы, отобранные в точках, где зафиксировано визуальное загрязнение вблизи нефтепромысловых объектов. Уровень загрязнения определён в соответствии с превышениями предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (Рис. 1).

Анализ и дальнейшая визуализация показали, что наиболее загрязнённые

участки, соответствующие экстремальному уровню загрязнения, занимают от 10 до 100 м<sup>2</sup>, среди всех исследуемых участков данная площадь является не обширной, относительно всех исследуемых территорий. Наибольшее распространение получил низкий и средний уровень загрязнения, что соответствует незначительной трансформации природных компонентов вблизи нефтепромысловых участков. Следует отметить, что наиболее обширные по площади участки являются наименее загрязнёнными, а следовательно, наименее трансформированными. При этом суммарная площадь нефтезагрязнённых участков составила не более 15 000 м<sup>2</sup>.

Влияние загрязнений нефтью на окружающую среду очень велико и носит комплексный характер. В связи с развитием нефтедобывающей промышленности и эксплуатацией месторождений, можно предположить, что площадь территорий, загрязнённых нефтепродуктами будет увеличиваться со временем. Таким образом, антропогенная нагрузка на территории нефтепромысла будет увеличиваться.

*Материалы были частично собраны и обработаны при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 09-04-09255.*

### Библиографический список

1. Бузмаков С.А. Экспериментальное определение основных фаз техногенной трансформации экосистемы // Вестн. Перм. ун-та. Биология. 2004. Вып. 2. С.133-138.
2. Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Хотяновская Ю.В., Дзюба Е.А. Экологическая диагностика антропогенной трансформации экосистем // Теория и методы исследований в естественных науках. Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. 2016. С. 171-178.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязнённых земель. Письмо № 3-15/582 от 27 марта 1995 г. Комитет Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству. М., 1995. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Письмо Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации от 27 декабря 1993 г №04-25/61-5678 «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. М., 1997. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Р.А. Соколов, С.П. Стенно, RomanAlexSokolov@yandex.ru  
Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия

## ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ ООПТ «ЧЕРНЯЕВСКИЙ ЛЕС»

В сообщении рассматривается лесоводственная и лесопатологическая оценка древостоев охраняемого ландшафта «Черныяевский лес». Подробно изложена возрастная, типологическая структура лесов. Проанализировано распределение площади лесных насаждений по полнотам и классам бонитета.

*Ключевые слова:* охраняемый ландшафт, полнота насаждений, класс возраста, продуктивность, санитарная оценка.

R. Sokolov, S. Stenno, RomanAlexSokolov@yandex.ru  
Perm State University, Perm, Russia

## FOREST PLANTATIONS OF THE PROTECTED AREA «CHERNYAEVSKY FOREST»

The report deals with forestry and forest pathology assessment of forest stands protected landscape "Chernyaevsky forest". The age and typological structure of forests is described in detail. The distribution of the area of forest plantations by productivity classes is analyzed.

*Keywords:* protected landscape, the fullness of stands, age class, productivity, health assessment.

Охраняемый природный ландшафт «Черныяевский лес» является одним из крупнейших внутригородских лесных массивов, наиболее сохранившейся в близком к естественному состоянию. Участок расположен на северо - западной окраине Дзержинского района и в Юго-восточной части Индустриального района города Перми, между микрорайонами Парковым и Балатово. Общая площадь особо охраняемой природной территории составляет – 685,97 га [2, 3, 4, 5].

Ландшафт выполняет роль буфера, защищающего большую часть города от вредных выбросов предприятий Осенцовского промышленного узла, расположенного в юго-западной части города. Экосистемы ООПТ поглощают углекислый газ и выделяют кислород, выполняя средообразующие и средозащитные функции [7, 8, 9, 10, 11].

Территория охраняемого ландшафта расположена на землях особо охраняемых территорий и объектов. В соответствии с Лесным кодексом РФ все леса «Черныяевского леса», по целевому назначению относятся к защитным. Последнее лесоустройство проведено в 2010 г. Были выделены лесные кварталы размером 1 x 0,5 км, с тех пор квартальная сеть не изменилась [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

**Распределение земель.** Всего на территории ООПТ выделяется 14 лесных кварталов с общей площадью 586 га. По материалам лес-

ной таксации в «Черныяевском лесу» покрытые лесом площади занимают 551,8 га (80,4% от площади лесных кварталов). Нелесные земли (земли, не предназначенные для выращивания леса) – представлены в основном полянами для отдыха (26,5 га), парковыми сооружениями (4,1 га) и болотами (3,6 га) общей площадью 34,2 га (5,8 % от площади лесных кварталов) [12, 20].

**Лесистость.** Одним из важных показателей территории является лесистость. Лесистость - отношение покрытой лесом площади к общей площади района, области, края, республики, территории объекта: процент покрытой лесом площади. В целом лесистость на территории охраняемого ландшафта составляет 80,4%.

**Распределение площадей лесов по типам леса.** На территории выделено 15 типов леса, из них 12 хвойных, и 3 лиственных. Район исследований на территории Черныяевского леса представлен в основном сосняками. Древесный ярус образован сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Общая площадь их составляет 353,9 га или 64,1% от покрытой лесом площади.

Среди них, большую площадь занимают сосняки зеленомошники 235,6 га (42,7%), менее обширны сосняки черничники - 72,9 га (13,2%), сосняки брусничники - 37,5 га (6,8%). Сосняк травяной и сосняк брусничник составляют всего 7,9 га (1,4%).

Еловые типы леса занимают 135,0 га, или 24,5% от покрытой лесом площади, более половины их занимает ель (84,4 га или 60,3 %). Значительную часть в составе еловых насаждений составляет береза (38,7 га или 21,2 %), 18,5% древостоев занято насаждениями из осины, ивы, ольхи, тополя, вяза и клена.

Наибольшие по площади типы ельников – ельники-черничники 56,1 га (10,1%). На долю ельника травяного приходится 42,7 га (7,7 %) и ельника лугового – 25,5 га (4,6%); ельники кисличники 4,3 га и осоково-хвощевые 4,5 га занимают 1,6% от лесопокрытой площади.

Березняки представлены одним типом – березняком пойменным. Его площадь 52,4 га. Кроме этого на территории выделяются ольшаник таволговый 8,1 (1,5%) га и ольшаник пойменный 2,4 га (0,4%).

**Распределение площади лесов по преобладающим породам и группам возраста.** Согласно приказа Рослесхоза от 29 марта 2018 года №122 «Об утверждении лесоустроительной инструкции» выделяются следующие группы возраста древостоев - молодняки, средневозрастные, приспевающие, спелые и перестойные [1, 6].

Преобладающей древесной породой в лесных насаждениях ООПТ «Черняевский лес» является сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), занимающая 176 га или 38,3 % от площади основных лесобразующих пород. Она встречается на 65 % покрытой хвойными породами площади.

При этом молодняки сосновых насаждений 1 и 2 классов, занимают 12 га и 7 га или 10,% от сосновых насаждений, средневозрастные составляют - 42 га или 23%, приспевающие, спелые и перестойные насаждения сосны обыкновенной занимают – 115 га или 65% от площади, занимаемой сосной. Максимальный возраст породы 120-140 лет.

Меньшую долю в насаждениях составляют древостои с преобладанием ели сибирской (*Picea obovata*). Они занимают – 94 га (20,5 % от площади основных лесобразующих пород), или 34,8 % от площади, занимаемой хвойными насаждениями. Молодняки ели составляют 28%, от площади еловых насаждений, средневозрастные деревья - 11%, к приспевающим, спелым и перестойным относится 63 га или 67% от площади, занимаемой данной породой.

В целом хвойные породы занимают 270 га, что составляет 58,8 % от основных лесобразующих пород охраняемого ландшафта. Молодняки 1 и 2 классов занимают 45 га или 16%, от площади хвойных насаждений, средневозрастные 17%, а приспевающие и спелые перестойные 178 га или 67%.

Мягколиственные породы на период лесоустройства (2010г.), в целом составили 189 га (41,2%). При этом молодняки 1 и 2 классов занимают 30 га или 16%, от площади древостоя мягколиственных пород. Средневозрастные 53 га или 28%, преуспевающие 12%, спелые и перестойные 44% (рис. 1).

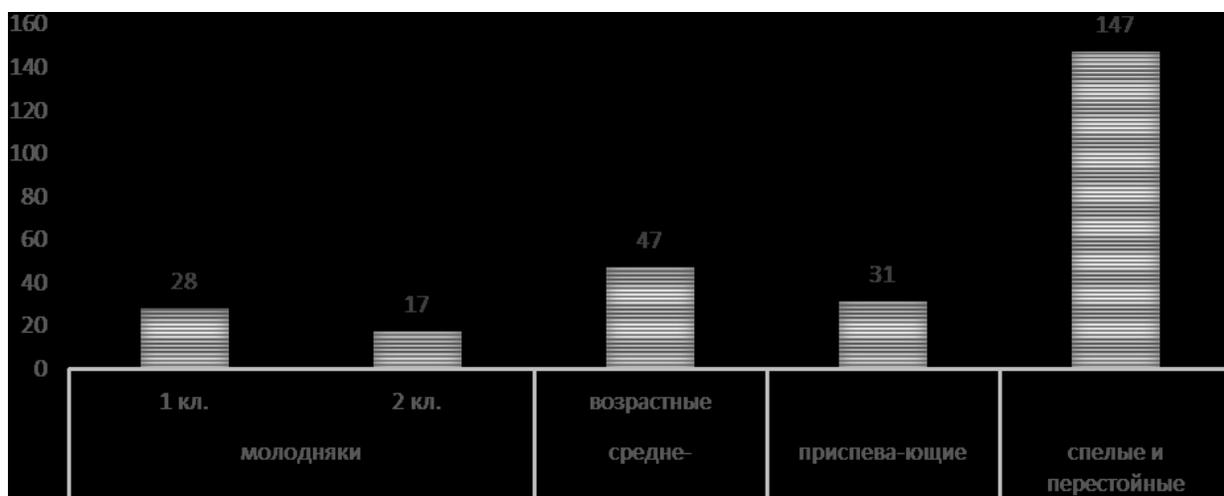


Рис 1. Возрастная структура древостоев хвойных пород

Наибольшие площади лиственных насаждений заняты березой повислой (*Betula pendula*) и березы пушистой (*Betula pubescens*) – 104 га, что составляет 55,0 %

от площади мягколиственных насаждений. При этом молодняки занимают 13%, от насаждений березы (рис. 2).

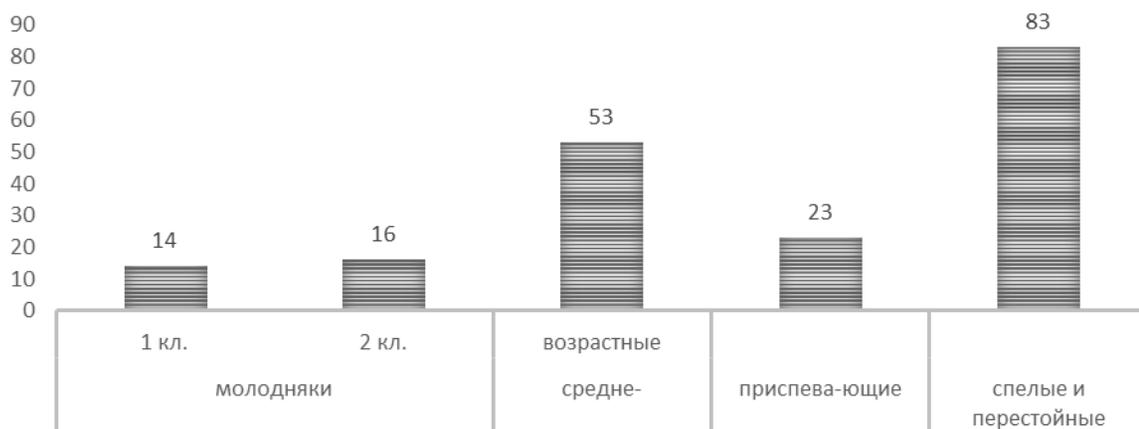


Рис 2. Возрастная структура древостоев мягколиственных пород

Средневозрастные насаждения занимают 32%, а спелые и перестойные – 48 га (46%).

Значительно меньшие площади составляет насаждения осины (*Populus tremula*) – 45 га (23,8 %). Спелые и перестойные насаждения преобладают в насаждениях занимая 19 га. Еще меньшие площади занимает ива древовидная (козья) (*Salix caprea*) – 22 га 11,6 %, от площади лиственных насаждений. Это в основном молодые деревья 1 кл. и 2 кл. возраста составляющие 49% насаждений. Ольха серая (*Alnus incana*) – 18 га. Основные площади занимают спелые и перестойные насаждения 13 га или 72% деревьев.

Подводя итоги анализа возрастной структуры древесных пород, следует отметить, что насаждения охраняемого природного ландшафта «Черняевский лес» относятся в основном к спелым и перестойным – 50% (всех деревьев). Средневозрастные и приспевающие деревья составляют 33,6% и лишь 16,8% относятся к молоднякам.

**Распределение площади лесных насаждений по полнотам и классам бонитета.** В целом бонитет характеризует качество условий произрастания леса. На исследуемой территории лесные насаждения соответствуют I–IV класса бонитета, низкобонитетные древостои (V класс бонитета) не представлены.

Большие площади лесных насаждений занимают леса, относящиеся ко II и III классам бонитета, что составляет 65,2 % от всей лесопокрытой площади. При этом площади, занимаемые насаждениями III класса бонитета, составляют 41,1 % от лесопокрытой площади.

Вследствие того, что древесные наса-

ждения в Черняевском лесу в основном спелые и перестойные, полнота их средняя и колеблется в пределах 0,64 – 0,69. При этом наибольшая полнота среди хвойных характерна для сосны, среди мягколиственных – для осины.

**Санитарное состояние лесов.** Одним из основных причин ослабления состояния лесных насаждений в Черняевском лесу являются природно-климатические условия, так как погодные условия за последние годы не соответствовали средне-статистической норме, неравномерность температурных осадков в летний и зимний периоды может вызвать критическое состояние деревьев.

В результате закладки пробных площадок было выявлено, что по категориям состояния древостои находятся в III (сильно ослабленный) и IV (усыхающей) категориях состояния, которые чаще заселены вредителями, и пострадавшие от антропогенных воздействий. Вследствие неблагоприятных погодных условий, а также преобладания перестойных древостоев образуется не менее важная угроза благоприятному состоянию лесных насаждений – это заселение стволовыми вредителями (малый сосновый лубоед (*Tomicus (Blastophagus) minor Hart*), большой сосновый лубоед (*Tomicus piniperda*), березовый заболонник (*Scolytus ratzeburgi Jans*)), образование разнообразных трутовых грибов (сосновая губка – лат. *Phellinus pini (Fr.) Pil*, ложный трутовик – лат. *Phellinus igniarius* и т.д.) [20, 21, 22].

Вышеуказанные причины ослабления состояния лесных насаждений внимательно исследуются при описании санитарного и лесопатологического состояния.

### Библиографический список

1. *Пермский* областной совет народных депутатов Исполнительный комитет. Решение от 12 декабря 1991 года № 285 «О придании статуса охраняемых природных территорий объектам и ландшафтам Пермской области». Доступ из справочно-правовой системы «Электронный фонд Кодекс»
2. Акулов А.А., Яценко В.М. Ботанические экскурсии в парке культуры и отдыха «Чернышевский лес» г. Перми // Природное наследие и географическое краеведение Прикамья: кратк. сообщ. межреги-он. науч.-практ. конф. Пермь, 1998. С. 61-62.
3. Атлас ООПТ Пермского края/ под рек. С.А Бузмакова. Пермь: Астер, 2017. 512 с.
4. Керженцев Н.И., Аникина Э.Э. Список памятников природы Пермской области // Охрана природы на Урале. Свердловск, 1960. Вып. 1. С. 167-171.
5. Красная книга Пермского края/ под общ. Ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 232 с.
6. Лесная энциклопедия: в 2-х томах. / гл. ред. Воробьев Г.И.; ред. кол. Анучин Н.П., Атрохин В.Г., Виноградов В.Н. и др. М.: Сов.энциклопедия, 1985. Т. 1. 563 с.
7. Лесоведение: метод. указ. к лаб. раб. / сост. М.В. Rogozin; Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь, 2012. 36 с.
8. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
9. Родичкин И.Д. Строительство лесопарков в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 180 с.
10. Сретенский В. А. Лесоведение: учебное пособие. Пермь: Перм. ун-т, 2008. 150 с.
11. Тихонов А.С. Лесоведение: учебное пособие для студентов вызов, 2-е издание. Калуга: ГП «Облиздат», 2011. 332 с.
12. Природа города Перми / ООПТ / Чернышевский лес [Электронный ресурс] // URL: <http://www.prirodaperm.ru/lesa/2015/06/24/2362> (дата обращения: 01.04.19).
13. Чернышевский лес / ООПТ [Электронный ресурс] // URL: <https://ekovolga.com> (дата обращения: 01.04.19).
14. Группа возраста древостоя [Электронный ресурс] // URL: <http://www.derev-grad.ru/dendrologiya/gruppa-vozzrasta-drevostoya.html> (дата обращения: 16.03.19).
15. Лесохозяйственный регламент Пермского лесничества Пермского края (утв приказом Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края от 29.12.2017 № СЭД-30-01-02-2068). Пермь, 2017.
16. Кадастровые сведения на особо охраняемую природную территорию Балатовский пригородный лесной парк (Чернышевский лес) Воронов Г.А., Стенно С.П.
17. Таксационное описание «Пермское городское лесничество лесничество: Чернышевское уч. (2010 г.)»
18. Пермская Городская Дума Пермского края от 20 июня 2000 года № 79 «О создании лесопарка «Чернышевский лесопарк г. Перми». Доступ из справочно-правовой системы «Электронный фонд Кодекс».
19. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 03.07.2016). Доступ из справочно-правовой системы «Консультант-Плюс».
20. Пермская городская Дума Пермского края от 22 декабря 2009 года № 321 «Об утверждении положения об особо охраняемой природной территории местного значения–охраняемом ландшафте «Чернышевский лес». (ред. 24.02.2015). Доступ из справочно-правовой системы «Электронный фонд Кодекс».
21. Постановление Администрации города Перми от 25 июня 2010 г. №354 «Об утверждении положения об особо охраняемой природной территории местного значения–охраняемом ландшафте «Чернышевский лес». Доступ из справочно-правовой системы «Электронный фонд Кодекс».
22. Приказ Рослесхоза от 29 марта 2018 года №122 «Об утверждении лесоустроительной инструкции». Доступ из справочно-правовой системы «Консультант-Плюс».

В.И. Стурман, А.Н. Логиновская, st@izh.com  
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени  
проф. М.А. Бонч-Бруевича, г. Санкт-Петербург, Россия

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В статье рассматриваются проблемы картографического представления характеристик пространственной изменчивости техногенных электромагнитных полей урбанизированных территорий. Показано, что электромагнитные поля разных видов и диапазонов отличаются по характеру пространственной локализации и временной изменчивости. Рассмотрены преимущества и недостатки возможных способов и технологий их отображения.

*Ключевые слова:* электромагнитные поля, картографирование

V. Sturman, A. Loginovskaya, st@izh.com  
The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg, Russia

## GEOINFORMATION AND CARTOGRAPHIC ASPECTS OF STUDYING TECHNOGENIC ELECTROMAGNETIC FIELDS

The article discusses the problems of cartographic representation of the characteristics of the spatial variability of technogenic electromagnetic fields in urban areas. It is shown that electromagnetic fields of different types and ranges differ in the nature of spatial localization and temporal variability. The advantages and disadvantages of possible methods and technologies for their display are considered.

*Keywords:* electromagnetic fields, mapping

Электромагнитные поля (ЭМП) – весьма важный, специфический и недостаточно изученный фактор окружающей среды. От других факторов они отличаются высочайшей пространственной изменчивостью и временной динамикой при полном отсутствии какой-либо инерционности показателей. ЭМП характеризуются частотой, измеряемой в герцах и производных единицах, и напряженностью, измеряемой в вольтах на метр для низкочастотных электрических полей, ваттах на квадратный метр для высокочастотных электрических полей и тесла-единицах (амперах на метр) для магнитных полей.

Возможность непосредственного измерения характеристик ЭМП посредством приборов делает их удобным объектом картографического представления в виде изолиний, однако в силу особенностей локализации этот способ является предпочтительным не во всех случаях. Так, обладающие сравнительно невысокой проникающей способностью электрические поля значительной интенсивности приурочены к высоковольтным линиям, что предполагает использование линейных обозначений. Интенсивные высокочастотные поля локализуются в виде окружностей или секторов, и в силу этого отображаются ареалами, как зоны воздействия радио- и телепередающих стан-

ций, локаторов. Обладающие повышенной проникающей способностью магнитные поля [1] характеризуются в условиях урбанизированной среды повсеместным распространением, что наиболее адекватно передается изолиниями. Резко выраженные аномалии магнитных полей, обычно обусловленные недостаточно экранированными кабелями подземной прокладки, имеют незначительные размеры, для отображения чего бывает достаточно значков. Современное развитие телекоммуникаций делает актуальным поиск новых характеристик электромагнитной нагрузки на среду, таких как интенсивность электромагнитного фона, измеряемая в кВт/км<sup>2</sup>, и плотность трафика, измеряемая в мБит/км<sup>2</sup> [2], что обычно отображается посредством картограмм. Таким образом, полное и адекватное отображение электромагнитной обстановки в сложных условиях современного города может требовать довольно разнообразного арсенала способов картографических изображений.

Исследования, выполненные в ряде городов России [3], показали, что напряженность магнитных полей (магнитная индукция) существенно изменяется в зависимости от характера использования и застройки территорий, обычно с максимумами в условиях плотной исторической застройки и минимумами в рекреаци-

онных зонах и на прочих незастроенных пространствах. Вместе с тем, в каждом городе выявляются специфические особенности распределения показателей магнитной индукции, отражающие характер исторически сложившейся планировки и застройки. Для картографического представления и анализа результатов измерений характеристик магнитных полей промышленной частоты (50 Гц), были использованы характеризующие ниже технологии составления карт.

Ручное вычерчивание изолиний, в сочетании со значковым изображением аномалий – наиболее простой, но далеко не самый современный метод картографирования. Наряду с высокой трудоемкостью, недостатком этого приема является неизбежно сопровождающий его в процессе интерполяции субъективизм. Свести этот недостаток к минимуму, а отчасти и превратить его в достоинство позволяет принцип географической интерполяции, т.е. распределение разницы значений соседних точек на расстояние между ними нелинейно, с учетом географических закономерностей [4]. Применительно к ЭМП означает учет характера использования и застройки территорий, со сгущением изолиний в местах, где-то и другое меняется.

Усовершенствованной разновидностью ручного вычерчивания изолиний является метод построения сплайн-кривых (кривых Безье). Для построения сплайн-кривой обычно используют метод составления линий из отдельных элементов, описываемых элементарными уравнениями (многочленами Бернштейна), как правило, третьей степени [5]. При условии дополнения системы изолиний значками,

изображающими выраженные в локальных точках аномальные значения магнитной индукции, это позволяет получать вполне удовлетворительные результаты.

Следующим шагом в совершенствовании методов картографического отображения электромагнитных полей является использование современных программных средств, в частности таких, как программный комплекс ArcGIS ArcMap. Статистическая обработка результатов и выделение среди них аномальных значений проведены на основе общепринятой формулы среднего квадратического отклонения, с использованием программного продукта Excel. Полученные в результате измерений данные о значениях магнитной индукции промышленной частоты были перенесены на электронную карту города. Пространственный анализ магнитных полей выполнялся в программном комплексе ArcGIS ArcMap с использованием метода билинейной интерполяции. Изолинии строились при помощи ArcGIS ArcMap набора инструментов Spatial Analyst Tools через 20 и 50 нТл. Соответствующими условными знаками показаны аномалии частот магнитной индукции по 3δ и 2δ пределам.

Разработка на базе ГИС ArcGIS ArcMap информационной системы пространственного распределения техногенных магнитных полей промышленной частоты позволяет объединить пространственную и описательную информацию, систематизировать данные наблюдений, создает возможность наглядного представления на карте. Изолинии могут дополняться или заменяться послойной окраской по ступеням значений (градациям).

### Библиографический список

1. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986. 238 с.
2. Методы сплайн-функций. Российская конференция, посвящённая 80-летию со дня рождения Ю. С. Завьялова (Новосибирск, 31 января – 2 февраля 2011 г.): Тез. докладов / ИМ СО РАН. Новосибирск, 2011. 113 с.
3. Мордачев В.И. Оценка электромагнитного фона, создаваемого системами сотовой (мобильной) связи // Всероссийская конференция «Актуальные проблемы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений». Москва, 12-13 ноября 2019 г. М., 2019. С. 76-79.
4. Стурман В.И. Электромагнитные поля промышленного диапазона частот в условиях городской среды как объект эколого-географического исследования // География и природные ресурсы, 2019, №1. С. 21-28. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(21-28).
5. Тихонов М.Н., Довгуша В.В., Довгуша Л.В. Механизм влияния естественных и техногенных электромагнитных полей на безопасность жизнедеятельности // Экологическая экспертиза. 2013. № 6. С. 48-65.

Ю.А. Федоров, Л.Ю. Дмитрик, И.В. Доценко, ldmitrik@sfedu.ru  
Южный федеральный университет, г Ростов-на-Дону, Россия

## КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТА АЗОВСКОГО МОРЯ

В статье рассматриваются подходы к визуализации результатов изучения распределения растворенного железа общего в водном компоненте ландшафта Азовского моря, на различных глубинах, и при разных погодных условиях с помощью ГИС-технологий.

*Ключевые слова:* железо, Азовское море, цифровые технологии, картографирование, ветровая обстановка.

Yu. Fedorov, L. Dmitrik, I. Dotsenko, ldmitrik@sfedu.ru  
Southern federal university, Rostov-on-Don, Russia

## MAPPING THE DISTRIBUTION OF IRON IN THE COMPONENTS OF THE AZOV SEA LANDSCAPE

The article considers approaches to visualization of studying results the distribution of dissolved iron in the water component of the Azov Sea landscape, at different depths, and under different weather conditions using GIS technologies.

*Keywords:* iron, sea of Azov, digital technologies, mapping, wind conditions.

В настоящее время, благодаря широкому распространению цифровых технологий (в том числе и ГИС), множество людей в повседневной жизни пользуется различными тематическими картами. Доступными стали не только сами цифровые карты, но и средства их создания. Благодаря методикам, разработанным еще в начале и середине прошлого века, современные ГИС дают возможность хранить, обрабатывать и визуализировать огромные объемы информации. Для построения карт распределения химических элементов еще в 60-70 гг. прошлого века использовали методы картодиаграмм, картограмм, изолиний и др. [1; 3; 4]. Метод картодиаграмм заключается в построении диаграммы, характеризующей величину какого-либо явления на определенной территории или в определенном пункте. Метод картограмм показывает среднюю интенсивность какого-либо явления, приуроченного к определенной территории. Способ изолиний помогает картировать явление, достаточно равномерно изменяющееся по площади и имеющее непрерывное распространение.

По мнению [2] наиболее приемлемыми для картирования распределения химических элементов является совмещение метода картограмм и изолиний. В работе [6], в тезисной форме, нами был описан подобный подход. Суть такого объединения методов состоит в том, что изолинии должны «сглаживать» резкие переходы между картограммами, а главным недостатком

такого подхода являлась необходимость точно выверять шаг изолиний и масштаб карты.

Для данного сообщения эти тематические карты были перестроены (рис. 1А-2Б). Сейчас мы использовали метод изолиний и интерполяцию поверхности. Данный подход позволил использовать более широкий спектр интервалов для изолиний (нами выбран интервал в 0,05 мг/дм<sup>3</sup>, что составляет предельно допустимую концентрацию (ПДК) для рыбо-хозяйственных водоемов), а плавность переходов обеспечила интуитивно-понятная цветная интерполяция.

Исследование проводилось в Таганрогском заливе и в российской акватории Азовского моря. В ходе экспедиции пробы отбирались при различных погодных условиях, методы отбора и определения проб представлены в работе [5]. В процессе работы выполнены 25 океанографических станций, в период высокой ветровой активности (летом) и в период относительного безветрия (осенью). На каждой станции было проведено вертикальное зондирование температуры, солености, O<sub>2</sub>, pH, Eh от поверхности до дна СТДО<sub>2</sub>pHEh-зондом «Гидролаб». Отбор проб производился с двух горизонтов – с поверхности и из придонного слоя. В каждой пробе были проведены определения растворенного кислорода, аммонийного, нитритного, нитратного азота, фосфатов, кремнекислоты, органических форм азо-

та и фосфора, железа ( $\text{Fe}^{2+}$ ) и ( $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$ ), количественного и качественного состава (белков, липидов, углеводов) растворенно-

го и взвешенного органического вещества [5;7].

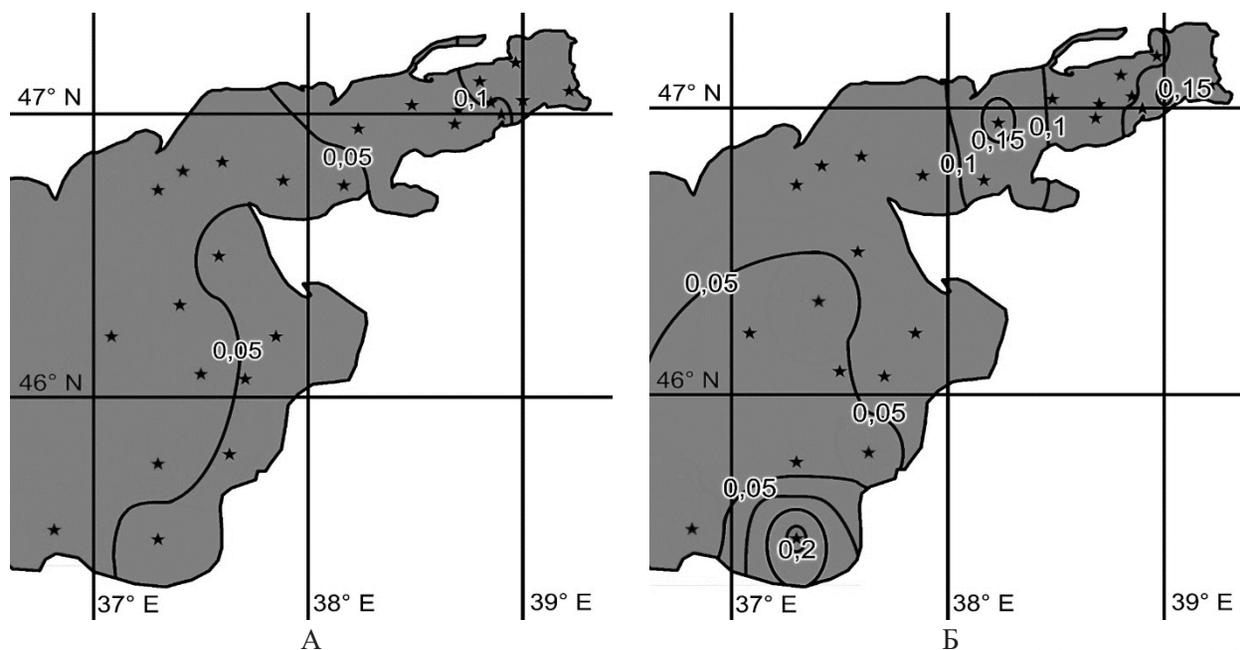


Рис. 1. Распределение растворенного железа общего в поверхностном слое (А) осенью и (Б) летом

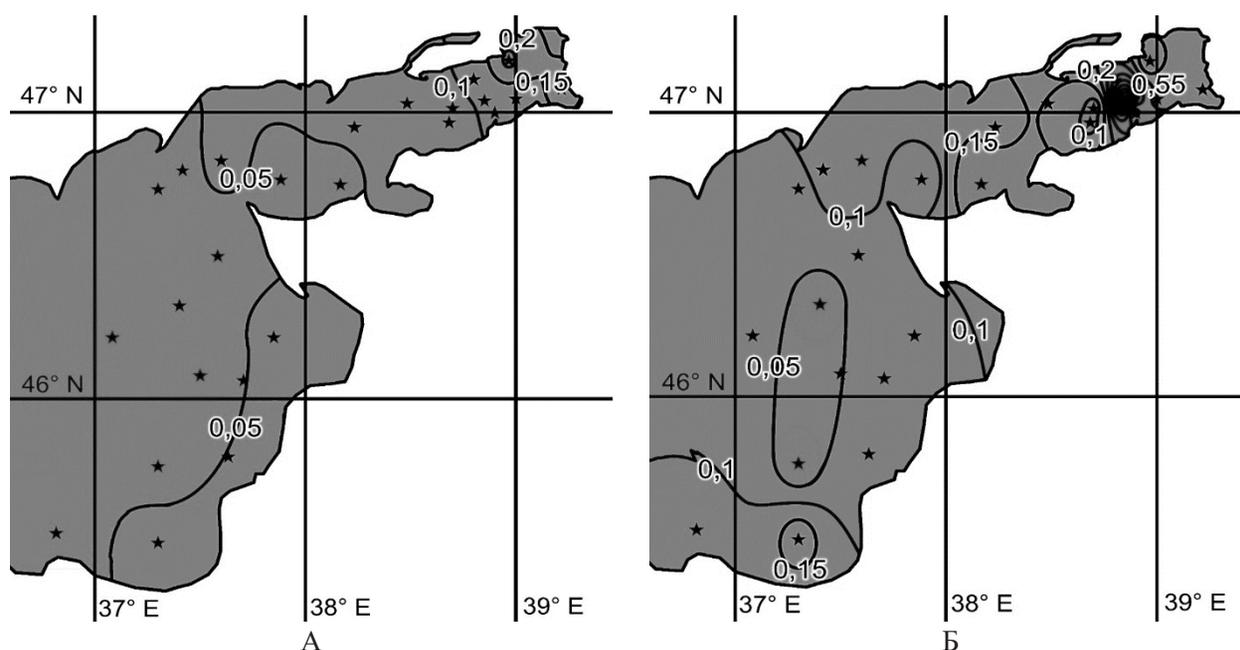


Рис. 2. Распределение растворенного железа общего в придонном слое (А) осенью и (Б) летом

Значения содержания растворенного железа общего в Таганрогском заливе осенью в безветренную погоду колебались от 0,04 до 0,21 (в среднем 0,09) мг/дм<sup>3</sup>, а в Азовском море от 0,02 до 0,07 (в среднем 0,04) мг/дм<sup>3</sup>. В Таганрогском заливе на интервал 0-0,05 мг/дм<sup>3</sup> приходилось 34,6 % всех значений, на 0,05-0,1 мг/дм<sup>3</sup> – 30,8%, на 0,1-0,15 мг/дм<sup>3</sup> – 26,9%, на 0,15-0,2 мг/дм<sup>3</sup> – 3,85%, а на интервал 0,2-0,25 мг/дм<sup>3</sup> –

3,85%. В Азовском море на интервал 0-0,05 мг/дм<sup>3</sup> приходилось 77,8 % всех значений, а на 0,05-0,1 мг/дм<sup>3</sup> – 22,2%.

Летом во время шторма в Таганрогском заливе содержания растворенного железа общего изменялись от 0,044 до 0,58 (в среднем 0,14) мг/дм<sup>3</sup>, а в Азовском море от 0,02 до 0,21 (в среднем 0,07) мг/дм<sup>3</sup>. В Таганрогском заливе на интервал 0-0,05 мг/дм<sup>3</sup> приходилось 3,85 %, на 0,05-0,1 мг/

дм<sup>3</sup> – 38,5%, на 0,1-0,15 мг/дм<sup>3</sup> – 23,1%, на 0,15-0,2 мг/дм<sup>3</sup> – 26,9%, на 0,2-0,25 мг/дм<sup>3</sup> – 3,85%, а на интервал 0,55-0,6 мг/дм<sup>3</sup> – 3,8%. А в Азовском море на интервал 0-0,05 мг/дм<sup>3</sup> приходилось 50%, на 0,05-0,1 мг/дм<sup>3</sup> – 31,25%, на 0,1-0,15 мг/дм<sup>3</sup> – 6,25%, на 0,15-0,2 мг/дм<sup>3</sup> – 6,25% и на интервал 0,2-0,25 мг/дм<sup>3</sup> – 6,25%.

В Таганрогском заливе за весь период наблюдения содержание растворенного железа общего колебалось от 0,04 до 0,58, в среднем 0,11 мг/дм<sup>3</sup>, что в 2,5 раза превышало ПДК для морских водных объектов рыбохозяйственного назначения. А в Азовском море от 0,017 до 0,21, в среднем 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Среднее содержание Fe<sub>общ</sub> в Таганрогском заливе было примерно в 2 раза выше, чем в Азовском море.

В осенний период наблюдений растворенное железо общее в Азовском море распределялось следующим образом: в поверхностном слое (рис. 1А) в открытой части моря содержание этого металла варьировало от 0,03 до 0,06 мг/дм<sup>3</sup>, в эстуарии от 0,04 до 0,16 мг/дм<sup>3</sup>, а в придонном слое (рис. 2А) в открытой части 0,02 – 0,07 мг/дм<sup>3</sup>, в эстуарии 0,04 – 0,19 мг/дм<sup>3</sup>. В летний период на поверхности (рис. 1Б) содержания этого металла колебались в

море от 0,03 до 0,17 мг/дм<sup>3</sup>, в заливе от 0,09 – 0,17 мг/дм<sup>3</sup>, а в придонном слое (рис. 2Б) в море 0,02 – 0,07 мг/дм<sup>3</sup>, в заливе 0,08 – 0,15 мг/дм<sup>3</sup>. Таким образом, оказалось, что во время безветренной погоды более высокой концентрацией растворенного железа общего характеризуются придонные слои воды, тогда как с ростом ветровой активности повышенные содержания этого элемента были зарегистрированы в обоих слоях моря.

Средние величины содержания растворенного железа общего во время штормовой обстановки оказались выше примерно в 1,5 раза по сравнению с таковыми во время штиля. Такое возрастание содержания Fe<sub>общ</sub> может быть обусловлено его переходом в водную толщу вследствие взмучивания донных отложений при усилении ветровой активности. Более высокой концентрацией растворенного железа общего, при любой погоде, характеризуются придонные слои воды. Концентрация растворенного железа общего независимо от погодных условий оказалась выше в Таганрогском заливе, чем в открытой части Азовского моря, что объясняется поступлением железа в Таганрогский залив с речным стоком.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект №19-05-00770.*

### Библиографический список

1. *Гараевская Л.С.* Картография. М., «Недра», 1971, 344 с.
2. *Коновалов С.Г., Назарова Л.Н.*, Картирование микроэлементов в речных водах. – Гидрохимические материалы, 1975. т. LXII. С. 37-42.
3. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Географиздат, 1961. 496с.
4. *Преображенский А.И., Сухов В.И., Билич Ю.С., Исаченко А.Г., Караваева З.Ф., Башмалавина Т.Н.* Составление и редактирование специальных карт. М., Геоиздат, 1961. 225с.
5. *Федоров Ю.А., Сапожников В.В., Агатова А.И., Аржанова Н.В., Белов А.А., Кузнецов А.Н., Лапина Н.М., Логинов Е.Б., Предеина Л.М., Семочкина Т.Б., Торгунова Н.И.* Комплексные экосистемные исследования в Российской части Азовского моря (18-25 июля 2006г.) // Океанология, 2007. Т. 47. № 2. С.316-319.
6. *Fedorov Yu., Dotsenko I., Dmitrik L., Mikhailenko A.* THE IMPACT OF WIND CONDITIONS ON THE LEVELS OF TOTAL IRON CONTENT IN THE SEA OF AZOV В сборнике: EMECS 11 - Sea Coasts XXVI. Joint conference. Managing risks to coastal regions and communities in a changing world ABSTRACT BOOK. Russian State Hydrometeorological University (RSHU), P.P.Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (IO RAS) and A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 2016. P. 220.
7. *Yu. A. Fedorov, I.V. Dotsenko, A.V. Mikhailenko* Mercury and organic matter in bottom sediments in the profile Don river – Sea of Azov // Conference Proceedings of 14-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2014. Bulgaria, 2014, Vol.II, PP. 717-723.

УДК 528.8: 911.52 (470.45)

Н.М. Хаванская, khavanskaya@volsu.ru  
 Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Россия

## АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ УЧАСТКА ДОНСКОЙ ПОЙМЫ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В статье приводятся предварительные результаты анализа современного состояния пойменных ландшафтов участка Большой Донской излучины в Волгоградской области. В программной среде ArcMap 10.3 был классифицирован снимок Landsat 8 и выделены типы сельскохозяйственных угодий: леса, сенокосы, пашни, отдельно водные объекты. В заключении статьи содержатся выводы об активном хозяйственном использовании пойменных ландшафтов изучаемой территории.

*Ключевые слова:* пойма, ландшафты, р. Дон, сельскохозяйственные угодья, Landsat 8.

N. Khavanskaya, khavanskaya@volsu.ru  
 Volgograd State University, Volgograd, Russia

## ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE OF LAND USE OF THE DON FLOODPLAIN LANDSCAPES ACCORDING TO DATA OF EARTH REMOTE SENSING

The article presents preliminary results of the analysis of the current state of floodplain landscapes of the section of the Big Don Bend in the Volgograd Region. In the ArcMap 10.4 software environment, a Landsat 8 image was classified and agricultural land types identified: forests, hayfields, arable land, and separately water bodies. The article concludes with conclusions about the active economic use of the floodplain landscapes of the study region.

*Keywords:* floodplain; landscape; Don; agricultural grounds, Landsat 8.

Пойменные ландшафты относятся к аazonальному типу ландшафтов, они встречаются в различных ландшафтно-климатических зонах мира. В Волгоградской области Большая Донская излучина охватывает территорию от г. Серафимович до г. Калач-на-Дону (вниз по течению). Данное исследование включает не всю территорию излучины, а только ее пойменную часть и представляет одно из направлений комплексных исследований пойменных ландшафтов региона [1, 2].

В исследовании был использован космический снимок Landsat 8, полученный американским спутником дистанционного зондирования Земли, выведенным на орбиту 11 февраля 2013 года [3]. Дата получения снимка – 14 июля 2016 года, разрешение – 30 м.

Для дешифрирования пойменных ландшафтов была проведена предварительная обработка снимка и составлен композит каналов (Composite Band) B6-B5-B4 в программе ArcMap 10.3. Выбор данной комбинации обусловлен тем, что она создает цветовой контраст, при котором здоровая растительность, особенно леса, имеют ярко-зеленый цвет, почва – от-

тенки розового, вода – от темно-синего до черного.

После проведенной обработки, вручную были дешифрированы границы поймы исследуемой территории. Дешифрирование сельскохозяйственных угодий проходило по методу «Классификация с обучением». Этот метод основан на том, что исследователь создает образцы обучающих полигонов и присваивает им соответствующие названия. Так на снимке были выделены обучающие полигоны: лес, сенокосы, пашня, вода. В завершении работы инструмента «Классификация» автоматически были выделены типы объектов, указанных в обучающих полигонах, для всей остальной территории.

Как было сказано ранее, по данным дистанционного зондирования было выявлено 4 типа сельскохозяйственных угодий. После векторизации растрового слоя была подсчитана их площадь: леса занимают около 200 км<sup>2</sup>, сенокосы – 235 км<sup>2</sup>, пашня – 140 км<sup>2</sup>, вода (Дон и его протоки) – 48 км<sup>2</sup>.

Приведенная структура землепользования демонстрирует активное хозяйственное использование поймы. Наиболее

предпочтительным видом сельскохозяйственного природопользования в условиях поймы является устройство сенокосов. Сочная луговая растительность представляет собой хорошую кормовую базу для крупного рогатого скота, а сенокосение способствует профилактике ландшафтных пожаров.

Около 23% поймы занимает пашня. Распашке подвергаются пойменные темно-каштановые и каштановые почвы. Пашни распложены отдельными участками вблизи населенных пунктов как в правобережной, так и левобережной части поймы.

Естественные леса сохраняются в прирусловой части поймы и западинах, расположенных в речных наносах Дона, куда

в половодье заходит вода. В целом плановый рисунок леса повторяет рисунок водных протоков и формирует так называемую «гривистую пойму».

Использованный метод дешифрирования космического снимка «Классификация с обучением» требует высокого уровня квалификации исследователя. В техническом выполнении может возникнуть проблема дешифрирования незначительных по площади вытянутых полигональных объектов, например, речных протоков. Поэтому для получения достоверного результата необходимо сопоставлять результаты дешифрирования с исходным космоснимком и, если необходимо, вносить коррективы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-45-340006.*

### Библиографический список

1. Солодовников Д.А., Хаванская Н.М., Вишняков Н.В., Иванцова Е.А. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. № 3. С. 106-114.
2. Солодовников Д.А. Методические основы моделирования динамики грунтовых вод речных пойм на примере Волго-Ахтубинской поймы // Природные системы и ресурсы. 2018. Т. 8. № 3. С. 67-74.
3. USGS EROS Archive - Landsat Archives - Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor) Level-1 [Data Products] // URL: [https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-oli-operational-land-imager-and?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-8-oli-operational-land-imager-and?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects) (date of access: 28.10.2019).

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

В статье рассматриваются информационные технологии, применяемые для изучения лесов, а также цели и задачи, решаемые теми или иными программными продуктами. Приведен перечень программ - картографический блок, который базируется на геоинформационных программах (отечественных и зарубежных разработках), а также краткое описание их основных функций.

*Ключевые слова:* информационные технологии, геоинформационные системы, база данных, лесное хозяйство, лесоустройство.

E. Sheluntsowa, scheluntsowa@yandex.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## **APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ANALYSIS OF FOREST PLANTS**

The article uses information technology used to study forests, as well as goals and objectives. The list of programs is given - a cartographic block, which is based on geographic information programs (domestic and foreign developments), as well as a brief description of their main functions.

*Keywords:* information technology, geographic information systems, database, forestry, forest management.

Информационные технологии – это совокупность методов и средств, используемых для сбора, хранения, обработки и распространения информации. Современное состояние информатизации лесного хозяйства позволяет надеяться на быстрое и повсеместное внедрение геоинформационных программ на производственные объекты [6].

Информационные технологии позволяют увеличивать эффективность природоохранных и хозяйственных функций лесного хозяйства в несколько раз благодаря возможности быстро и без ошибок обрабатывать большие массивы информации, получать аналитическую статистику по лесному фонду, обрабатывать и проектировать лесохозяйственные мероприятия на больших территориях в кратчайшие сроки. В развитии информационных технологий в лесном хозяйстве заинтересованы все участники лесной сферы [6].

Как важнейший компонент биосферы и источник ресурсов леса имеют глобальное экологическое, экономическое и социальное значение. Обеспеченность информацией о состоянии и динамике лесов планеты все еще остается недостаточной и не отвечает современным требованиям устойчивого управления лесными ресурсами [1].

Необходимость осуществления мониторинга лесов побуждают рассматривать дистанционные, и в особенности спутниковые наблюдения в качестве приоритетного источника информации о состоянии и динамике лесов, что определяет актуальность развития соответствующих методов обработки получаемых данных [1].

Использование различных методов анализа лесных насаждений обеспечивает практически недостижимое другими существующими средствами повышение уровня достоверности, оперативности и регулярности измерения ключевых характеристик состояния и динамики лесного покрова [1].

Одним из наиболее удобных инструментов для систематизации и обобщения данных о лесах являются геоинформационные системы (ГИС). Геоинформационная система – это совокупность программного обеспечения и данных для визуализации любой пространственной информации, анализа отношений между объектами, моделирования географических процессов и явлений [5].

Современное лесоустройство вполне освоило ГИС-технологии и активно применяет их в камеральном периоде своего производственного процесса при создании лесных карт. Используя в своих произ-

водственных процессах цифровые методы обработки данных и ГИС-технологий, лесоустроительные предприятия стали сегодня основными производителями первичных данных о лесном фонде. Имеются все предпосылки к тому, что лесоустройство самостоятельно либо совместно с разработчиками прикладного программного обеспечения ГИС станет основным поставщиком специализированных ГИС-технологий для лесного хозяйства [4].

Для решения ситуации с актуальностью лесоустроительной информации следует полностью переходить на использование геоинформационных систем и ведение баз данных (БД) лесных участков. Средний арендуемый лесной участок в РФ состоит из пяти тысяч выделов, обрабатывать таксационные описания, провести анализ и принять проектные решения без использования информационных технологий невозможно в разумные сроки, вследствие чего арендаторы с развитием электронно-вычислительных машин до современного уровня стали активно использовать ГИС и БД при ведении лесного хозяйства [6].

Функционально ГИС решает несколько задач [1]:

1) подготовка картографической продукции и статистической отчетности на WEB-серверах;

2) ежедневная работа с оперативными данными для оценки состояния лесов;

3) подготовка отчетных картографических материалов.

В настоящее время в лесном хозяйстве и лесной промышленности используется целое множество программного обеспечения от разных производителей: MapInfo, TopoL, ГеоГраф/GeoDraw, ЛабМастер, WinGIS/WinMap, ArcInfo, ArcView, MapEDIT, Easy Trace, ForsGIS, AviaFireProc, ERDAS, ГИС «Лесные пожары», ГИС «Лесные ресурсы» и другие [1].

В качестве примера использования ГИС в анализе лесных насаждений можно привести беспилотный летательный аппарат (БПЛА). Для обеспечения устойчивого лесопользования в Пермском государственном национальном исследовательском университете (ПГНИУ) ведутся научно-исследовательские работы с использованием аэрофотосъемки с БПЛА российского производства – Supercam S250-F.

Существует 5 основных направлений использования БПЛА при изучении лесов [2]:

- лесоустройство и определение отдельных характеристик;
- лесопатологическое обследование;
- противопожарная деятельность;
- техногенное воздействие на лес;
- противодействие незаконной хозяйственной деятельности.

Наиболее сложным является этап фотограмметрической обработки. Эта процедура требует высокой квалификации оператора в области обработки данных аэрофотосъемки. Фотограмметрическая обработка проводится с помощью программ Agisoft Photoscan и Photomod UAS [2].

В учебном пособии Вуколовой И.А. «ГИС-технологии в лесном хозяйстве» приведен перечень программ [3] - картографический блок, который базируется на геоинформационных программах (отечественных и зарубежных разработках), а также разработчики программ и краткое описание их основных функций (табл. 1), которые также применимы в изучении лесов.

Программы, приведенные в таблице, применяются в лесном хозяйстве для следующих целей [3]:

- лесоустройство и инвентаризация, создание лесных карт (на основе данных аэрофото-, космической съемки, материалов геодезической съемки, результатов таксации лесонасаждений);
- текущее планирование и проектирование лесохозяйственных мероприятий;
- формирование проектов лесопользования на передаваемых в аренду участках лесного фонда, с использованием баз картографических и лесотаксационных данных, подготовленных лесоустроительными предприятиями;
- оперативная работа служб охраны лесов от пожаров и лесопатологического мониторинга.

Таблица 1. Основные программные продукты, используемые при создании ГИС в лесном хозяйстве [3]

Название программы	Разработчик	Основные функции
Программы-векторизаторы		
1. Easy Trace	Фирма Easy Trace Group (Россия)	Создание векторных карт на основе их оригиналов (бумажные варианты, растры)
2. MapEdit	Фирма "Резидент" (Россия)	Автоматизированная векторизация картографических материалов, задание и ввод атрибутивных баз данных, поддержка систем географических координат, "сшив-ка" растровых изображений и векторных карт, поиск и исправление ошибок топологии, построение полигональных покрытий, фотограмметрическая обработка аэро- и космических снимков
3. GeoDraw	Центр геоинформационных исследований Института географии РАН (Россия)	Система ввода и редактирования цифровых карт
Программы для обработки данных дистанционного зондирования		
1. ERDAS Imagine Professional	Фирма ERDAS Inc. (США)	Многофункциональная фотограмметрическая обработка данных, дистанционного зондирования, синтез мультиспектральных изображений, различные варианты классификации изображений, двухмерная и трехмерная визуализация информации, подготовка информации для импортирования в ГИС
2. PHOTOMOD	Компания "Ракурс" (Россия)	Многофункциональная фотограмметрическая обработка данных стереосъемки, трехмерные измерения, создание цифровых моделей рельефа или объекта, автоматический расчет и визуализация горизонталей, создание и печать электронных карт
Программы для формирования ГИС-проектов и работы с ними		
1. MapInfo	MapInfo Corporation (США)	Создание интегрированных геоинформационных проектов, ГИС, подготовка к профессиональному изданию картографических документов

Название программы	Разработчик	Основные функции
2. WinGIS	Progis (Австрия)	Геоинформационная программа, создание и анализ электронных карт, возможность работы с дигитайзером
3. ГеоГраф	Центр геоинформационных исследований Института географии РАН (Россия)	Геоинформационная программа
4. TopoL for Windows	Help Service Mapping (Чехия)	Геоинформационная программа, эффективная работа с векторной и растровой информацией, возможность автоматизированной обработки растровых изображений. Разработано несколько вариантов модификации программы: TopoL Remote Sensing - для работы с данными дистанционного зондирования; TopoL 3D позволяет строить цифровую модель рельефа; PhoTopoL - специальный вариант системы для цифровой фотограмметрии; TopoL Track - для слежения за движущимися объектами (совмещен со специальным оборудованием) и др. версии
5. Arc View GIS	ESRI Inc. (США)	Настольная геоинформационная программа: выбор и набор геоданных, создание макетов карт, связывание объектов карты с атрибутивной информацией, адресное геокодирование
5. ArcGIS 9.3.2	ESRI Inc. (США)	Серия программных продуктов, составляющих наиболее совершенную ГИС. Состоит из: - настольных продуктов ArcGIS (Arc-View, ArcEditor, ArcInfo с дополнительными модулями), - ArcSDE - средств управления географическими БД в промышленных СУБД, - ArcIMS - средств распространения данных и предоставления ГИС сервиса через Internet
Системы для ведения лесного кадастра и лесоустройства		
АРМлесфонд	НВФ "Лабмастер" (Россия)	Повыдельная база данных и автоматизированный учет лесного фонда; возможен импорт/экспорт баз данных СОЛИ-2, АРМ таксатора, DBF, тестовый

В настоящее время комплексная обработка информации о лесном фонде обусловлена расширением технических возможностей современных информационных технологий. Одним из главных направлений развития лесоустроительных ГИС является более широкое использование дистанционных данных о лесном фонде и цифровых фотограмметрических систем, внедрение технологий в процесс полевых работ, связанных с инвентаризацией и мониторингом лесов [3].

Устойчивое управление лесным хозяйством возможно на основе актуальных и достоверных данных о лесных ресурсах, которые можно получить, только исполь-

зуя современные методы и технологии сбора, хранения, моделирования, преобразования и представления нужной информации [3].

Таким образом, использование специализированных программ ГИС лесопользователем и лесничеством практически автоматизирует подготовку документов, необходимых при использовании лесов, исключает повторное внесение информации в поведельную базу данных лесничества, обеспечивает ее поддержание в актуализированном состоянии, иными словами, обеспечивает непрерывное лесоустройство [6].

### Библиографический список

1. *Блохин Д.Ю.* ГИС-технологии в лесном хозяйстве и лесной промышленности // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2006. № 13. С. 14-16.
2. *Бузмаков С.А., Андреев Д.Н., Санников П.Ю.* Применение беспилотного летательного аппарата при исследовании состояния лесов // Геология, география и глобальная энергия. 2015. № 4 (59). С. 60-69.
3. *Вуколова И.А.* Учебное пособие: ГИС-технологии в лесном хозяйстве // Пушкино: ГОУ ВИПКЛХ, 2008. 79 с.
4. *Грачев М.В., Мартын И.А., Петров Я.А., Степанов С.Ю.* ГИС-технологии в лесном комплексе и лесной промышленности // В сборнике: Актуальные вопросы в лесном хозяйстве Материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых. 2019. С. 180-183.
5. *Санников П.Ю.* Геоинформационная база данных ООПТ Пермского края // Антропогенная трансформация природной среды. 2011. № 1. С. 124-129.
6. *Чермных А.И., Годовалов Г.А.* Информационные технологии в лесном хозяйстве // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 85-89.

# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРОГНОЗАХ

УДК 551.58:656.61 (470.620)

С.М. Авдеев, avdeev@rgau-msha.ru

*Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,  
г. Москва, Россия*

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОПАСНЫЕ ДЛЯ СУДОХОДСТВА В РАЙОНЕ ГОРОДА-ГЕРОЯ НОВОРОССИЙСК

В статье рассматриваются такие климатические факторы, как «Новороссийская бора» и шторма южной четверти. Они существенно затрудняют судоходство в Цемесской бухте и приводят к финансовым потерям судоходных компаний и порта.

*Ключевые слова:* Новороссийская бора, шторма, волнение моря, Цемесская бухта.

S.M. Avdeev, avdeev@rgau-msha.ru

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Moscow, Russia*

## CLIMATIC FACTORS DANGEROUS FOR NAVIGATION IN THE AREA OF THE HERO CITY OF NOVOROSSIYSK

The article deals with climate factors such as “Novorossiysk boron” and storms of the southern quarter. They significantly hamper navigation in the Tsemesskaya Bay and lead to financial losses for shipping companies and the port.

*Keywords:* Novorossiysk boron, storms, sea waves, Tsemesskaya Bay

В современном мире существует множество проблем, которые влияют на судоходство, среди которых важное место занимают климатические факторы.

Порт, который располагается в г. Новороссийске, обеспечен современным морским терминалом с применением передовых технологий для обслуживания судов с различными типами, назначениями и тоннажем.

При организации судоходства в акваториях и у причалов одной из главных задач является обеспечение безопасности стоянки судна на якоре, а так же маневрирование водного транспорта в границах портовых вод [1]. Данная проблема затрагивает не только Новороссийский торговый порт, но является актуальной для некоторых других портов России.

Эта проблема исходит из своеобразной орографии региона Цемесской бухты, в низовье которой находится порт Новороссийск, что в свою очередь определяет формирование специфических синоптических явлений в бухте и выступает в роли угрозы для судов, стоящих у причала и на рейде.

Речь идет о ветрах северо-восточного направления, зачастую достигающих сил урагана – «Новороссийской боре» и штормах южной четверти, – итогом которых становится весьма значительное волнение в бухте, что приводит к появлению толчеи и тягуна у определенных причалов. Здесь также необходимо учитывать возможные сценарии изменения климата, которые могут привести к неравномерности и увеличению количества осадков до 30 %, а также к изменению интенсивности

синоптических процессов [3].

В практике гидрометеорологии часто используется такой термин как «степень опасности причала» [2], зависящий от начальной скорости норд-оста и от характера расположения пирсов по отношению к генеральному направлению северо-восточного потока.

Традиционно под Новороссийской борой понимают ветры от 12 м/с и выше, имеющие продолжительность более 6 часов, что значительно затрудняет работу и навигацию на территории бухты. Это так же влияет не только на саму работу, но и на стоянку судна в акватории. Во время наступления такого неблагоприятного явления, как бора, судна часто приходится отшвартовывать и выводить в открытое море, что несет большие потери для компаний.

Новороссийская бора имеет 4 пути своего возникновения:

1. Стоковая бора относится к образованию первого типа, когда через хребет происходит протекание тонкого слоя холодного воздуха при условии небольших скоростей ветра на хребте и при его усилении у подножья хребта.

2. Внутримассовая бора возникает в тот момент, когда через хребет проникает холодный мощный поток воздуха. В случае если высота хребта мала в сравнении с вертикальными размерами потока, его (поток) рассматриваем как однослойный из-за соотношения высоты потока и гор.

3. Муссонная бора возникает в момент перетекания через хребет двухслойного потока с вертикальным размером нижнего холодного слоя одного порядка с высотой хребта. Верхний и нижний потоки имеют противоположное направление, разделе-

ны резко выраженной инверсией.

4. Фронтальная бора возникает при прохождении через хребет холодного фронта. Четвертый тип является наиболее опасным из-за того, что фронтальная бора не имеет специфики локализовываться в одном месте, что дает ей обосновываться на больших территориях и приносить большие потери.

Чаще всего рассматриваются два пути формирования боры. Первый представляет собой резонансное возбуждение подветренных волн в устойчиво стратифицированном пограничном слое, приводящее из-за нелинейных эффектов к обрушению волн и значительному усилению ветра на подветренной части гор. Второй механизм представляет собой гидравлическую модель вторжения струи стратифицированного воздуха в пограничный слой атмосферы над горой.

Помимо боры, существуют так же штормы южной четверти, под этим термином понимают усиление ветра южного, юго-восточного и юго-западного направлений. В отличие от новороссийской боры, у которой нижним пределом скорости мы принимали 12 м/с, у ветров южных штормов – это 10 м/с из-за того, что при данном направлении ветра волнение моря усиливается до 4 баллов [4].

Расчеты степени «опасности» стояния судна производились для 18 причалов бухты. Их расположение представлено на рис. 1.

Были выбраны причалы 1-5, 7, 10, 12, 15, 18, что дает нам возможность оценить степень опасности расположения судов, приблизительно стоящих на одинаковом расстоянии от берега, но находящихся в разных частях акватории. Список исследуемых причалов представлен в табл. 1.

Таблица 1. Исследуемые причалы

<i>Районы</i>	<i>Исследуемые причалы</i>
Нефтегавань Шесхарис	1, 2, 3, 4, 5, 7
Геопорт ПО «Южморгеология»	1, 2, 3, 4
Восточный район	1, 2, 3, 4, 5
Центральный район	7, 10, 12
Западный район	15, 18

Основной задачей текущего исследования является анализ штормовой активности в районе Новороссийска по данным НО ГК ГМОС. Проанализированные данные представлены в табл. 2. За период с

1995 по 2015 гг. в бухте Новороссийска зафиксировано 125 сильных штормов. Так же в таблицах представлены параметры гидрометеофакторов, зафиксированных во время наблюдения этих штормов.

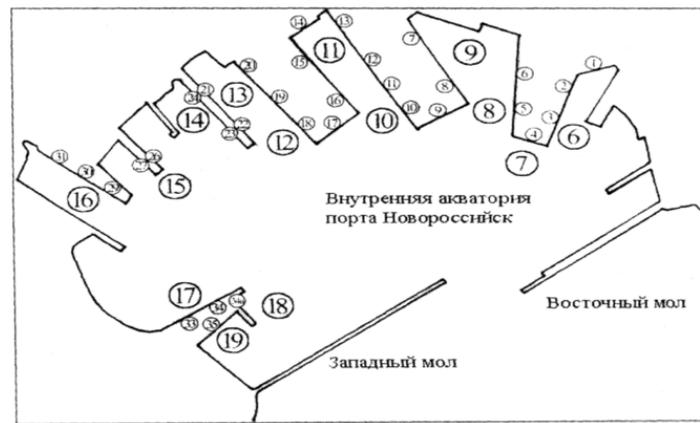


Рис. 1. Точки расчета гидрологических параметров волнения (внутренняя акватория)

Таблица 2. Ветры ураганной силы северо-восточного сектора за период с 1990 по январь 2015 гг.

<i>Год</i>	<i>Дата</i>	<i>Направление ветра</i>	<i>Максимальная скорость ветра, м/сек</i>	<i>Тип волнения</i>	<i>Максимальная средняя высота волны, м</i>
1	2	3	4	5	6
1996	28.фев	СВ	35-40	Ветровое	3,00
1997	04.фев	СВ	30-35	ветровое	3,00
	24.мар	СВ	30-35	Ветровое	3,00
1999	16.апр	СВ	30-36	Ветровое	3,00
	03.дек	СВ	30-35	Ветровое	3,00
	04.дек	СВ	30-35	Ветровое	3,00
2008	05.янв	СВ	35-40	Ветровое	3,5
	06.янв	СВ	35-40	Ветровое	3,5
	15.фев	СВ	33-38	Ветровое	3,5
	16.фев	СВ	33-38	Ветровое	3,5
	10.ноя	СВ	34-41	Ветровое	3,5
	11.ноя	СВ	34-41	Ветровое	3,5
	21.ноя	СВ	35-40 пор. > 40	Ветровое	4
	24.ноя	СВ	35-40 пор. > 41	Ветровое	4
	25.ноя	СВ	35-40 пор. > 41	Ветровое	4
01.дек	СВ	32-37	Ветровое	3,5	
2009	13.фев	СВ	30-37	Ветровое	3,3
	22.фев	СВ	30-38	Ветровое	3,5
2010	16.дек	СВ	32-39 пор. > 52	Ветровое	4
	17.дек	СВ	32-39 пор. > 52	Ветровое	4

Проанализировав многолетние данные можно сделать вывод, что преобладающими ветрами являются северо-восточные и составляют около 61 %, ветра южного направления около 40 % случаев. Для северо-восточных характерна большая скорость ветра (до 52 м/с). Ветра южного направления имеют свою специфичность в сильном ветровом волнении моря и зыбью, высота волн периодами достигает 5 м.

После проведенных расчетов были выявлены благоприятные и неблагоприятные районы акватории Новороссийска для стояния судна. Неблагоприятным оказался район Нефтегавани Шесхарис и район Геопорта, где были отмечены наибольшие

значения длины, высоты и периода волны, а так же отмечается наложение дифракционных волн. Факторы опасности также были наибольшими в этих районах. Благоприятными районами послужили Восточный, Западный и Центральный, только в исключительных случаях в них выделялись неблагоприятные факторы, такие как тягун в Центральном и Западном районе при действии южных штормов.

Таким образом, можно сделать вывод, что основа безопасной стоянки судна у причала при воздействии климатических факторов складывается из целого ряда характеристик, которые необходимо учитывать для грамотного анализа и прогноза.

### Библиографический список

1. *Ветровые волны и их воздействие на сооружения* / СоюзморНИИпроект и ГОИ, 2016.
2. *Гутман Л.Н., Франкель Ф.Н. Термогидродинамическая модель боры* / Доклады АН СССР, 1990. т.14, с. 140.
3. *Зміни режиму опадів в Україні* / Степаненко С.М. [и др.] // Агроєкологічний журнал, 2014. №2. С.10-16
4. *Лыткина И. И. Климатические особенности новороссийской боры*. Гидрометиздат, Л., 1984.

А.А. Алексеева, В.М. Лосев, В.М. Бухаров, alekseeva@mecom.ru  
ФГБУ «Гидрометцентр России», г. Москва, Россия

## ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОЗА ПАРАМЕТРОВ КОНВЕКЦИИ И ОПАСНЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ ПО ИНФОРМАЦИИ ДМРЛ-С

Рассматривается технология диагноза параметров конвекции и конвективных явлений погоды по информации ДМРЛ-С, в основу которой положена зависимость возникновения конвективных явлений от максимальной конвективной скорости, рассчитываемой по радиолокационным данным с пространственным разрешением  $0,05^\circ$  и временным разрешением 10 минут. Данным подходом диагностируются сильные осадки (интенсивность, ежечасные и полусуточные суммы). Для диагностирования града и шквала дополнительно привлекаются прогностические модельные данные о высоте нулевой изотермы, лапласиане приземного давления и скорости ветра в средней тропосфере. Комплексный подход позволяет диагностировать размер града, выпадающего на поверхность Земли, а также выделять шквалы градации опасных явлений. Технология функционирует в автоматизированном режиме, с записью диагностируемых полей в базу данных.

*Ключевые слова:* технология диагноза, максимальная конвективная скорость, интенсивность ливневых осадков, град на поверхности Земли и его размер, шквал, радиолокационные данные.

A.A. Alekseeva, V.M. Losev, V.M. Bukharov, alekseeva@mecom.ru  
FSBI «Hydrometeorological Center of Russia», Moscow, Russia

## A DIGITAL TECHNOLOGY FOR THE DIAGNOSIS OF CONVECTION PARAMETERS AND HAZARDOUS CONVECTIVE WEATHER EVENTS BASED ON DMRL-C DATA

The technology of diagnosing the convection parameters and convective weather events based on DMRL-C data is considered. It is based on the dependence of the convective phenomena occurrence on the maximum convective velocity calculated from radar data with a spatial resolution of  $0.05^\circ$  and a temporal resolution of 10 minutes. This approach diagnoses heavy precipitation (intensity, total hourly and semidiurnal amounts). To diagnose hailstorms and squalls, forecast model data on the zero isotherm height, the Laplacian of surface pressure, and wind speed in the middle troposphere are additionally used. An integrated approach allows diagnosing the size of hailstones falling to the ground, as well as distinguishing the severe squalls. The technology operates in an automated mode, with the record of diagnosed fields to the database.

*Key words:* diagnosis technology, maximum convective velocity, rainfall intensity, hailstones on the ground and their size, squall, radar data.

За рубежом существует понятие цифровых моделей погоды. Примером могут быть: Mesoscale Analysis and Prediction System (Среднемасштабная система анализа и предсказаний, MAPS) в США; модель NWP (Numerical Weather Predictions) в Западной Европе. Цифровые модели погоды в отечественной метеорологии носят название цифровых моделей метеорологических параметров [3]. Цифровые технологии относятся к инновационным технологиям (ИТ). Инновации в области прогнозирования базируются на цифровых базах данных текущей погоды и позволяют повысить качество метеорологического обслуживания населения. Помимо классической текстовой продукции появ-

ляется возможность предоставлять гидрометеорологические прогнозы и предупреждения в разнообразных формах, графических, цифровых в формате регулярной географической сетки. Оперативно-прогностическая система Росгидромета относится к разряду ИТ-систем еще с того времени, когда не существовало даже такого термина. В настоящее время разрабатываются инновационные технологии, которые могут быть внедрены только на новой суперкомпьютерной вычислительной платформе.

Инновационные цифровые технологии в области метеорологии охватывают сбор, обработку, кодирование и декодирование, анализ, усвоение полученной метео-

рологической информации, расчеты, методики комплексирования прогнозов. При этом важнейшим принципом инновационных технологий является обеспечение замкнутого цикла применения данных: от сбора метеоинформации до оценки качества прогноза. Аналогично создаются и инновационные технологии диагноза метеорологических параметров и явлений.

В связи с изменением климата в сторону потепления, погода, в том числе и в России, становится все более экстремальной, грозы, сильные ливни, град, шквал наблюдаются все чаще и становятся обыденными явлениями. Чаще стали фиксироваться до недавнего времени считавшиеся редкостью смерчи. До сих пор проблема точного прогноза таких явлений с достаточной для принятия превентивных мер заблаговременностью не решена. По мере приближения к сроку прогноза, роль прогностических моделей становится менее важной, а все внимание концентрируется на оперативной информации: спутниковых снимках, данных радиозондов, автоматических станций, самолетов, грозопеленгаторов и радаров. Особенное внимание уделяется радиолокационным данным, появившимся в последние годы, данным доплеровских локаторов. Эти данные позволяют вовремя скорректировать краткосрочный прогноз опасных конвективных явлений и дать или скорректировать штормовое предупреждение. Как известно, ДМРЛ-С непосредственно не обнаруживает явления погоды, они лишь косвенно идентифицируются по тому, или иному алгоритму [4]. На настоящее время нет результатов верификации идентификации опасных конвективных явлений по данным ДМРЛ-С. Используемое в настоящее время программное обеспечение диагностирования не является идеальным, возможно применение и других алгоритмов.

Доплеровский локаатор измеряет суммарный вертикальный поток воздуха, включая относительную скорость выпадения осадков. Основные движения, обнаруженные локатором, скорее вызваны скоростями падения осадков, чем вертикальными потоками воздуха. Поэтому вертикальные движения, обнаруженные доплеровским локатором, являются не

очень эффективным количественным показателем активной конвекции [6].

Разрабатываемая в ФГБУ «Гидрометцентр России» цифровая технология диагноза параметров конвекции и опасных конвективных явлений погоды по информации ДМРЛ-С базируется на созданной в Гидрометцентре России базе данных сети доплеровских локаторов ДМРЛ-С (DMRL), в сетке с шагом  $0.05^\circ$  г

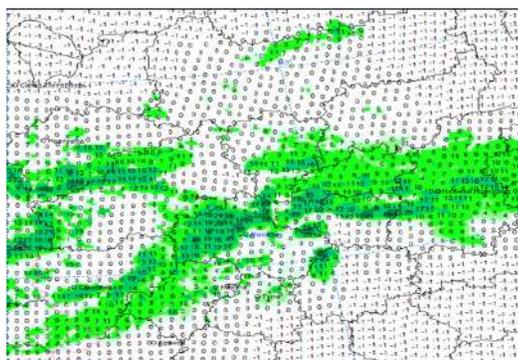
Подход к диагностированию и прогнозу опасных конвективных явлений погоды, разработанный российскими учеными и зарекомендованный на практике [5], успешно функционирует в новых условиях, на основе цифровых баз данных ДМРЛ-С, и позволяет уточнить существующие данные радиолокационного мониторинга опасных конвективных явлений погоды [4].

Результаты, достигнутые в прогнозе опасных конвективных явлений погоды на основе модельных данных [1], успешно используются в подходе к диагнозу, и, наоборот, результаты диагностирования открывают новые возможности совершенствования методов их прогноза. Во многих используемых на сети методах прогноза конвективных явлений погоды, включая градации опасных явлений, используется такой параметр, как максимальная конвективная скорость, вычисляемая путем построения и расчета модели конвекции либо по данным радиозондов, либо модельным данным. В России радиозондирование осуществляется всего 2 раза в сутки, а результаты модельных расчетов практически недоступны оперативным синоптикам, ввиду отсутствия данной информации в базах данных их выходной продукции, либо она не распространяется на сеть. Расчет этого важного параметра, являющегося эффективным количественным показателем активной конвекции, по данным радиолокационной информации с разрешением по пространству 4 км позволит синоптику в реальном режиме времени (каждые 10 мин) уточнить место и время возникновения опасных конвективных явлений, спрогнозированных внедренными ЦМКП Росгидромета методами форкастинга, что пока является труднодостижимым в прогнозе.

*Работа выполнена в рамках Плана научно-исследовательских, технологических и других работ Росгидромета для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на 2019 г. и продолжает выполняться в рамках Плана научно-исследовательских и технологических работ НИУ Росгидромета на 2020 г.*



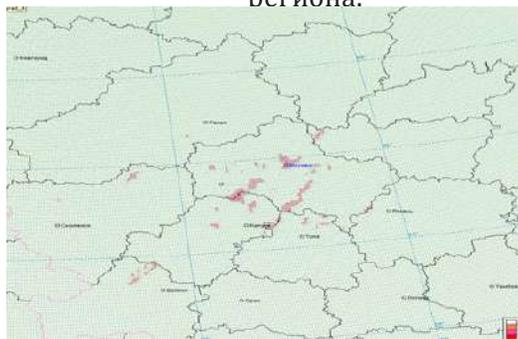
а) Радарные наблюдения за 12 ВСВ 29.05.2017 г. для Московского региона. © Гисметео.



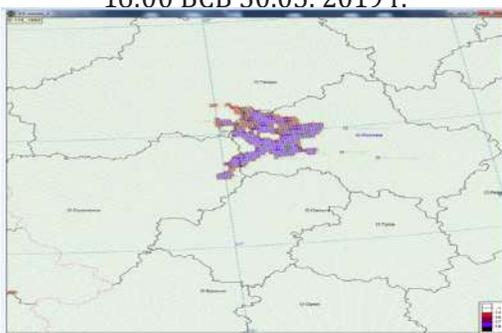
б) Максимальные конвективные скорости за 12:20 ВСВ 29.05.2017 г. для Московского региона.



в) Интенсивность ливневых осадков (мм/ч) за 16:00 ВСВ 30.05. 2019 г.



г) Град, выпадающий на поверхность Земли за период 06-18 ВСВ 30.06.2017 г.



д) Шквалы, рассчитанные по методу Б.Е. Пескова [5] за 19:00 ВСВ 13.07.2016 г.



е) Шквалы градации ОЯ за 18:40 ВСВ 13.07.2016 г.

Рис. 1. Фрагменты карт с диагностируемыми параметрами и явлениями конвекции: а) радарные наблюдения, Гисметео; б-е) максимальная конвективная скорость; интенсивность ливневых осадков; град, выпадающий на поверхность Земли; шквалы и шквалы градации ОЯ, диагностируемые представленной технологией

### Библиографический список

1. Алексеева А.А., Лосев В.М. Прогноз опасных конвективных явлений погоды в летний период года. Гидрометеорологические исследования и прогнозы. Труды Гидрометцентра России, выпуск 4(374), М., 2019, с. 127-143.
2. Алексеева А.А., Песков Б.Е. Оценка максимальной скорости конвективного потока, характеристик ливневых осадков и града по радиолокационной информации. Гидрометеорологические прогнозы. Труды Гидрометцентра России, выпуск 360, М., 2016, с. 135-148.
3. Антонович К.М., Фролова Е.К. Обзор современных методов получения метеорологической информации для использования в ГНСС технологиях. СГГА, Новосибирск. 2006. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sovremennyh-metodov-polucheniya-meteorologicheskoy-informatsii-dlya-ispolzovaniya-v-gnss-tehnologiyah/viewer>. (Дата обращения 31.01.2020).

4. *Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике* (вторая редакция). Росгидромет, М., 2017, 121 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://method.meteorf.ru/>, (Дата обращения 31.01.2020).
5. *Дональдсон Р.Дж., Чмела А.К.* Распределение средней вертикальной скорости в грозе и ее вариации. Проблемы радиолокационной метеорологии. Сборник статей и трудов 12 и 13 конференций по радиолокационной метеорологии. Гидрометеорологическое издательство, Л., 1971, с. 46-54.
6. *РД 52.27.339-93.* Руководство по диагнозу и прогнозу опасных и особо опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли. М.: РОСГИДРОМЕТ, 1996. 181 с.

УДК 551.582.2

В.Н. Аптуков, В.Ю. Митин, victormitin@ya.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет  
г. Пермь, Россия*

### **СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ОСАДКОВ В Г. ПЕРМИ**

В статье построена статистическая модель, позволяющая прогнозировать аномалии среднемесячных температур и месячных сумм осадков на основе исторических данных. В качестве предикторов используются статистические характеристики месячных рядов среднесуточных температур и суточных сумм осадков: среднее, среднеквадратичное отклонение, коэффициент асимметрии, индекс фрактальности за два предыдущих месяца. Средняя точность прогнозов направления аномалий среднемесячной температуры достигает 65-70 %, для осадков она превышает 50 %, причем в отдельные месяцы получено 60-80 % точных прогнозов за последние десять лет.

*Ключевые слова:* долгосрочное прогнозирование погоды, статистические модели, температура, осадки.

V.N. Aptukov, V.Yu.Mitin, victormitin@ya.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

### **STATISTICAL MODEL FOR FORECASTING AVERAGE MONTHLY TEMPERATURE AND PRECIPITATION ANOMALIES IN PERM**

The article presents statistical models that allow us making forecasts of anomalies of average monthly temperatures and monthly precipitation amounts based on historical data. The following statistical characteristics of monthly series of average daily temperatures and daily precipitation amounts are used as predictors: mean value, standard deviation, asymmetry coefficient, fractal index for the previous two months. The average accuracy of forecasts for the direction of the average monthly temperature anomalies reaches 65-70 %, for precipitation it exceeds 50 %, and in some months 60-80 % of accurate forecasts for the last ten years have been received.

*Keywords:* long-term weather forecasting, statistical models, temperature, precipitation.

Характер изменения базовых климатических параметров значительно влияет на жизнь и здоровье человека, а также на многие сферы его жизнедеятельности, на состояние окружающего мира и сохранение экологического баланса. Прогнозы климатических параметров делятся по прогнозному периоду на сверх- и краткосрочные – от 0,5 до 3 сут; среднесрочные – от 3 до 10 сут; с расширенным сроком –

от 10 до 30 сут; долгосрочные – месячные, трехмесячные, сезонные (до двух лет). Долгосрочные прогнозы погоды играют большую роль, например, в сельском хозяйстве, строительстве, медицине, экологии, причем наибольший интерес как для физических лиц, так и для организаций имеет прогнозирование аномалий температурного режима и осадков.

Прогнозирование требует переработ-

ки большого количества информации о климатических параметрах, полученной в различных наблюдательных пунктах (станциях) с привлечением разнообразного программного обеспечения и суперкомпьютеров. Современное прогнозирование погоды осуществляется на основе комбинации локальных и глобальных моделей Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). Среднесрочные прогнозы осуществляются на основе серии расчетов с корректирующимися начальными условиями. Отмечается, что на сегодняшний день сезонное среднесрочное прогнозирование является большой проблемой.

Возникает вопрос: возможно ли прогнозирование с небольшими временными и вычислительными затратами, на каком временном диапазоне это реально сделать и с какой степенью достоверности.

Существуют различные подходы к прогнозированию погоды [3], для долгосрочного прогнозирования часто используются физико-статистические методы [5-6].

Предлагаемые статистические модели долгосрочного прогнозирования среднемесячных отклонений климатических параметров базируются на следующих положениях.

1) Прогнозируемые переменные – среднемесячные отклонения (аномалии) температур и месячных сумм осадков от их среднемесячных значений в г. Перми. Предполагается, что на отклонения этих климатических параметров оказывают опосредованное влияние температурный режим и осадки предыдущих месяцев, их соответствующие отклонения от среднемесячных величин. При этом могут быть значимыми не только средние значения, но также другие статистические характеристики: среднеквадратичное отклонение, коэффициент асимметрии, индекс

фрактальности (оцениваемый через индекс вариации по методу минимального покрытия).

2) В основе прогнозирования лежит метод аналогов (повторяемости истории): предполагается, что характер аномалии погоды в прогнозируемом месяце будет таким же, каким он чаще всего был в том же месяце в те годы, когда погодные характеристики (предикторы) в предшествующие месяцы были аналогичными.

3) Предполагается, что климат обладает эффектом затухающей памяти поэтому наибольшее влияние на погоду в прогнозируемом месяце оказывают климатические характеристики нескольких последних предыдущих месяцев.

Основная идея состоит в наличии некоторых статистических связей между текущими отклонениями среднемесячных климатических параметров от среднемесячных климатических параметров их отклонений в предыдущие месяцы:

- глубина истории влияния (количество предыдущих месяцев) может быть различной, но из условия затухания отклонений следует, что наиболее сильное влияние оказывают отклонения двух предыдущих месяцев;

- искомые статистические зависимости (связи) являются различными для каждого прогнозируемого месяца;

- совокупность переменных-предикторов может оказывать более выраженное влияние на прогнозируемую переменную, чем предикторы, взятые по отдельности.

Статистические модели строятся следующим образом.

Пусть  $t(n,i)$  – месячный ряд среднесуточных температур,  $o(n,i)$  – месячная сумма осадков за календарный месяц с порядковым номером  $n$  года  $i$ . Обозначим  $mt(n)$ ,  $mo(n)$  – средние значения,  $s$

№	Переменные	$R[mt(3)] = -1$	$R[mt(3)] = 0$	$R[mt(3)] = 1$
1	$dt(2), do(1)$	1 (25 %)	0 (0 %)	<b>3 (75 %)</b>
2	$do(1), m$	1 (14,3 %)	1 (14,3 %)	<b>5 (71,4 %)</b>
3	$kt(1), m$	<b>12 (70,6 %)</b>	1 (5,9 %)	4 (23,5 %)
4	$do(2), ko(2)$	2 (20 %)	1 (10 %)	<b>7 (70 %)</b>
5	$ko(2), m$	2 (20 %)	1 (10 %)	<b>7 (70 %)</b>
Среднее	$(p = 5)$	30 %	8 %	<b>62 %</b>

Согласно данным таблицы 1, наиболее вероятное значение (62 %) имеет вариант  $R [mt(3)] = 1$  (повышенный температурный фон), который является прогнозируемым значением. Данный прогноз оказался верным: в марте 2019 г. среднемесячная температура воздуха в Перми составила  $-1,8^{\circ}$ , что выше климатической нормы на  $2,4^{\circ}$ , при этом было всего три дня с существен-

ной отрицательной аномалией.

Для каждого прогнозируемого параметра определен процент верных прогнозов аномалий за 10 лет, т.е. годы с реальным ранжированным значением данного климатического параметра  $R = 0$  не учитываются. Данные проверки для температуры приведены в табл. 2.

Таблица 2. Точность прогнозов температуры за 2009-2019 г.

Температура	Количество (процент) верных прогнозов	
	$p = 5$	$p = 15$
Месяц		
Март	6/9 (66,7 %)	6/9 (66,7 %)
Апрель	7/8 (87,5 %)	7/8 (87,5 %)
Май	7/9 (77,8 %)	8/9 (88,9 %)
Июнь	3/8 (37,5 %)	4/8 (40 %)
Июль	5/9 (55,5 %)	4/9 (44,4 %)
Август	5/9 (55,5 %)	6/9 (66,7 %)
Сентябрь	5/8 (62,5 %)	5/8 (62,5 %)
Октябрь	4/8 (50 %)	4/8 (50 %)
Ноябрь	6/8 (75 %)	7/8(87,5 %)
Декабрь	8/10 (80 %)	10/10 (100 %)
Итого	56/86 (65,1 %)	61/86 (70,9 %)

Аналогичные данные для осадков приведены в табл. 3.

Таблица 3. Точность прогнозов осадков за 2009-2019 г.

Осадки	Количество (процент) верных прогнозов	
	$p = 5$	$p = 15$
Месяц		
Март	7/9 (77,8 %)	7/9 (77,8 %)
Апрель	3/10 (30 %)	3/10 (30 %)
Май	6/8 (75 %)	5/8 (62,5 %)
Июнь	1/8 (12,5 %)	2/8 (25 %)
Июль	4/7 (57,1 %)	5/7 (71,4 %)
Август	2/7 (28,6 %)	2/7 (28,6 %)
Сентябрь	3/9 (33,3 %)	4/9 (44,4 %)
Октябрь	4/8 (50 %)	4/8 (50 %)
Ноябрь	8/9(88,9 %)	7/8(77,8 %)
Декабрь	6/9 (66,7 %)	5/9 (55,6 %)
Итого	44/84 (52,4 %)	44/84 (52,4 %)

По данным табл. 2 и 3 можно сделать следующие выводы. При прогнозировании температуры наилучшая точность (70,9 %) получена при  $p = 15$ . Зимние месяцы прогнозируются точнее летних. Лучший результат получен в декабре, где

верно определены все аномальные значения. Прогноз осадков в среднем обладает меньшей точностью (52,4 %), однако в отдельные месяцы (март, май, июль, ноябрь) получено 60-80 % точных прогнозов за последние десять лет.

### Библиографический список

1. Антуков В.Н., Митин В.Ю. Фрактальный анализ метеорологических рядов с помощью метода минимального покрытия // Географический вестник. 2019. №2(49). С. 67-79.
2. База данных ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/data> (Дата обращения: 25.01.2020).
3. Гирс А.А., Кондратович К.В. Методы долгосрочных прогнозов погоды. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 344 с.
4. Дубовиков М.М., Крянев А.В., Старченко Н.В. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов // Вестник РУДН. 2004. Т. 3. № 1. С. 30-44.
5. Малинин В.И. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: изд. РГГМУ, 2007. 279 с.
6. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: изд. РГГМУ, 2008. 408 с.

УДК 551.574.7

М.А. Волкова, Е.М. Болтушкина, О.Е. Нечепуренко, В.В. Чурсин, mv2101@mail.ru  
 Национальный исследовательский Томский государственный университет  
 г. Томск, Россия

### ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН ОБЛЕДЕНЕНИЯ НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В статье рассмотрены метеорологические и синоптические условия формирования зон обледенения в районе аэродрома Томск по данным бортовой погоды. Показана возможность применения актуальных и доступных в оперативном режиме данных микроволнового радиометра AMSU-A. Использование спутниковой информации в сочетании с физико-статистическими закономерностями позволило идентифицировать фактическую зону обледенения с высоким пространственным разрешением и оперативностью.

*Ключевые слова:* обледенение воздушных судов, бортовая погода, спутниковое зондирование

M. Volkova, E. Boltushkina, O. Nechepurenko, V. Chursin, mv2101@mail.ru  
 National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

### ASSESSMENT OF ICING IN-FLIGHT CONDITIONS OVER THE SOUTH-EASTERN PART OF WESTERN SIBERIA

The article discusses the meteorological and synoptic conditions leading to ice accretion on aircraft during flight in the area of Tomsk aerodrome according to pilot reports (PIREPs). The possibility of utilizing the accessible ongoing basis data from the AMSU-A microwave radiometer is shown. Using satellite remote-sensing data jointly with physical and statistical laws have helped to identify the actual icing zone with high spatial resolution and operativeness.

*Keywords:* in-flight icing, pilot reports (PIREPs), remote sensing

Одной из основных тенденций развития метеорологического обеспечения авиации является развитие сверхкраткосрочного прогнозирования и наукастинга на основе численного прогноза, дистанционных измерений, данных сетей наземных станций, а также самолетных измерений и передачи метеорологической информации с бортов. Обледенение воздушного судна в полёте создает угрозу безопасности полета, а в отдельных случаях даже приводит к летному происшествию, так как обледенение ухудшает аэродинамические и летные характеристики воздушных судов.

Чувствительность различных типов самолетов и вертолетов к обледенению неодинакова. Она зависит как от характеристик облака, так и от скорости полета и аэродинамических характеристик воздушных судов. Поэтому прогнозируется лишь «возможное» обледенение в слоях, где выполняется его необходимое условие.

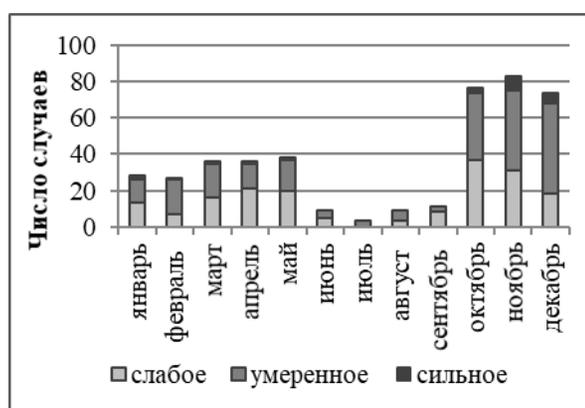
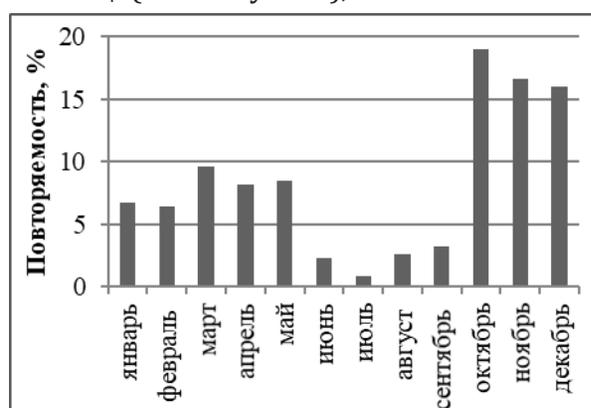
Для анализа условий обледенения воздушных судов рассмотрены данные метеорологических наблюдений из дневников погоды АВ-6 с АМСГ Томск, сообщения бортовой погоды (PIREP) с 2011 по 2019 гг. в районе аэродрома Томск. Дополнительно привлекались измерения микроволнового радиометра AMSU-A с полярно-орбитальных спутников Suomi, MetOp A, NOAA 19 и NOAA 20.

За период 2011-2019 гг. по данным бортовой погоды было зафиксировано 343 дня / 431 случай с обледенением. Наибольшее число случаев наблюдалось с октября по декабрь (рис. 1а) – в среднем по 7-9 дней в месяц (9-10 случаев), с максимальным

количеством в декабре 2015 г. (14 дней / 17 случаев). С наибольшей повторяемостью отмечалось обледенение умеренной (53 %) и слабой (41 %) интенсивности. Дни с сильным обледенением регистрировались с октября по май (рис. 1б) с максимумом в ноябре (8 за 9 лет).

В зависимости от нижней границы и мощности слоя обледенения выявлено, что опасное явление по данным бортовой погоды наблюдалось в слое от земли до 8000 м. Наибольшая повторяемость обледенения наблюдалась в слое с нижней границей  $\leq 500$  м (29,2 % – 126 случаев); с высотой повторяемость уменьшается, что связано с распределением температурно-влажностных характеристик по вертикали. Слабое обледенение чаще всего фиксировалось в слое 500-1000 м, а умеренное и сильное – на высоте 0-500 м. Наименьшая повторяемость обледенения наблюдалась в слое с нижней границей в диапазоне 3000-5000 м и составила 1,4 % (6 случаев).

Анализ форм облачности при наблюдающемся обледенении разной интенсивности показал, что наиболее опасными с точки зрения обледенения в районе аэропорта Томск является наличие кучево-дождевых (*Cb*) облаков в сочетании с разорванными дождевыми (*Frnb*), высоко-кучевыми (*Ac*), слоисто-кучевыми (*Sc*) и высоко-слоистыми (*As*). Сильное обледенение более чем в половине случаев (61 %) наблюдалось при наличии кучево-дождевой облачности, 17 % случаев – при фронтальной слоисто-дождевой облачности (*Ns*).



а

б

Рис. 1. Повторяемость числа дней (а) и число случаев с обледенением различной интенсивности (б)

Обледенение в большинстве случаев (70 %) сопровождалось различными видами атмосферных явлений, преимущественно осадками (снег, ливневый снег,

дождь, ливневый дождь, морось, переохлажденная морось, снежные зёрна), а также переохлажденным туманом и дымкой. Осадки в 77 % случаев выпадали в виде

ливневого снега или дождя.

Также были рассмотрены температурно-влажностные условия (дефицит точки росы, относительная влажность и температура воздуха) у поверхности земли в случаях с обледенением. Наибольшее число случаев с обледенением наблюдалось при высокой влажности со значениями дефицита точки росы у земли до  $2^{\circ}\text{C}$  и составило 277 случаев (65 %). Обледенение со слабой интенсивностью в основном встречается при дефиците от 0 до  $2^{\circ}\text{C}$  – 100 случаев (23 %). Умеренная интенсивность наиболее часто встречается при дефиците  $0 \div 1$  и  $1 \div 2^{\circ}\text{C}$ , 75 (17 %) и 81 (19 %) случаев соответственно, а при дефиците  $> 2^{\circ}\text{C}$ , зафиксирован всего 1 случай ( $< 1$  %) обледенения с умеренной интенсивностью. Обледенение с сильной интенсивностью наблюдалось в диапазоне дефицита  $0 \div 3^{\circ}\text{C}$ , с максимумом при  $0 \div 1^{\circ}\text{C}$  – 11 случаев ( $< 3$  %). Из анализа температуры воздуха у подстилающей поверхности выявлено наибольшее число случаев с обледенением различной интенсивности при диапазоне от  $-5$  до  $+5^{\circ}\text{C}$  (273 случая). Наибольшее число случаев было зафиксировано при относительной влажности воздуха у поверхности земли более 80 % (335 случаев), максимум – при относительной влажности  $80 \div 90$  % (141 случай). Сильное обледенение наиболее часто наблюдалось при влажности  $90 \div 95$  %.

Обзор синоптических процессов, способствующих формированию зон с обледенением, показал, что около 65 % случаев обледенения разной интенсивности фиксировалось при прохождении атмосферных фронтов, и 35 % – при внутримассовых процессах. При этом все случаи обледенения сильной интенсивности связаны с фронтальной облачностью. В среднем за период на фронты окклюзии пришлось около 25 %, на ситуации прохождения холодных фронтов – 31 % и теплых – 44 % всех случаев независимо от интенсивности. Обледенение отмечалось и при полетах в однородной воздушной массе при повышенном давлении – около 29 % нефронтальных случаев, преимущественно слабого обледенения, зафиксированы в антициклонах и барических гребнях.

На кафедре метеорологии и климатологии Томского государственного университета ведутся исследования метеорологических и синоптических условий формирования зон обледенения с использованием данных спутникового зондирования [4], а также совместно с Механико-математическим факультетом проводились численные эксперименты по

мезомасштабному моделированию обледенения в пограничном слое [2, 5, 8].

В настоящей работе для диагноза зон возможного обледенения показана возможность использования актуальной и доступной в оперативном режиме спутниковой информации микроволнового радиометра AMSU-A, сканирующего исследуемую территорию не менее 8 раз в сутки. AMSU-A представляет собой многоканальный микроволновый радиометр, который производит измерения в 15 дискретных частотных каналах ( $23 \div 90$  ГГц). Тридцать последовательных ячеек с разрешением «сцены» отбираются пошаговым сканированием каждые восемь секунд, причем каждое сканирование охватывает около 50 градусов по обе стороны от подспутниковой точки [6]. Работа по преобразованию обратного сигнала в метеорологические величины проводится с помощью программного комплекса MiRS [3].

Радиометр AMSU-A позволяет восстанавливать профили температуры и влажности до уровня 200 гПа, далее которые можно применять для сверхкраткосрочного прогноза зон обледенения с использованием различных физико-статистических закономерностей, в частности, NCEP алгоритма (1) и объективного метода прогноза обледенения Гидрометцентра СССР [1].

Приведём анализ случая с умеренным обледенением в районе аэродрома Томск 19 октября 2019 г. По данным бортовой погоды с 1:55 до 3:54 ВСВ зафиксировано умеренное обледенение в слое от земли до 3000 м. Информация с микроволнового радиометра AMSU-A выделила слой обледенения с помощью алгоритма NCEP в диапазоне от 1000 до 720 гПа, т.е. от земли до 3200 м (рис. 2), что также подтверждается результатами объективного метода прогноза [1] на уровнях 850 и 700 гПа (точки, характеризующие значения дискриминантных функций, лежат в зоне отрицательных значений, что свидетельствует о зоне обледенения).

Зона возможного обледенения самолетов по алгоритму NCEP [7] показана вертикальным профилем (рис. 2), для удобства визуального восприятия каждому уровню присваивается классификационный номер по оси X (0 – нет обледенения, 5 – обледенение возможно) в зависимости от соблюдения условий (1):

$$-16^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C} \text{ и } RH \geq 63 \% \quad (1)$$

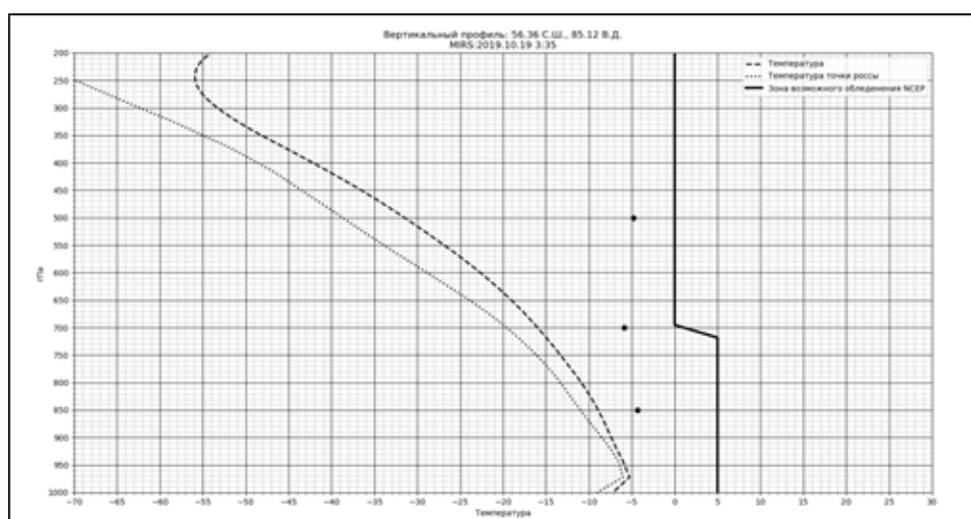


Рис. 2. Профиль зоны возможного обледенения по данным AMSU-A на основе алгоритма NCEP (черная сплошная линия) и объективного метода прогноза обледенения Гидрометцентра СССР (черные точки). Время полёта 3:35 ВСВ за 19.10.2019 г.

Представленные результаты верификации данных радиометра AMSU-A и бортовой погоды показали согласование в обнаружении фактической зоны обледенения в районе аэродрома Томск с вы-

соким пространственным разрешением и оперативностью получения информации до 20-30 мин с момента сканирования территории.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-45-700010 p\_a).*

### Библиографический список

1. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. Под ред. К.Г. Абрамович, А.А. Васильева. 1985. Л.: Гидрометеиздат, 301 с.
2. Старченко А.В., Кужевская И.В., Кижнер Л.И., Барашкова Н.К., Волкова М.А., Барт А.А. Оценка успешности численного прогноза элементов погоды по мезомасштабной модели атмосферы высокого разрешения TSUNM3 // Оптика атмосферы и океана, 2019. Т. 32. № 1. С.57-61.
3. Microwave Integrated Retrieval System (MIRS). [Электронный ресурс] URL: <https://www.star.nesdis.noaa.gov/mirs/>
4. Nechepurenko O. E., Kuzhevskaja I. V., Volkova M. A., Barashkova N. K., Kizhner L.I. Aircraft icing detection with satellite data in Southwestern Siberia // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 211. 2018. 012058. P. 1-8.
5. Sitnikov G. I., Starchenko A. V., Terenteva M. V., Barashkova N. K., Volkova M. A., Kuzhevskaja I. V., Kizhner L. I. Forecast of extreme weather conditions that promote aircraft icing during take-off or landing // Proc. of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2015. Vol. 9680. P. 1-7.
6. The Advanced Microwave Sounding Unit-A (AMSU-A). [Электронный ресурс] URL: <https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Metop/MetopDesign/AMSUA/index.html>
7. Thompson G., Brientjes R. T., Brown B. G., and Hage F. Intercomparison of in-flight icing algorithms. Part 1: WISP94 real-time icing prediction and evaluation program // Weather and Forecasting. 1997. Vol. 12. P. 848-889.
8. Volkova M. A., Starchenko A. V., Kuzhevskaya I. V., Bart A. A., Kizhner L. I., Barashkova N. K. Forecast of icing zones using possibilities of hydrodynamic simulation for the atmospheric boundary layer // Proc. of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 2016. Vol. 10035. P. 1-7.

В.П. Горбатенко, К.Н. Пустовалов, Д.А. Константинова, da\_konstantinova@mail.ru  
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

## ГРОВОЯ АКТИВНОСТЬ НАД БОЛОТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЛЕТОМ 2016 ГОДА

Изучены причины высокой грозовой активности над болотными комплексами Западной Сибири летом 2016 г. В качестве таких причин рассматриваются макроциркуляционные особенности анализируемого периода и увеличение неустойчивости атмосферы ввиду неоднородности прогрева подстилающей поверхности.

*Ключевые слова:* грозовая активность, атмосферная неустойчивость, болото

V.P. Gorbatenko, K.N. Pustovalov, D.A. Konstantinova, da\_konstantinova@mail.ru  
National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

## THUNDERSTORM ACTIVITY OVER SWAMP COMPLEXES OF WEST SIBERIA IN SUMMER 2016

The reasons for the high thunderstorm activity over the swamp complexes of Western Siberia in the summer of 2016 have been studied. As such reasons, the macrocirculation features of the analyzed period and the increase of atmospheric instability due to inhomogeneous heating of the underlying surface have been considered.

*Keywords:* thunderstorm activity, atmospheric instability, swamp

Лето 2016 г. по данным инструментальных измерений [9] было рекордно тёплым с середины XIX в. Северном полушарии вообще и для России в частности. Температурные аномалии были зарегистрированы и на севере Сибири. Например, аномалии средней летней приповерхностной температуры в районе полуострова Ямал превышали 6°C. Лето этого года характеризовалось наличием особенностей крупномасштабной атмосферной циркуляции, способствовавшей формированию аномального температурного режима над севером Западной Сибири на фоне увеличенного содержания метана в атмосфере [7]. Есть мнение, что повышение температуры в таких регионах приводит к оттаиванию мёрзлых почв и способствует увеличению эмиссии метана в атмосферу с обводнённых и заболоченных территорий. Несмотря на тот факт, что повышенных значений концентрации метана над центром западной Сибири не было замечено, а температура воздуха была даже несколько ниже средних значений, конвективные процессы в этот год были хорошо развиты.

Цель данной работы – анализ региональных особенностей формирования неустойчивости атмосферы над болотными комплексами Западной Сибири летом 2016 г.

Исходным материалом для оценки повторяемости числа дней с грозой за год послужили данные метеорологической сети Росгидромета об атмосферных явлениях с 1977 по 2017 гг. [2]. Значения индексов неустойчивости атмосферы KI и CAPE [6] за летние месяцы в узлах сетки 0,25° 0,25° за период июнь-август 2016 г. определялось по данным реанализа ERA5, который является пятым поколением реанализа глобальных атмосферных наблюдений, созданным Европейским центром среднесрочных прогнозов (ECMWF). Обладает высоким пространственным (0,25° - 0,25°) и временным (1 час) разрешением [10], а также высокой точностью описания температурного режима. Центр области высокого давления и положительных аномалий температуры воздуха летом 2016 г. территориально находился над полуостровом Ямал. Над центральной частью Западной Сибирию к югу от области высокого давления простиралась область низкого давления. Подобная картина расположения полей давления характерна для атмосферного блокирования дипольного типа. Согласно данным [13], в июле 2016 г. над Западной Сибирью часто формировались ситуации атмосферного блокирования. Продолжительные акционирования области низкого давления над этими районами формировали повышенную не-

стойчивость атмосферы и способствовали образованию гроз. Число дней с грозой в 2016 г. над центральной частью Западной Сибири превышало 30 дней, при среднем уровне грозовой активности над этими районами 18-22 дня [5]. Причем происходило это на фоне отрицательных анома-

лий температуры летнего периода над этим регионом. Величина отрицательных аномалий температуры воздуха достигала  $-3^{\circ}\text{C}$ , несмотря на это конвективные процессы над территорией центра Западной Сибири были весьма активными (рис. 1-2).

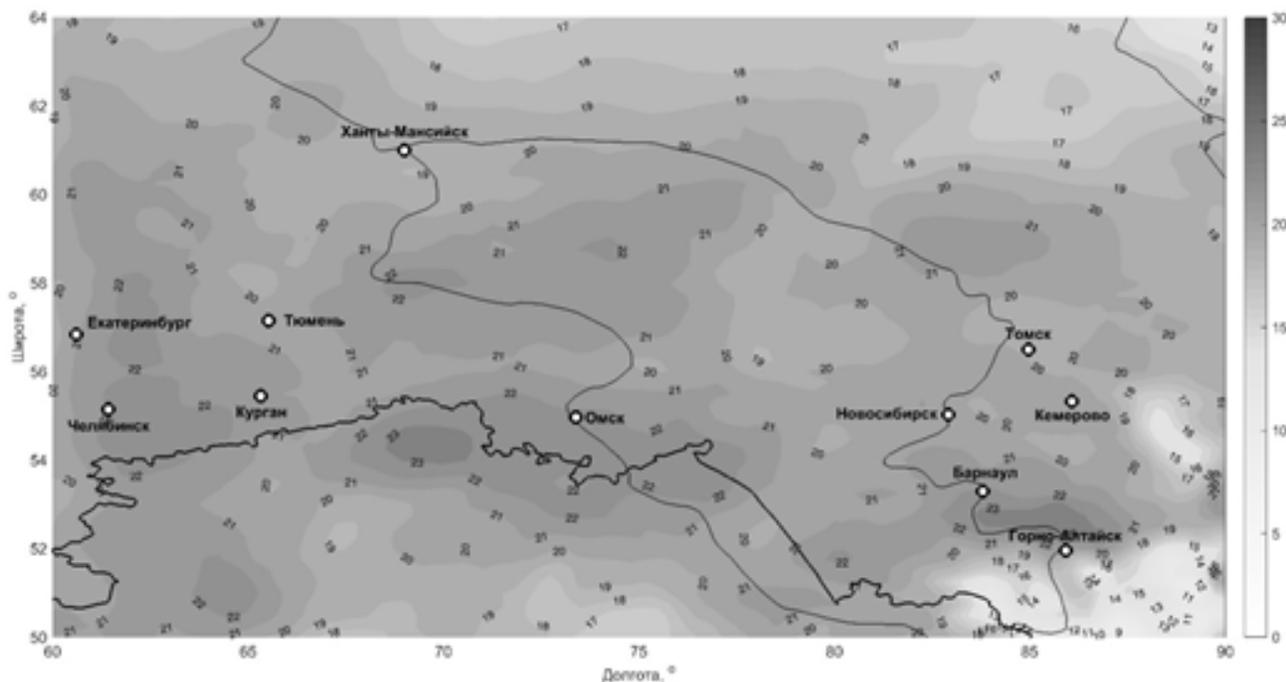


Рис. 1. Средние значения индекса KI по данным реанализа

На рис. 1 и 2 представлено пространственное распределение зон конвективной неустойчивости, определяемой по индексам KI и CAPE [6] по данным реанализа за июнь-август 2016 г.

Наличие очагов пространственной неоднородности в значениях индексов, осредненных за грозовой сезон очевидно. Неоднородность, обусловленная орографическими причинами (Уральские горы и Алтай), сопоставима с неоднородностью, формирующейся над болотными комплексами междуречья Обь-Иртыш.

Итогом наличия большого числа дней с хорошо развитой конвекцией стал высокий уровень грозовой активности (рис. 3), где заметное увеличение числа дней с грозой в 2016 г. демонстрируют метеорологические станции северной территории Томской области.

Поскольку столь высокий уровень грозовой активности над центральной частью Западной Сибири случается не часто, необходимо понимать, является ли он следствием только макроциркуляционного процесса, или на фоне глобально потепления происходят изменения физических характеристик атмосферы Запад-

ной Сибири, способствующие углублению параметров неустойчивости атмосферы и увеличению повторяемости опасных конвективных явлений.

Заметим, что на территории Западной Сибири тенденция к замедлению потепления в тёплый и переходный период не прослеживается [3]. Атмосфера Западной Сибири теплеет, и при наличии местных источников влаги с ее болотных пространств, становится более влажной и более неустойчивой. В районе Ханты-Мансийска в 2014 г. был замечен даже смерч [8], при отсутствии ярко выраженных процессов блокирования. Это дает основания полагать, что атмосферная неустойчивость увеличивается не только благодаря участвующим в последнее десятилетие процессам блокирования, но и в результате изменения температурно-влажностных свойств атмосферы.

Одной из причин таких изменений могут быть процессы, обуславливающие увеличение содержания метана в атмосфере Западной Сибири, особенно заметное с 2007 г. Согласно исследованиям Earth System Research Laboratory [12], в 1985 г. средняя концентрация метана в атмосфере Земли составляла 1620 ppb (частей на

миллиард), к 2015 г. она увеличилась до 1800 ppb. До промышленной революции концентрации оставались стабильными на уровне около 700 ppb [11]. Но темпы роста в последние десятилетия были не равномерными. В период с 1980-х по 1992 гг. количество метана возрастало примерно на 12 ppb в год. Затем наступило десяти-

летие, в котором отмечалась фаза медленного роста на 3 ppb в год. В период с 2000 по 2007 гг. концентрации метана в атмосфере стабилизировались, а начиная с 2007 г., эмиссии метана снова начали расти, и продолжается устойчивый рост, со скоростью 6 ppb в год.

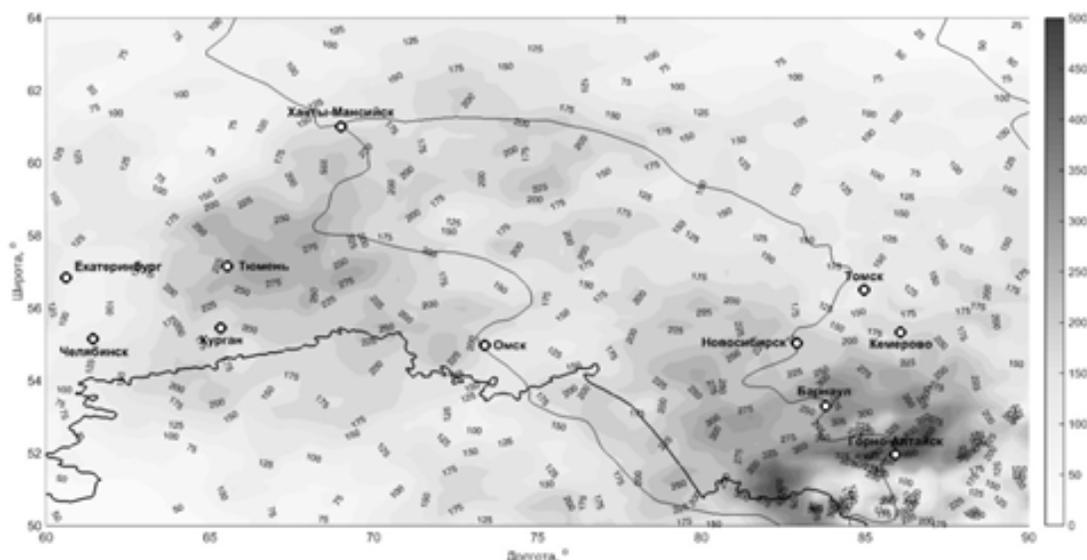


Рис. 2. Средние значения индекса CAPE по данным реанализа

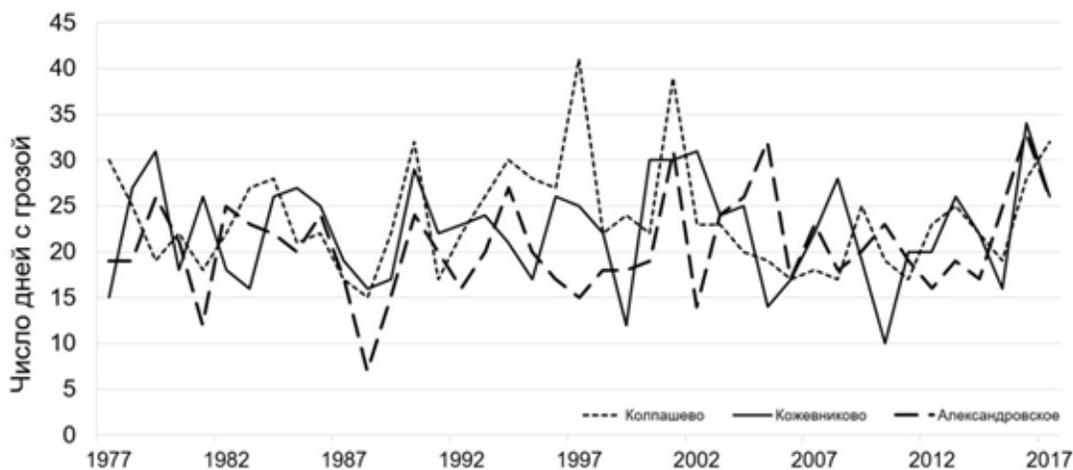


Рис. 3. Динамика числа дней с грозой по наблюдениям метеостанций

Согласно измерениям наземных станций [1] и картам глобального масштаба, опубликованным NASA, в приземной атмосфере Западной Сибири имеется очаг высоких эмиссий метана [14]. В атмосфере Западной Сибири содержание метана значительно из-за наличия болотных комплексов в междуречье Обь-Иртыш. Учитывая его высокую теплоемкость, можно ожидать и увеличения значений температуры почв и воздуха над этими комплексами. По всей видимости, эти увеличения

происходят не равномерно над всей территорией по причине разнообразия структуры болотного комплекса, а фрагментарно, при этом увеличивая бароклинность атмосферы над этим районом. И даже если этот процесс не играет решающей роли в имеющихся тенденциях потепления климата Сибири, его вклад в изменение климата на региональном уровне очевиден. Наибольшего эффекта от повышенного содержания метана в приземном слое воздуха Западной Сибири, согласно [4], можно

ожидать в течение месяца после сезонного максимума выделения метана в атмосфере и после 2007 г.

На фоне увеличения средних годовых значений температуры воздуха рост содержания водяного пара в атмосфере и проявления ее неустойчивости в целом ожидаемы. Можно предполагать, что увеличение грозовой активности после 2007 г. обусловлено усилением неустойчивости атмосферы Западной Сибири именно под влиянием этого фактора.

В результате проделанной работы можно заключить следующее в послед-

нее десятилетие наблюдается увеличение числа дней грозой, особенно резкое увеличение было замечено в грозовой период 2016 г., уровень грозовой активности в этот год превысил средний многолетний в 1,5 раза.

Причинами тому могут быть два обстоятельства: макроциркуляционные особенности в виде процесса блокирования, сформировавшегося над исследуемой территорией, и температурно-влажностная неоднородность подстилающей поверхности, сформировавшаяся над болотными комплексами Западной Сибири в виду неоднородности ее прогрева.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-45-700010 p\_a.*

### Библиографический список

1. Бажин Н.М. Метан в окружающей среде / Аналитический обзор – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2010. 56 с.
2. Булыгина О.Н., Веселов В.М., Александрова Т.М., Коршунова Н.Н. Описание массива данных по атмосферным явлениям на метеорологических станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620081 [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/data/345-atmosfernye-yavleniya-sroki#описание-массива-данных>
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
4. Глаголев М.В., Шнырев Н.А. Летне-осенняя эмиссия CH<sub>4</sub> естественными болотами Томской области и возможности ее пространственно-временной экстраполяции // Вестник МГУ, сер. Почвоведение, 2008. №2. С. 24-36.
5. Горбатенко В.П., Ершова Т.В. Молния как звено глобальной электрической цепи. Монография. – Томск, Издательство ТГПУ, 2011. 204 с.
6. Горбатенко В.П., Константинова Д.А. Конвекция в атмосфере над юго-востоком Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана, 2009. Т. 22, № 1, С. 17-21.
7. Ситнов С.А., Мохов И.И. Аномалии содержания метана в атмосфере над севером Евразии летом 2016 года // Доклады Академии наук, 2018. Т. 480, № 2, С. 223-228.
8. Чернокульский А.В., Курганский М.В., Захарченко Д.И., Мохов И.И. Условия формирования и характеристики сильного смерча на Южном Урале 29 августа 2014 г. // Метеорология и гидрология, 2015. № 12. С. 29-37.
9. Climate Research Unit [Электронный ресурс]. URL: [www.cru.uea.ac.uk](http://www.cru.uea.ac.uk)
10. Copernicus Climate Change Service. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present [Электронный ресурс]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
11. Earth observatory. NASA [Электронный ресурс]. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MethaneMatters>
12. Earth System Research Laboratory [Электронный ресурс]. URL: <https://www.climate.gov/>
13. Global climate change group [Электронный ресурс]. URL: <http://solberg.snr.missouri.edu/gcc/>
14. Visible earth. NASA [Электронный ресурс]. URL: <https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=5270>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГОДОВОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ И ОБЩЕЙ ОБЛАЧНОСТИ ПО М/С ПЕРМЬ И ОРЕНБУРГ

В статье рассматривается годовой ход температуры и облачности в различных по климатическим условиям районах и в различные периоды климатической изменчивости. Выявлены особенности годового хода облачности в Оренбурге по сравнению с Пермью.

*Ключевые слова:* годовой ход облачности, климатические изменения температуры

E. Zavyalova, S. Morozova, lenok\_1987.87@bk.ru, swetwl@yandex.ru

Saratov State University, Saratov, Russia

## RESEARCH OF THE ANNUAL PROGRESS OF TEMPERATURE AND GENERAL CLOUD IN PERM AND ORENBURG

This article discusses the annual course of temperature and cloud cover in regions with different climatic conditions and in different periods of climatic variability. The features of the annual cloud cover in Orenburg and Perm are revealed.

*Keywords:* annual cloud cover, climate temperature changes

Современное глобальное потепление, наблюдаемое на планете, по-разному проявляется в различных регионах [9]. Иногда региональные различия проступают весьма существенно [11].

Цель настоящей работы – проанализировать изменения приземной температуры воздуха в двух смежных регионах, существенно отличающихся орографическими особенностями, характеристиками увлажнения, преобладающими типами ландшафтов. Это территория западного склона Среднего Урала и Южное Предуралье. Температурный режим исследуемых регионов характеризовался по данным метеорологических станций г. Пермь и г.

Оренбург. Временным интервалом исследования стал промежуток с 1966 по 2018 гг. Стоит отметить, что выбранный интервал соответствует двум климатическим периодам состояния земной климатической системы – периоду стабилизации (50-60-е гг. XX в.) и второй волне глобального потепления, начавшейся (с середины 70-х гг. прошлого века по настоящее время с существенной приостановкой в начале нулевых годов XXI в.). Обоснование выделения периодов приведено в источнике [10].

На рис. 1 приведен годовой ход температуры по двум исследуемым станциям. Данные взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД [1].

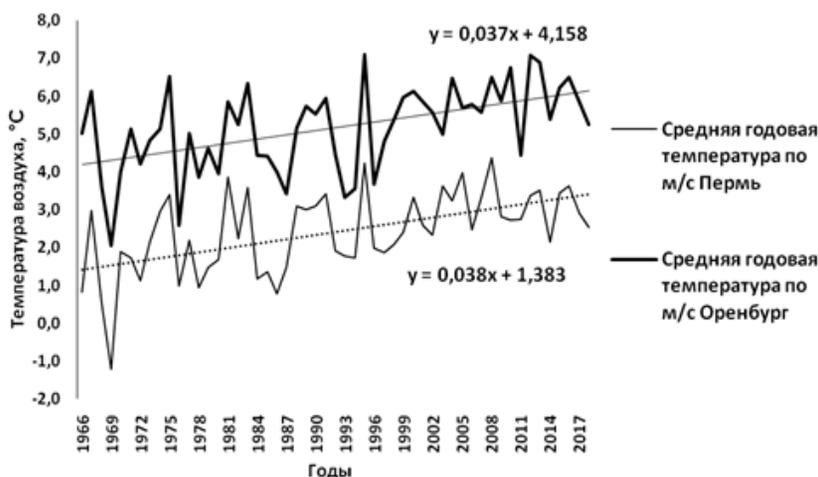


Рис. 1. Изменение средней годовой температуры воздуха по м/с Пермь и м/с Оренбург

По рис. 1 можно заключить, что изменения температуры воздуха в этих двух регионах происходят синхронно. Скорость роста температур на этих двух станциях одинакова ( $\alpha = 0,037$  по метеостанции Оренбург,  $\alpha = 0,038$  по метеостанции Пермь. За указанный промежуток времени по м/с Пермь (53 года) температура выросла с  $1,4^{\circ}\text{C}$  до  $3,3^{\circ}\text{C}$  (на  $0,3^{\circ}\text{C}$  за 10 лет), по м/с Оренбург температура также выросла с  $4,2^{\circ}\text{C}$  до  $6^{\circ}\text{C}$  (также на  $0,3^{\circ}\text{C}$  за 10 лет).

Одной из причин роста приповерхностной температуры воздуха называется повышение содержания углекислого газа в атмосфере [9]. Однако не стоит упускать из виду естественные природные механизмы, которые, в большинстве случаев, способствуют сохранению климато-экологического равновесия и препятствуют необратимости процессов в земной климатической системе. Одним из таких факторов может быть облачность.

Облачный покров остается метеорологической величиной, роль которой в наблюдаемых климатических изменениях с достаточной степенью точности не определена. Стоит указать, что глобальные климатические изменения так или иначе связаны с глобальным тепловым балансом, который сильно зависит от количества поступающей к различным участкам земной поверхности солнечной радиации. Количество поступающей радиации по большей части определяется облачностью. Таким образом, водяной пар участвует в формировании термического режима планеты и является радиацион-

но-активным компонентом атмосферного воздуха. Поэтому изучение облачного покрова представляет большой научный и практический интерес.

Сведения о климатических изменениях облачности можно получить из разных источников [4, 7, 8]. В [8] представлены данные об облачности, полученные по материалам наблюдений в первой половине XX в. Указывается, что для Северного полушария средняя облачность в тот временной промежуток составляла 5,2 балла, для Южного полушария (кроме материка Антарктида, где облаков существенно меньше) – 5,6 балла. Таким образом, средняя облачность для всего земного шара оказалась равной 5,4 балла.

По оценкам, полученным с учетом данных о количестве облаков в 50-е – 80-е гг. XX в. [4, 7], среднее количество облаков на земном шаре составило 6,1 балла. При этом в Северном полушарии – 5,9 балла, в Южном – 6,2 балла. Таким образом, общее количество облаков возросло и в целом по земному шару, и в каждом из полушарий. Наблюдаемый рост количества облаков вполне объясним, так как в связи с ростом температуры воздуха увеличивается влагосодержание атмосферы.

Рассмотрим изменение общего количества облаков в исследуемых регионах. Данные по общей облачности взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД [1]. Использовалось количество (баллы) общей облачности в различные часы суток, по этим данным рассчитывалась среднегодовая облачность.

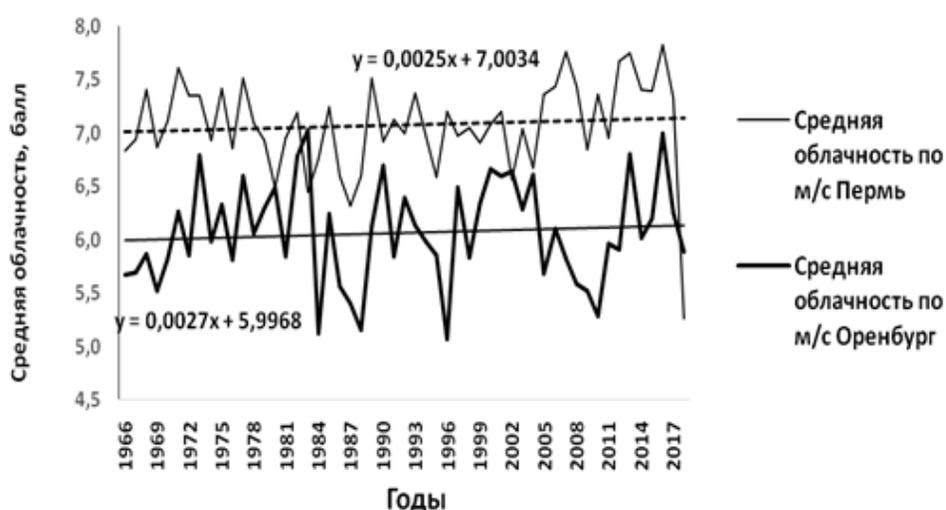


Рис. 2. Изменение средней облачности по м/с Пермь и м/с Оренбург

По рис. 2 можно заключить, что количество общей облачности практически не изменилось в исследуемый промежуток времени на этих двух станциях. В то же

время среднее многолетнее количество облаков в Перми больше, чем в Оренбурге, на 1 балл, что хорошо согласуется с общегеографическими закономерностями

распределения метеорологических параметров. По метеостанции Пермь среднее многолетнее количество облачности составило 7,1 балл, по метеостанции Оренбург 6,1. Однако следует отметить, что на исследуемом временном интервале скорость роста количества облаков по метеостанции Пермь несколько меньше, чем по метеостанции Оренбург.

С количеством облаков тесно связано количество выпадающих осадков. По данным [IPCC] и Второго Оценочного Доклада об изменениях климата на территории Российской Федерации, количество осадков увеличивается в гумидных зонах и уменьшается в аридных. Замеченный слабый рост общей облачности в аридной зоне (южное Предуралье) с гумидной (Средний Урал) можно расценить как некий природный фактор, препятствующий «излишнему» прогреву аридной области.

На рис. 2 представлено изменение среднего годового количества общей облачности по метеостанциям Оренбург и Пермь.

Однако следует указать, что облачно-радиационные процессы по-разному проявляются в холодное и теплое полугодия. Поэтому в дальнейшем планируется рассмотреть сезонный ход облачности в различных климатических провинциях.

Для оценки климатической роли облачности и радиационной связи облачность – температура к временным рядам этих метеорологических величин был применен метод интегрально-разностных кривых (ИКР). Метод ИКР позволяет выделять периоды с преобладанием положительных (отрицательных) аномалий рассматриваемых величин на выбранном временном отрезке и заключается в последовательном суммировании отклонений величины от средней многолетней, вычисленной для данного периода. Каждая точка интегрально-разностной кривой соответствует сумме отклонений от многолетнего среднего значения, накопленного от начала ряда до данного года [2].

В ходе исследования были построены совмещенные графики интегрально-разностных кривых облачность – температура (рис. 3).

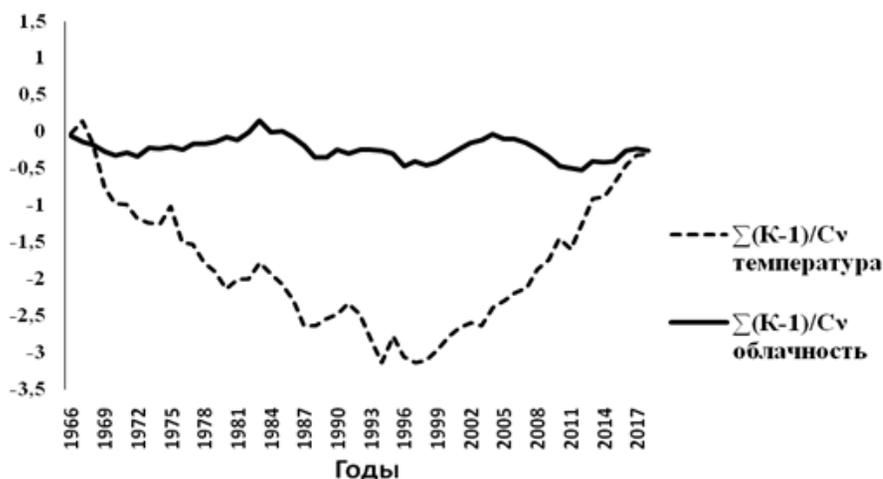


Рис. 3. Интегрально-разностные кривые хода средней годовой температуры воздуха и облачности по м/с Оренбург (составлено автором)

Анализ связи облачность – температура по метеостанции Пермь показал ярко выраженное расхождение кривых в период стабилизации и согласованность их хода во вторую волну глобального потепления. Таким образом, по данным метеостанции Пермь обнаруживаются различия радиационно-тепловых эффектов облачности в различные климатические периоды. Данный вывод согласуется с результатами, полученными ранее для Нижнего Поволжья и Северо-Западного региона России [3, 5, 6].

По метеостанции Оренбург (рис. 3) не прослеживается облачно-радиационной связи, по-разному проявляющейся в периоды климатической изменчивости.

Таким образом, климатические изменения метеорологических параметров и взаимосвязь между ними имеют свои особенности в разных регионах на фоне наблюдающейся климатической изменчивости.

**Библиографический список**

1. *Всероссийский* научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных [Электронный ресурс]. URL:<http://aisori-meteo.ru/waisori/>
2. Дроздов О.А. О свойстве интегрально-разностных кривых // Труды ГГО, 1964. Вып 162. С. 3-6.
3. Завьялова Е.В., Морозова С.В., Молчанова Н.П. Облачно-радиационные процессы и климатическая изменчивость // Геоэкология и природопользование: актуальные вопросы науки, практики и образования. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2018. С. 129-133.
4. *Климат России*. Под ред. Н.В.Кобыщевой. СПб.:Гидрометеиздат, 2001. 655 с.
5. Морозова С.В. О возможной роли облачности в настоящих климатических изменениях // Труды ГГО, 2017. Вып. 586. С. 251-260.
6. Морозова С.В., Завьялова Е.В. Сравнительная характеристика годового хода облачности и температуры по м/с Саратов, Москва и Санкт-Петербург //Агрометеорология XXI века, ч. 2: материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию Ю.И. Чиркова, Москва: Издательство РГАУ – МСХА, 2019. С. 205-210.
7. *Справочник по климату СССР «Облачность и атмосферные явления»*. Л.:Гидрометеиздат, 1968. Вып. 12. Часть V. 248 с.
8. Хромов С.П. Метеорология и климатология. Л.: Гидрометеиздат. 1983. 456 с.
9. *Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate change 2013: The physical science basis*. Cambridge. *Cambridge University Press* 1535.
10. Morozova S.V. et al. Variability of the circulation processes in the Lower Volga Region on the background of global climate trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental, 2018. Volume 107. 2018. P. 1-8.
11. Morozova S.V., Polyanskaya E.A., Kononova N.K., Molchanova N.P. and Solodovnikov A.P. Peculiarities of the global climate tendencies in the south-east Russian plains // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 381, 2019.

## РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

В статье проводится оценка солнечных ресурсов, возможных для практического использования для территории Якутии. В связи с недостаточным количеством данных наблюдений использованы косвенные методы расчета солнечной радиации, оценена их погрешность. Построены карты распределения солнечной радиации для территории Якутии.

*Ключевые слова:* суммарная солнечная радиация, гелиоэнергетические ресурсы, косвенные методы

V.A. Zadvornyykh, O.V. Trofimova, sun@main.mgo.rssi.ru

*The Federal State Budgetary Institution "Voeikov Main Geophysical Observatory", Saint Petersburg, Russia*

## REGIONAL ASSESSMENT OF SOLAR ENERGY RESOURCES ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

The article assesses the solar resources that can be used in practice for the territory of Yakutia. Due to the insufficient amount of observational data, indirect methods for calculating solar radiation were used, and their error was estimated. Maps of the distribution of solar radiation for the territory of Yakutia are constructed.

*Keywords:* global solar radiation, solar energy resources, indirect methods

В настоящее время в связи с изменением климата и необходимостью снижения выбросов парниковых газов тенденция развития мировой энергетики направлена на увеличение доли внедрения экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Это способствует обеспечению устойчивого тепло-и энергоснабжения населения и производства в зонах децентрализованного энергоснабжения, что увеличивает энергетическую безопасность регионов и страны в целом. Кроме того, внедрение возобновляемых источников энергии рассматривается как ключевой инструмент в адаптации к изменению климата.

Как показывают выполненные в ГГО исследования по оценке солнечного потенциала территории России [4], Якутия обладает достаточными ресурсами солнечной радиации для обеспечения ее отдаленных и труднодоступных районов энергией. По данным ОАО «Сахаэнерго» на территории Якутии уже 18 функционирующих солнечных электростанций (СЭС), установленная мощность крупных из их числа составляет 90 кВт, а на одной – 1 МВт. Сеть объектов СЭС увеличивает свой потенциал с каждым годом.

В связи с тем, что на территории Якутии, площадь которой превышает 3 млн км<sup>2</sup>, сеть актинометрических станций

очень редкая, то для оценки солнечного потенциала и для расчетов режима работы солнечных установок возникает необходимость либо применения косвенных методов определения солнечной радиации, в первую очередь основного компонента радиационного режима – суммарной радиации, либо обращения к открытым и доступным базам данных, например, NASA SSE [10].

В основе разработанных и применяющихся методов расчета радиационных характеристик лежат некоторые общие принципы, позволяющие представить «расчетную актинометрию» не как сводку эмпирических приемов, основанных только на статистических сопоставлениях, а как некоторую систему функциональных связей, обоснованную физически. Использование этих зависимостей всегда связано с необходимостью уточнения эмпирических коэффициентов, входящих в формулы для расчета.

С начала 20-х гг. XX в. и по настоящее время изучению этих зависимостей уделяется большое внимание как отечественных, так и зарубежных исследователей. Анализ литературных источников [1-3, 5-7, 9] показывает, что точность косвенного определения суммарной радиации еще далека от окончательного разрешения. Многие исследования ограничены, как

правило, короткими рядами актинометрических наблюдений.

В данной работе для расчета суммарного прихода солнечной радиации на горизонтальную поверхность были использованы методики А. Онгстрема, Т.Г. Берлянд и И.В. Слесаренко [2, 6, 7]. Формула А. Онгстрема основана на связи суммарной радиации с продолжительностью солнечного сияния, формула Т.Г. Берлянд – на связи суммарной радиации с количеством общей облачности, формула И.В. Слеса-

ренко, предложенная им для территории Дальневосточного ФО, учитывает связи суммарной радиации с продолжительностью солнечного сияния и облачностью. Информация по этим характеристикам достаточно полная. Как видно из таблицы, на примере для Верхоянска, меньшую погрешность в оценке годовых сумм суммарной радиации косвенным методом дают расчеты с использованием продолжительности солнечного сияния (формула А. Онгстрема с уточненными для данной территории коэффициентами) [6, 8].

Таблица. Разница (%) между среднемесячными суммами суммарной радиации, рассчитанными по формулам А. Онгстрема (1), Т.Г. Берлянд (2), И.В. Слесаренко (3), по данным NASA SSE (4) и данными наблюдений на станции Верхоянск

Вид данных	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	125	9	3	2	2	-3	-6	4	0	9	38		0
2	100	22	9	8	11	9	11	11	10	13	46		11
3	-50	7	2	-2	-9	-10	-8	0	-9	-13	-23		-4
4	-35	-8	-7	-9	2	3	4	7	13	2	-16		1

На основании расчетов были построены карты (рис. 1), из которых видно, что независимо от способа расчета сохраняется общий характер поля распределения годовых сумм суммарной радиации – рост в направлении с северо-запада на юго-восток [8].

В процессе работы была сделана попытка использования спутниковой информации для оценки радиационного режима. В базе данных NASA SSE [10] представлены среднемесячные дневные суммы суммарной радиации за период 1983-2005 гг. для всего Земного шара в узлах сетки с шагом  $1 \times 1^\circ$ . На рис. 2 приведено распределение годовых сумм суммарной радиации по спутниковым данным, из которого видно, что общая закономерность распределения радиации на территории региона согласуется как с расчетами по использованным методикам [2, 6, 7], так и с данными наблюдений [8].

В заключение следует отметить, что достоверная оценка солнечного потенциала территории Якутии, основанная только на данных наблюдений не представляется возможной в связи с очень редкой сетью актинометрических наблюдений. Пополнение информации для оценки потенциала и разработки региональных карт с использованием косвенных методов расчета показало, что независимо от способа расчета сохраняется общий характер поля распределения годовых сумм суммарной радиации – рост в направлении с северо-запада на юго-восток.

Использование спутниковой информации для региональной оценки прихода солнечной радиации требует дополнительных исследований. В условиях продолжающегося сокращения наблюдательной сети в РФ необходимо дальнейшее развитие этих работ с привлечением большего количества информации, как по времени, так и по охвату территории.

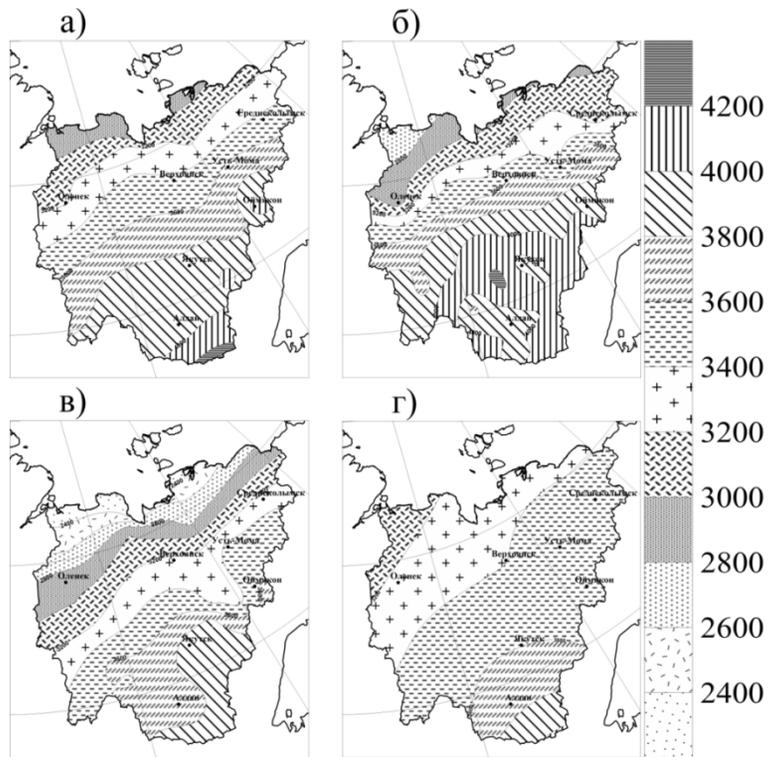


Рис. 1. Распределение годовых сумм суммарной радиации, рассчитанных по методу А. Онгстрема (а), Т. Г. Берлянд (б), И. В. Слесаренко (в), и по данным срочных наблюдений (г).

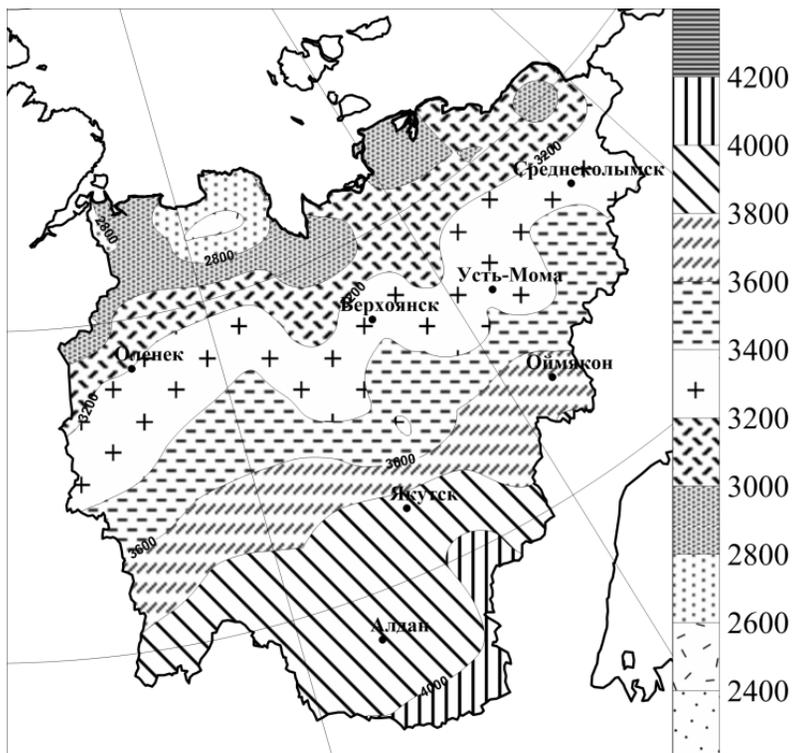


Рис. 2. Годовые суммы суммарной радиации (МДж/м<sup>2</sup>) по данным NASA SSE за период 1983-2005 гг.

## Библиографический список

1. Аверкиев М.С. Об универсальной формуле для расчета суммарной радиации // Метеорология и гидрология, 1962. № 2. с. 27-30
2. Берлянд Т.Г. Распределение солнечной радиации на континентах. Л.: Гидрометеоздат, 1961. 227 с.
3. Даффи Дж., Бекман У. Основы солнечной теплоэнергетики. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2013. 885 с.
4. Елистратов В.В., Акентьева Е.М., Борисенко М.М., Кобышева Н.В., Сидоренко Г.И., Стадник В.В. Климатические факторы возобновляемых источников энергии. Издательство «Наука», 2010. 235 с.
5. Кондратьев К.Я. Радиационные характеристики атмосферы и земной поверхности. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 564 с.
6. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 223 с.
7. Слесаренко И.В. Совершенствование систем теплоснабжения с солнечными водонагревательными установками (на примере Дальневосточного региона): дисс. канд. техн. наук: 05.23.03. Владивосток: ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. 196 с.
8. Трофимова О.В., Задворных В.А. Косвенные методы расчета суммарной солнечной радиации для оценки гелиоэнергетических ресурсов региона на примере Якутии // Труды ГГО, 2017. Вып. 587. С. 125-136.
9. Rietveld M.R. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine // Agricultural Meteorology, 1978. V. 19. P. 243-252.
10. The NASA Surface Meteorology and Solar Energy Data Set (2009). [Электронный ресурс] URL: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

УДК 556.53

М.В. Захарова, ZaharovaMV@tksu.ru

Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия

### ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА Р. ОКИ В СТВОРЕ Г. КАЛУГИ

В статье рассматриваются особенности внутригодового распределения стока реки Оки в створе г. Калуги в современный период. Установлены значения внутригодового сезонного стока с вероятностью превышения 95 %. Выполнено внутрисезонное распределение стока маловодной группы водности. Установлено перераспределение стока между месяцами и сезонами года.

*Ключевые слова:* водный режим, речной сток, внутригодовое распределение, сезонный сток.

M.V. Zakharova, ZaharovaMV@tksu.ru

Kaluga State University after named K.E. Tsiolkovski, Kaluga, Russia

### ANNUAL DISTRIBUTION OF STREAM FLOW OF OKA RIVER IN THE HYDROLOGIC STATION OF KALUGA

The article is devoted to the study of the features of annual distribution of the Oka river flow in the hydrological station of Kaluga in the modern period. The values of annual seasonal flow with a probability of exceeding 95 % were established. The seasonal distribution of low-water group of water bearing of river was done. There was a redistribution of river flow between the months and seasons of the year.

*Keywords:* water regime, river flow, annual distribution, seasonal flow.

Главным элементом возобновляемых водных ресурсов является речной сток. Речные воды активно используются в хозяйственной деятельности, что не может не сказываться на водном режиме самих рек.

Проводимые в речном бассейне хозяйственные мероприятия делятся на две большие группы. Виды хозяйственной деятельности, не связанные с непосредственным забором воды из рек, относятся к первой группе. Примером подобной деятельности может послужить вырубка леса или его восстановление, осушение болот, агротехнические мероприятия, урбанизация территорий.

Вторая группа водохозяйственной деятельности связана с непосредственным вмешательством, преобразующим естественный речной сток. Это, например, забор воды на орошение сельскохозяйственных угодий, промышленное и коммунальное водоснабжение, перераспределение и регулирование речного стока посредством возведения разнообразных гидротехнических сооружений. В результате этих водохозяйственных мероприятий изменяется как величина водного стока, так и его внутригодовое распределение [2].

Потребность в изучении внутригодового распределения речного стока в современный период диктуется необходимостью адаптации сложного водохозяйственного комплекса к сезонным изменениям стока под влиянием климата [6].

Например, сведения о внутригодовом распределении речного стока могут быть использованы для определения гарантированных минимальных или максимальных расходов воды и продолжительности их стояния для планирования водоснабжения населения городов с целью обеспечения экологической безопасности в изменяющихся климатических условиях. Водоснабжение в г. Калуге и Калужской области осуществляется из подземных и поверхностных источников, однако известно, что 50 % от общего объема приходится на долю именно поверхностных водозаборов [1], кроме того, по данным [5] с 1985 г. около 2/3 населения Калуги снабжается водой из р. Оки.

В данной работе методом компоновки [4] выполнен расчет внутригодового распределения стока по данным гидрологических ежегодников и материалов ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической

информации – Мировой центр данных» (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД») на р. Оке в створе г. Калуги за период 1987-2017 гг. в условиях использования водных ресурсов реки для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Расчет внутригодового распределения стока представляет собой количественную оценку распределения стока по сезонам года и месяцам, а также, при необходимости, по декадам и неделям внутри месяца.

Для решения поставленной задачи потребовалось выделить сезоны и выполнить расчет распределения стока по сезонам, вычислив поэтапно эмпирическую обеспеченность для водохозяйственного года, лимитирующих периодов и сезонов, построить кривые обеспеченности и считать распределение стока, как по сезонам, так и внутри сезонов для заданной вероятности превышения [4].

В гидрологических расчетах принято, что расчет внутригодового распределения стока производится по водохозяйственным годам, а не за календарный год, поэтому год начинается с многоводного сезона. Для всех лет ряда наблюдений сроки сезонов назначаются едиными и по рекомендациям справочника [3] в данной работе установлены следующими: весна с марта по май (3 месяца), лето-осень с июня по ноябрь (6 месяцев), зима с декабря по февраль (3 месяца). Таким образом, в работе для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения за лимитирующий период (ЛП) принята часть года с июня по февраль, за лимитирующий сезон (ЛС) – периоды с июня по август и с декабря по февраль, т.е. маловодные периоды.

При расчете по методу компоновки внутригодовое распределение стока принимается из условия равенства вероятности превышения стока за год, стока за лимитирующий период и внутри него за лимитирующий сезон. Вероятность превышения гарантированной отдачи воды установлена на уровне 95 % согласно с видом водохозяйственного использования.

В соответствии с установленными границами водохозяйственного года, лимитирующего периода и сезонов были подсчитаны суммы месячных расходов и модульные коэффициенты с помощью стандартных средств пакета Microsoft Office Excel. Для рядов модульных коэффициентов за водохозяйственный год, лимитирующий период и лимитирующий сезон был проведен расчет параметров кривых распределения вероятностей и

расчетных квантилей методом наибольшего правдоподобия (табл. 1), построены эмпирические и аналитические кривые с использованием программного средства автоматизации инженерных гидро-

логических расчетов HydroStatCalc, разработанного в ФГБУ «ГГИ». В качестве аналитической кривой выбрана хорошо соответствующая эмпирическим точкам кривая Крицкого-Менкеля.

Таблица 1. Параметры кривых распределения вероятности стока

Статистические параметры	Водохозяйственный год	Лимитирующий период	Лимитирующий сезон	
			лето-зима	лето-осень
$C_v$	0,24	0,21	0,23	0,26
$C_s$	0,38	0,74	0,84	1,02
$C_s / C_v$	1,59	3,55	3,61	3,95
$\sigma_{\epsilon}$	0,02	0,02	0,02	0,04
$\sigma_{\epsilon}$	0,39	0,43	0,43	0,46

Относительная средняя квадратическая ошибка среднего многолетнего значения стока для всех рядов составила менее 5 %, относительная средняя квадратическая ошибка коэффициента вариации находится в пределах 10-15 %, что означает репрезентативность принятого ряда наблюдений.

Распределение по сезонам годового стока заданной вероятности превышения 95 % устанавливается определением стока за лимитирующий период и сезон той же вероятности превышения, которая принята для годового стока.

Таким образом, были последовательно определены абсолютные значения стока заданной вероятности превышения, которые составили 2227 м<sup>3</sup>/с за водохозяйственный год, 1216 м<sup>3</sup>/с за лимитирующий период и 835 м<sup>3</sup>/с за лимитирующий сезон. Сток третьего (весеннего) сезона (или нелимитирующий период), не входящий в лимитирующий период, был определен по разности стока за год и лимитирующий период и составил 1011 м<sup>3</sup>/с. Сток за нелимитирующий сезон, входящий в лимитирующий период, установлен по разности стока лимитирующих периода и сезона и составил 382 м<sup>3</sup>/с.

По полученным значениям стока заданной обеспеченности в работе определены доли стока в процентах от годового и представлены в табл. 2. Полученные

результаты свидетельствуют о том, что в течение водохозяйственного года в годы малой водности отмечается перераспределение стока в сторону увеличения относительных величин стока в лимитирующий период до 54,6 % от годового и уменьшения в нелимитирующий период до 45,4 %. В весенний и зимний лимитирующий сезоны сток 95 % обеспеченности составляет 37,5 % от годового.

Однако поскольку наибольший практический интерес представляет распределение стока не столько по сезонам года, сколько внутри них по месяцам, то в данной статье был выполнен расчет внутрисезонного распределения стока маловодной группы водности р. Оки на гидрологическом посту в г. Калуге.

Внутрисезонное распределение стока по методу компоновки принимается осредненным для каждой группы лет определенной водности. Для этого при числе лет наблюдений более 25-30 выделяются 5 групп водности: очень многоводные (обеспеченностью менее 16,7 %), многоводные (обеспеченностью 16,7-33,3 %), средние по водности (обеспеченностью 33,3-66,7 %), маловодные (обеспеченностью 66,7-83,3 %), очень маловодные (обеспеченностью более 83,3 %) [4]. В соответствии с целями данной работы рассматривались только последние две группы водности, которые определялись как маловодные.

Таблица 2. Значения внутригодового сезонного стока вероятностью превышения 95 %

Периоды и сезоны	Месяцы	Абсолютное значение стока 95 % вероятности превышения, м <sup>3</sup> /с	Сток заданной обеспеченности в % от годового
В/х год	III-II	2227	100
Лимитирующий период	VI-II	1216	54,6
Нелимитирующий период	III-V	1011	45,4
Нелимитирующий сезон	IX-XI	382	17,1
Лимитирующий сезон	VI-VIII, XII-II	835	37,5

Обработка значений стока каждого сезона начиналась с выделения маловодной группы водности, затем определялись суммарные многолетние месячные расходы воды и средние месячные расходы воды с распределением по сезонам для каждого года, подсчитывались месяц и

число случаев повторения расходов, а также устанавливался наиболее часто повторяющийся месяц.

В табл. 3 приведены результаты внутрисезонного распределения стока в процентах от сезонного для маловодной группы водности сезонов.

Таблица 3. Расчетное распределение стока по месяцам

Характеристика	Весна			Лето-осень						Зима		
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Относительное распределение, % от сезонного	28,3	54	17,7	21,4	15,0	13,9	15,5	16,3	17,9	37,7	32,3	29,9

Анализ внутрисезонного распределения стока показал, что весной 54,0 % стока проходит в апреле, летом 21,4 % стока – в июне. С июля по ноябрь распределение стока практически неизменно и варьирует от 13,9 % в августе до 17,9 % в ноябре. В зимний период сток также устойчив, но несколько выше, чем в летне-осенний период. В целом такое распределение стока внутри летне-осеннего и зимнего межених периодов свидетельствует об устойчивости подземного питания.

Результаты распределения абсолютных значений стока вероятностью превышения 95 % представлены графически в виде гистограммы (рис. 1).

Таким образом, для маловодной группы водности на гидрологическом посту р. Оки – г. Калуги за последние 30 лет наблюдается уменьшение доли стока нелимитирующего периода (весна) до 46 % от годовой величины, увеличение доли стока лимитирующего периода (лето-осень, зима) до 54 % от годовой величины, при этом доля зимнего стока составляет 18 %, а доля стока за летне-осенний период – 35 %. Данные результаты подтверждают особенности внутригодового распределения стока бассейна Оки, отмеченные авторами [6], которые связаны с уменьшением неравномерности внутригодового распределения стока и увеличением доли межениго стока, особенно в зимний период.

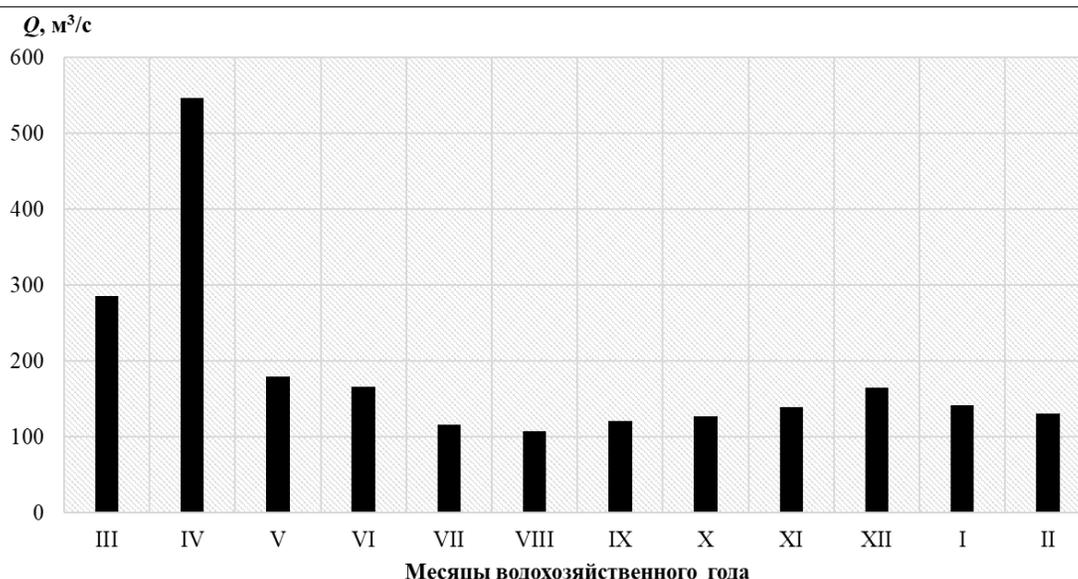


Рис. 1. Расчетное распределение стока 95 % обеспеченности р. Ока – г. Калуга

### Библиографический список

1. *Калугаоблводоканал. О предприятии. История и объекты.* [Электронный ресурс] URL: [http://vodokanal-kaluga.ru/o\\_predpriyatii/novaya\\_stranica/](http://vodokanal-kaluga.ru/o_predpriyatii/novaya_stranica/) (дата обращения 23.12.2019).
2. *Михайлов В.Н., Добролюбов С.А.* Гидрология. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. 752 с.
3. *Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги.* Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015. [Электронный ресурс] URL: <http://www.hydrology.ru/ru/content/osnovnye-gidrologicheskie-harakteristiki-rek-basseyna-verhney-volgi> (дата обращения 23.12.2019).
4. *СП 33-101-2003.* Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.
5. *Стрельцов А.Б., Логинов А.А., Лыков И.Н., Коротких Н.В.* Очерк экологии города Калуги. Калуга, 2000. 400 с.
6. *Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Агафонова С.А., Евстигнеев В.М., Ефремова Н.А., Повалишников Е.С.* Внутригодовое распределение стока равнинных рек Европейской территории России и его изменение // *Водное хозяйство России*, 2015. № 4. С. 4-20.

Н.В. Исмагилов, А.А. Николаев, Г.Н. Мухаева, Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru  
Казанский федеральный университет, Казань, Россия

## ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

В статье рассмотрено пространственное распределение на территории Республики Башкортостан основных характеристик ветра: скорости и направления.

*Ключевые слова:* скорость ветра, ветровой режим

Ismagilov N. V., Nikolaev A. A., Mukhaeva G. N. Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru  
Kazan Federal University, Kazan, Russia

## WIND REGIME OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

The article considers the spatial distribution of the main wind characteristics on the territory of the Republic of Bashkortostan: speed and direction.

*Keywords:* wind speed, wind mode

В настоящее время деятельность человека зависит от влияния различных метеорологических факторов, особенную и немаловажную роль среди них играет ветер. Информация о ветровом режиме востребована в различных сферах жизнедеятельности человека. В большей степени от атмосферных процессов зависят авиация, все виды транспорта, сельское и коммунальное хозяйство, здравоохранение и другие. В зимние месяцы связанные с сильными ветрами метели вызывают снежные заносы, в летний период, при высокой температуре воздуха, при сильном ветре повышается опасность пожаров. В связи с этим актуальным становится изучение характеристик ветра на различных территориях [2].

Ветровой режим формируется под влиянием циркуляционных факторов климата и местных физико-географических особенностей [3]. На всей рассматриваемой территории циклоническая деятельность является преобладающей в большую часть года. В 40-45 % случаев на всей рассматриваемой территории наблюдаются ветры юго-западного и южного направлений, а ветры восточного направления – значительно реже.

В зимний период на рассматриваемой территории преобладающим направлением является юго-западное. Это связано с перемещением циклонов по северу Европейской территории России в большинстве случаев на восток (с юго-западной и северо-западной составляющими), что обуславливает преобладание ветров западной

четверти [2, 3]. В некоторых пунктах под влиянием орографии также существенно и южное направление ветра. К таким местам относятся: Янаул, Аскино, Бирск, Раевский, Стерлитамак, Зилаир. Указанные станции расположены в долине, имеющей меридиональную направленность.

В начале весны еще сохраняются черты зимнего режима распределения направления ветра, но устойчивость преобладающих ветров уменьшается. Весной максимальная повторяемость в республике у юго-западного и южного направления.

Летом наибольшее влияние оказывают антициклоны, приходящие с Атлантики, поэтому в теплый период начинают преобладать северные, северо-западные и отчасти западные направления ветра.

В начале осени в процессах циркуляции отмечается переход к зимнему режиму: начинает усиливаться циклоническая деятельность и западно-восточный перенос. Изменяется и направление ветра: преобладающими в октябре становятся юго-западные ветры, отчасти южные, хотя западные еще занимают значительное место.

На территории Республики Башкортостан средние месячные скорости ветра на высоте флюгера характеризуются меньшими значениями в летний период (1,3-3,8 м/с) и большими – в зимний (1,6-5,2 м/с). Годовые скорости ветра изменяются от 1 до 3,6 м/с.

Годовой ход скорости ветра по всей рассматриваемой территории выражен довольно четко. Наибольшие средние ме-

сячные значения скорости ветра наблюдаются в холодное время года, минимальные летом.

Наряду с временной структурой рядов скорости ветра, позволяющей получить средние и вероятностные величины, большое значение имеет также пространственная структура. Исследование данного параметра необходимо для определения ветровых характеристик в пунктах, где не проводятся наблюдения, для расчета средних по площади, для решения вопро-

са об автоматическом контроле качества метеорологических наблюдений.

Анализ пространственного распределения скорости ветра по территории Республики Башкортостан позволило выявить ряд областей с достаточно высокими скоростями ветра (более 3 м/с). Это территории Белебеевской возвышенности (метеостанция Аксаково), территория степного Зауралья (метеостанция Акъяр), а также территория Сакмаро-Бельской возвышенности (метеостанция Кумертау).

### Библиографический список

1. Николаев А.А. Климатические ресурсы ветра на территории Среднего Поволжья/ Николаев А.А., Исмагилов Н.В.// Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: сборник научных статей междунар. науч. конф. Минск: Издательский центр БГУ, 2015. С. 275-277.
2. Переведенцев Ю.П. Климатические ресурсы солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья и возможности их использования в энергетике/ Ю.П.Переведенцев, А.А.Николаев. Казань: Изд. Отечество, 2002. 120 с.
3. Учение об атмосфере: учебное пособие. Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области гидрометеорологии/Ю.Г.Хабутдинов, К.М. Шанталинский, А.А. Николаев. Казань: Казан. Гос. Ун-т, 2010. 245 с.

## **БИОЛОГИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА В ВОДЕ ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ПРОШЛОГО И НАЧАЛА НЫНЕШНЕГО СТОЛЕТИЙ)**

В качестве показателя кислородного режима Воткинского водохранилища использована величина биологического потребления кислорода. Для сравнительной оценки его режима в прошлом и нынешнем столетии использованы материалы 1974-1983 гг. и 2003-2013 гг. Пространственно-временные изменения режима потребления кислорода оценены по постам наблюдений, расположенным по всей длине водохранилища. Наиболее сложная экологическая обстановка наблюдается в районе расположения Пермско-Краснокамского промышленного комплекса. В большей же части водоема отмечается благоприятная обстановка для жизнедеятельности гидробионтов. Сравнительный анализ двух временных периодов показал, что принципиальных изменений в режиме биологического потребления кислорода не произошло.

*Ключевые слова:* водохранилище, биологическое потребление кислорода, сравнительный анализ, загрязнение.

A.B. Kitaev, A.A. Bataltseva, hydrology@psu.ru

Perm State University, Perm, Russia

## **BIOLOGICAL CONSUMPTION OF OXYGEN IN THE WATER OF THE VOTKIN RESERVOIR (ANALYSIS OF MATERIALS OF THE PAST AND THE BEGINNING OF THE CENTURY CENTURIES)**

The value of the biological oxygen consumption was used as an indicator of the oxygen regime of the Votkinsk reservoir. For a comparative assessment of his regime in the past and present century, materials from 1974-1983 were used. and 2003-2013 Spatial-temporal changes in the oxygen consumption regime were estimated from observation posts located along the entire length of the reservoir. The most difficult environmental situation is observed in the area of the Perm-Krasnokamsk industrial complex. In most of the reservoir there is a favorable environment for the life of aquatic organisms. A comparative analysis of two time periods showed that there were no fundamental changes in the regime of biological oxygen consumption.

*Key words:* reservoir, biological oxygen consumption, comparative analysis, pollution.

Биологическое потребление кислорода (БПК) – количество кислорода, потребляемого за определенное время при биохимическом окислении содержащихся в воде веществ в аэробных условиях, выражается в мг/дм<sup>3</sup> молекулярного кислорода. Наиболее часто употребляется в значении БПК<sub>5</sub> – биологическое потребление кислорода в течение 5 суток. Значение БПК используется для оценки степени загрязненности водного объекта легкоокисляющимися органическими веществами. Установлено, что убыль кислорода и окисление легкоокисляющихся органических веществ в склянках протекает с убывающей скоростью, пропорциональной их концентрации. В природных водах, имеющих значение рН от 6 до 8, не содержится токсичных веществ и разведенных до такой степени, чтобы процесс в склянках протекал в аэробных условиях. За 5 суток при температуре 20°C окисляется 70% легкоокисляю-

щихся органических веществ, а за 10 и 20 суток – соответственно 90 и 99%.

В поверхностных водах значения БПК<sub>5</sub> колеблются обычно от 0,5 до 4,0 мгО<sub>2</sub>/л молекулярного кислорода и подвержены сезонным и суточным изменениям. Сезонные изменения в основном зависят от изменения температуры и от исходной концентрации растворенного кислорода. Суточные изменения – главным образом от исходной концентрации растворенного кислорода, которая может в течение суток изменяться на 2,5 мгО<sub>2</sub>/л в зависимости от соотношения интенсивности процессов продуцирования (фотосинтез) и потребления (дыхание животных и растительных организмов и деструкция органических веществ). Интенсивность потребления кислорода в глубинных слоях служит хорошим индикатором экологического состояния водоёма.

В настоящее время кислородному режиму Воткинского водохранилища посвящено ряд работ [1-4 и др.]. В настоящем исследовании дан анализ биологического потребления кислорода в прошлом и начале нынешнего столетия.

В пространственном отношении на Воткинском водохранилище в период с 1974 по 1983 гг. биологическое потребление кислорода было неоднородным. Максимальные значения показателя отмечались у д. Конец Бор (до 5-6 мгО<sub>2</sub>/л). Это вызвано тем, что в этом пункте бытовые стоки г. Перми и г. Краснокамска смешиваются с промышленными стоками. Таким образом, органические вещества такой воды становятся дополнительной питательной средой для ила и водных микроорганизмов, и способствуют более активному потреблению кислорода. Так на протяжении исследуемого периода значение БПК<sub>5</sub> изменялось во время весеннего наполнения от 0,8 до 5 мг/л молекулярного кислорода, в период навигации 0,8-6,5 мгО<sub>2</sub>/л, а во время зимней сработки водоема – 1-8 мгО<sub>2</sub>/л (рис. 1-2). В зимние месяцы этот показатель наиболее высокий, что вызывает дефицит кислорода в воде. Главным образом это связано с отсутствием аэрации водных масс из-за ледяного покрова. В зимний период наблюдения по глубине не проводились. В Воткинском водохранилище в течение всего рассматриваемого времени в разные гидрологические сезоны показатель БПК<sub>5</sub> повышается с увеличением глубины. Разница между поверхностным и придонным значением порядка 1,0 мгО<sub>2</sub>/л. Повышенная величина БПК<sub>5</sub> у дна, свидетельствует о том, что донных отложениях органи-

ческих веществ значительно больше, чем в толще воды, на разрушение которых потребляется растворенный в воде кислород.

Исследование биологического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) в разные фазы гидрологического года на постах по длине водохранилища в период 2003-2013 гг. позволило констатировать следующее. Биологическое потребление кислорода изменялось в пределах 0,1-5,7 мгО<sub>2</sub>/л. Наибольшие показатели наблюдались в 2004-2005 и 2012 гг. в эти годы БПК в отдельные месяцы возрастало до 6,3 мгО<sub>2</sub>/л. Причиной этому может служить большое количество органических веществ попавших в воду вследствие обильных дождей.

Биологическое потребление кислорода колеблется внутри гидрологического года. Сезонные колебания зависят в основном от изменения температуры и от исходной концентрации растворенного кислорода. Влияние температуры сказывается через ее воздействие на скорость процесса потребления, которая увеличивается в 2-3 раза при повышении температуры на 10°C. Влияние начальной концентрации кислорода на процесс биохимического потребления кислорода связано с тем, что значительная часть микроорганизмов имеет свой кислородный оптимум для развития в целом и для физиологической и биохимической активности. Подтверждением этого, является тот факт, что в большинстве случаев наибольшие значения БПК<sub>5</sub> приходятся на многоводные и теплые фазы года – половодье и паводки.

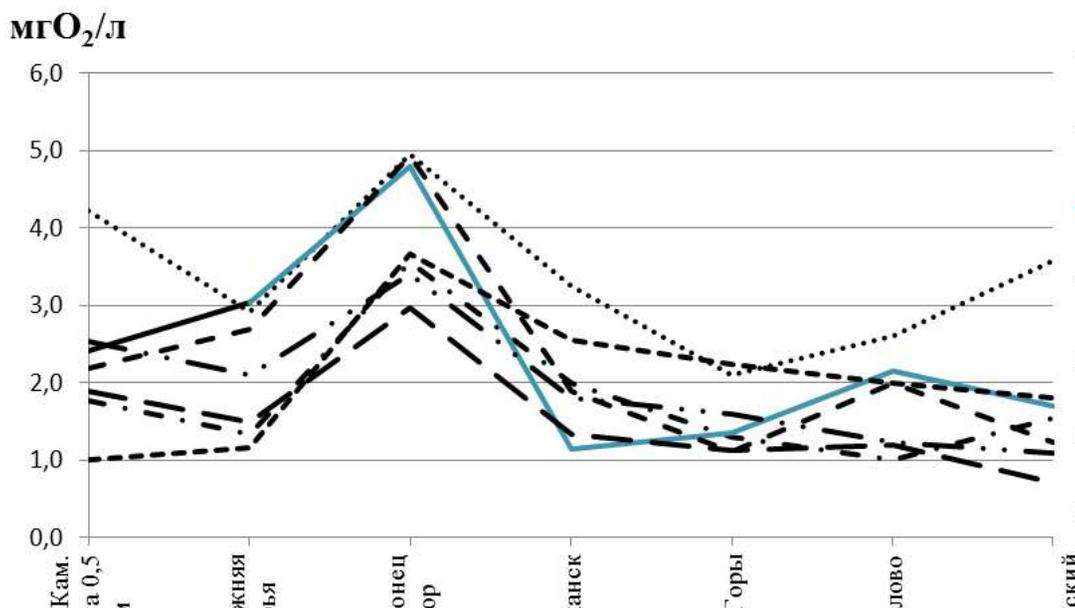


Рис. 1. Изменение БПК<sub>5</sub> по длине Воткинского водохранилища во время весеннего наполнения за период 1974-1983 гг.

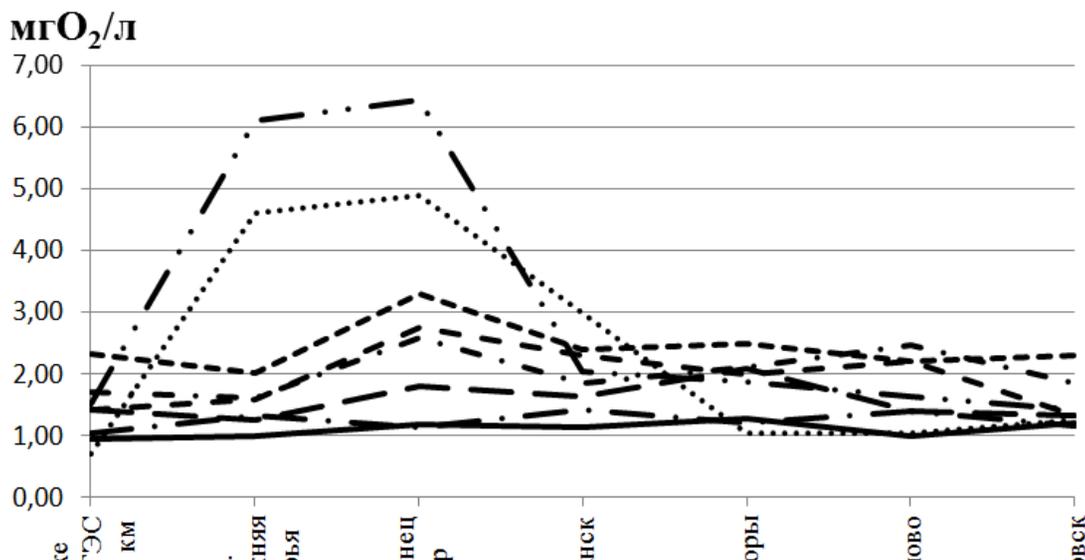


Рис. 2. Изменение БПК<sub>5</sub> по длине Воткинского водохранилища во время летнего стояния уровня за период 1975-1983 гг.

Считается, что предельно-допустимая концентрация БПК<sub>5</sub> в поверхностных водах находится в районе 4,0 мгО<sub>2</sub>/л. Наибольшие значения БПК<sub>5</sub> наблюдались в районе Больше-Камского водозабора г. Перми и ниже г. Краснокамск. Это вызвано промышленным загрязнением. Значительная часть кислорода при этом расходуется на окисление органических и минеральных веществ, которые попадают

в водохранилище со сточными водами.

**Вывод.** Сравнение значений БПК<sub>5</sub> в рассматриваемые периоды показало, что принципиальных изменений не произошло и для жизнедеятельности гидробионтов обстановка осталась достаточно комфортной исключая район Пермско-Краснокамского промышленного комплекса

### Библиографический список

1. Бурматова Э.А., Китаев А.Б. Растворенный кислород – важнейший критерий оценки качества воды и экологического риска в поверхностных водных объектах (на примере Камского водохранилища) // Гидрология и гидроэкология Западного Урала : юб. сб. научных трудов. Пермь, 2006. С. 117-126.
2. Бурматова Э.А., Китаев А.Б. Оценка качества воды и экологического риска в искусственных водоемах по содержанию в них растворенного кислорода // Антропогенная динамика природной среды: мат. международной научно-прак. конф. Пермь, 2006. Ч.2. С.212-217.
3. Китаев А.Б. Гидрохимическая характеристика водохранилища // Комплексные исследования Воткинского водохранилища и оценка его влияния на природу. Пермь, 2007. С.64-76.
4. Китаев А.Б. Кислородный режим Камского и Воткинского водохранилищ в условиях современной техногенной нагрузки // Фундаментальные исследования. М.: Академия естествознания. 2009. № 5. С.28-29.

УДК 004.42; 556.166.2; 556.121.8

Д.Е. Клименко, Д.Н. Полин, klimenkodi@rambler.ru

Пермский государственный национальный исследовательский университет г. Пермь, Россия

## РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПЛЮВИОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НАД ЛИВНЕВЫМИ ОСАДКАМИ RAINSTAT

Рассматриваются ключевые вопросы использования кривых редукции ливневых осадков в гидрологических расчетах. Приводится краткое описание кривых редукции и методики их построения. Дается описание компьютерной программы, разработанной для автоматизированного расчета параметров кривых редукции ливня RainStat (зарегистрирована Роспатентом 22.06.20 № 2020616678).

Ключевые слова: кривые редукции осадков; гидрологические расчеты; программа для ЭВМ; RainStat.

D.E. Klimenko, D.N. Polin, klimenkodi@rambler.ru

Perm State University, Perm, Russia

## DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM FOR AUTOMATED PROCESSING OF DATA OF PLEVIOPHIC OBSERVATIONS ABOUT RAINSTAT RAIN SEDIMENTS

The key issues of using rainfall reduction curves in hydrological calculations are considered. A brief description of the reduction curves and methods of their construction is given. A description is given of a computer program developed for the automated calculation of the parameters of RainStat shower reduction curves (registered by Rospatent 06.22.20 No. 2020616678).

Key words: precipitation reduction curves; hydrological calculations; computer program; RainStat.

**Введение.** В практике расчетов максимального стока дождевых паводков на малых реках на сегодняшний день используется метод предельной интенсивности, основанный на использовании параметров кривых редукции интенсивности ливневых осадков по времени, закрепленный в действующем нормативе СП 33-101-2003 [4]. Основной расчетный параметр формулы предельной интенсивности стока – функция интенсивности ливня по времени – не уточнялся длительное время (более 60 лет), и при проведении инженерных расчетов используется в устаревшем виде. Это обусловлено как трудоемкостью обработки первичной информации, так и отсутствием единых методов расчета и пространственной интерпретации ее, слабой разработанностью аппарата математической статистики применительно к ливням. Расчетная формула III типа, используемая в соответствии с СП 33-101-2003 для определения расчетного модуля максимального срочного расхода воды  $q_{P\%}$  ( $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$ ) дождевых паводков на водосборах площадью менее  $200 \text{ км}^2$  с ежегодной вероятностью превышения  $P$  (%), имеет вид [1]:

$$q_{P\%} = \bar{b} \cdot \bar{\varphi} \cdot \bar{\psi}(\tau_a) \cdot H_{\text{сут}, 1\%} \cdot \delta \cdot \delta_{\text{карст}} \cdot \lambda_{P\%} \quad (1)$$

где  $\varphi$  – сборный коэффициент стока;  $\bar{\psi}(\tau_a)$  – ордината районной кривой редукции интенсивности осадков соответствующей обеспеченности (мм/мин.) в зависимости от времени бассейнового добега  $\tau_a$  (мин.);  $H_{\text{сут}, 1\%}$  – толщина максимального суточного слоя осадков, мм, с вероятностью превышения 1%;  $\delta$ ,  $\delta_{\text{карст}}$  – параметры снижения максимальных расходов на водосборах, зарегулированных озерами и имеющих карстовые области соответственно;  $\lambda_{P\%}$  – коэффициент перехода от вероятности превышения 1% к другим ее значениям. Как видно, важным параметром формулы является ордината кривой редукции осадков.

Первичная обработка данных по ливням ведется в соответствии с руководством [3]. Эмпирические кривые редукции для каждого ливня были рассчитаны для минутных интервалов, после чего были определены средние интенсивности за стандартные интервалы времени от 5 до 2880 мин., на основе которых были сформированы временные ряды, выполнена их статистическая обработка.

«Эмпирический профиль» каждого ливня рассчитывается на основе данных наблюдений на плювиографах с дискре-

тизацией интенсивностей по времени до 1 минуты, определяются средние интенсивности за интервалы времени 5, 10, 20, 40, 60, 90, 150, 300, 720, 1440, 2880 минут и выбираются максимальные значения за данные временные интервалы ( $i(t)_{\max}$ , мм/мин), на основе которых формируются временные ряды и выполняется их статистическая обработка. Пример кривых редукции осадков по данным [2] представлен на рис. 1.

В ручном виде обработка плевниографических данных занимает много времени и при массовых расчетах оказывается неприемлемой. В связи с этим обстоятельством было принято решение автоматизировать процесс.

**Программа для ЭВМ RainStat.** Программа предназначена для автоматизированного расчета метеорологических характеристик ливневых осадков (минут-

ных данных), наблюдаемых на плевниографах сети Росгидромета. Область применения: автоматизированная обработка материалов наблюдений на плевниографах; расчеты кривых редукции ливневых осадков; расчеты предельной интенсивности ливня за 5, 10, 20, 40, 60, 90, 150, 300, 720, 1440, 2880 минут; расчеты суммы осадков и продолжительности дождя. Может быть использована в деятельности Росгидромета и при производстве инженерно-гидрометеорологических изысканий. Программа зарегистрирована Роспатентом 22.06.20 № 2020616678

Системные требования программы следующие: Windows XP / Vista / 7 / 10. Выполнена программа на C#. Поскольку этот язык не является полностью компилируемым, то для его работы дополнительно требуется платформа: в данном случае это NET Framework 2.0 или выше.

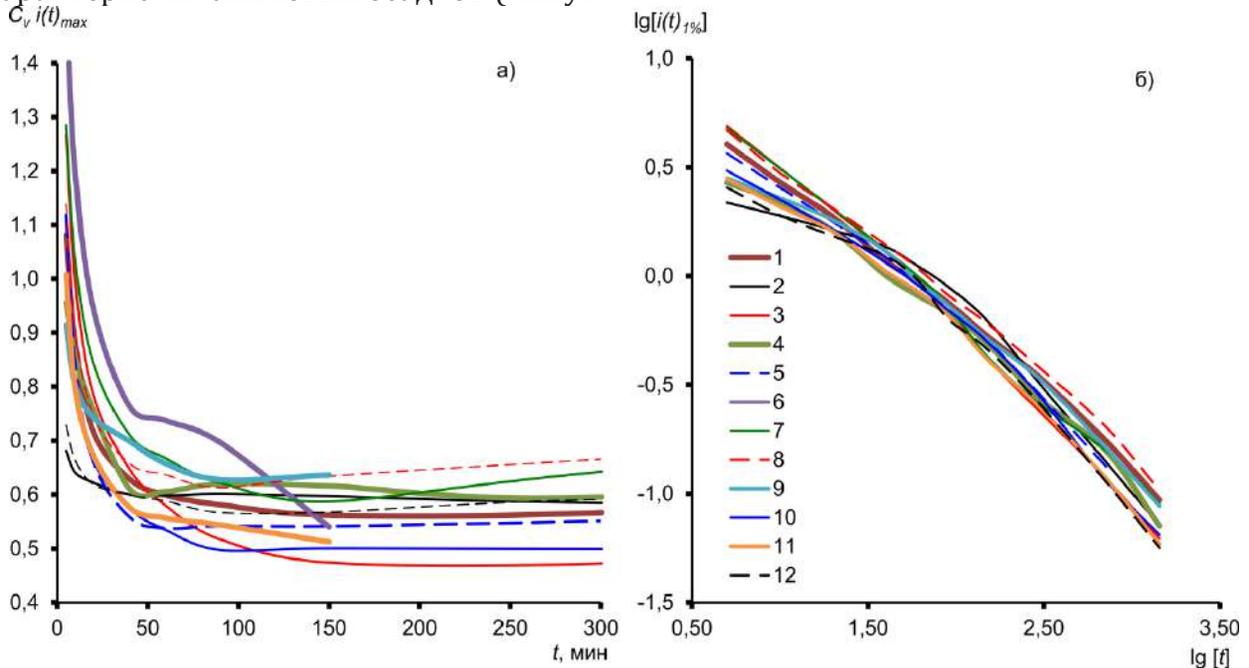


Рис. 1. Кривые связи коэффициента вариации максимальной интенсивности ливня  $C_v i(t)_{\max}$  с размером интервала  $t$  (а) и интенсивности ливня вероятностью 1%  $i(t)_{1\%}$  с размером интервала  $t$  в логарифмическом виде (б) для метеостанций: 1 – Аргаяш, 2 – Верхнее Дуброво, 3 – Гари, 4 – Златоуст, 5 – Красноуфимск, 6 – Курган, 7 – Кытлым, 8 – Североуральск, 9 – Таганай, 10 – Тугулым, 11 – Челябинск, 12 – Шамары [1]

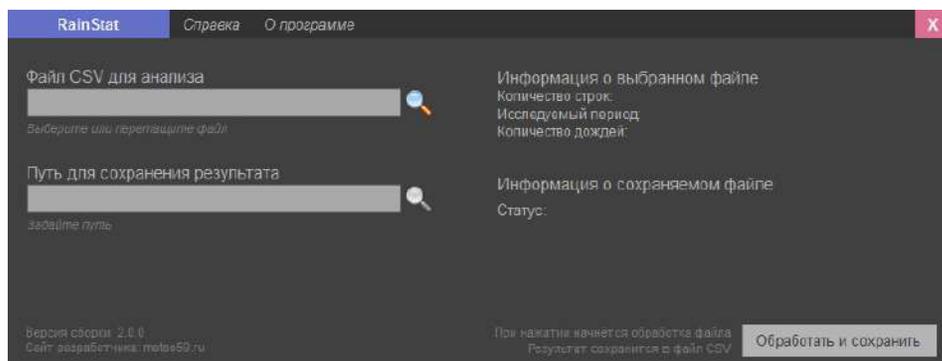


Рис. 2. Основное окно программы RainStat (версия 2.0.0)

**Особенности разработки программы.** Одной из важных задач являлось обеспечение работы не только на последних версиях операционной системы Windows (7 или 10), но и на более старых. В связи с этим использование технологии LINQ (Language-Integrated Query) стало невозможным. LINQ значительно упрощает работу с элементами массивов, в том числе позволяет в простой форме совершать математические операции (сложение, вычитание, нахождение минимального или максимального числа и др.). Запросы к данным у LINQ похожи на SQL (Structured Query Language).

Кроме LINQ недоступным стало пространство имён System.Threading.Tasks (STT), что принесло дополнительные сложности при осуществлении многопоточной обработки входной информации. Ввиду отсутствия STT первая основная и первая промежуточная версии RainStat обладали низкой скоростью обработки. Однако задача многопоточности была успешно решена в версии 1.0.2: скорость расчётов возросла почти в 20 раз.

**Процесс обработки данных.** Исходными материалами для обработки являются данные плювиографических наблюдений на метеостанциях за отдельные ливни, публикуемые в метеорологических ежемесячниках. Данные публикуются в виде нарастающей суммы осадков в зависимости от времени (в минутах) для каждого наблюдаемого ливня. Интенсивность осадков в программу не вносится (рис. 3).

RainStat в качестве входных данных

усваивает только файлы CSV с разделителем «точка с запятой», при этом требуются следующие сведения (каждый через разделитель): год, месяц, день, время формата чч:мм, количество осадков (нарастающая сумма, в мм, начинающаяся с нулевого значения). При выборе файла программа сканирует его на наличие возможных ошибок. Если обнаружены критические ошибки, то программа не позволит произвести расчёты, при этом укажет на строки и параметры в файле, которые не соответствуют требованиям.

С первой версии до последней (на момент написания текущей статьи 2.0.0) RainStat является требовательной к информации в столбцах. Указанные ранее сведения должны начинаться со второго столбца (если файл CSV открыт в MS Excel) и следовать в том же порядке. В последующих версиях планируется устранить зависимость и позволить пользователю самому выбирать столбцы. Подробнее о требованиях программы можно узнать в разделе «Справка».

Если главные требования входной информации соблюдены, то расчёт будет произведён. При этом во входном файле могут оставаться ошибки, которые способны повлиять на результаты. В процессе обработки RainStat способна отслеживать характеристики ливней и выдавать уведомления пользователю. Например, если продолжительность обрабатываемого дождя превышает одни сутки (1440 минут), то на экране появится сообщение о возможной ошибке.

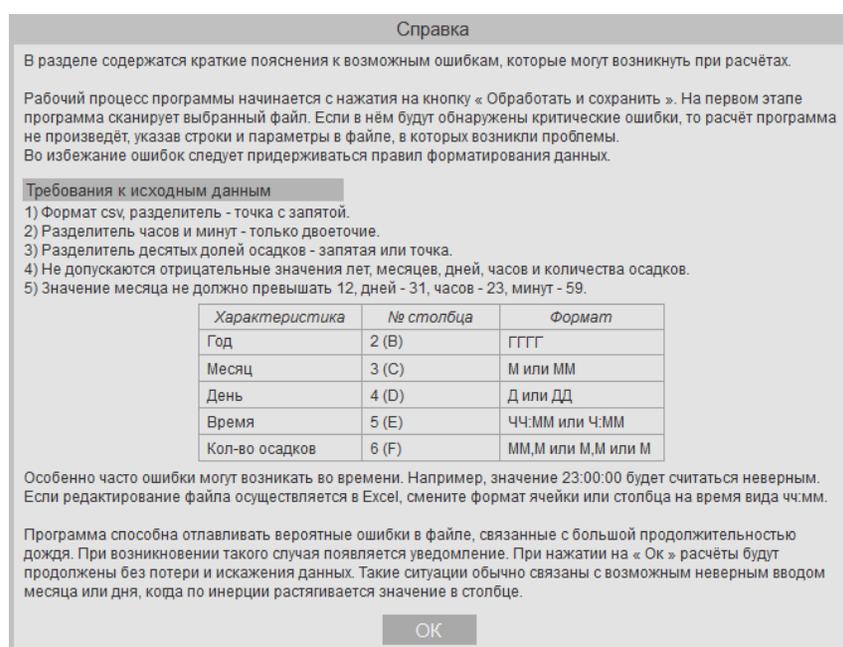


Рис. 3. Окно раздела «Справка». Требования к исходным данным

По окончании расчётов создастся новый файл CSV по пути, указанному пользователем перед началом обработки (рис. 2).

Выходной информацией станут сумма осадков и продолжительность каждого дождя, а также предельные интенсивности за 5, 10, 20, 40, 60, 90, 150, 300, 720, 1440, 2880 минут.

**Заключение.** Программа продолжает обновляться, в скором времени выйдет новая версия, в которой будут устранены небольшие недочёты и осуществлён новый функционал.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-0044.

### Библиографический список

1. Клименко Д.Е., Епончинцева Д.Н., Корепанов Е.П., Черепанова Е.С. Исследование кривых редукиции паводкоформирующих ливневых осадков Зауралья // Метеорология и гидрология. 2018, №2, с. 76-89.
2. Клименко Д.Е., Корепанов Е.П., Епончинцева Д.Н. Методика расчета максимального стока дождевых паводков малых рек на основе информации о редукиции ливневых осадков на территории Свердловской области // Инженерные изыскания. 2016, №5-6. С. 14-18.
3. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / под ред. Н.В. Кобышевой. СПб., 2008. 336 с.
4. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 74 с.

УДК 551.582

А.Д. Крючков, Candy55man@ya.ru  
Пермский государственный национальный исследовательский университет  
г. Пермь, Россия

### ВЕРИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA-INTERIM И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПЕРМСКОГО КРАЯ ЗА 1978-2018 ГГ.

В статье рассматриваются основные закономерности пространственно-временного распределения снежного покрова на территории Пермского края за период 1978-2018 гг., выявленные при сравнении данных метеорологических станций и реанализа ERA-Interim. Установлено, что наименьшие расхождения наблюдаются в период появления и схода снежного покрова, наибольшие – в период максимального снегонакопления. Отмечено, что реанализ ERA-Interim не показывает влияние локальных факторов на распределение характеристик снежного покрова по причине относительно малого пространственного разрешения.

*Ключевые слова:* снежный покров, реанализ, метеорологические станции.

A. Kryuchkov, Candy55man@ya.ru  
Perm State University, Perm, Russia

### VERIFICATION OF SNOW COVER CHARACTERISTICS ACCORDING TO DATA OF ERA-INTERIM REANALYSIS AND METEOROLOGICAL STATIONS OF PERM REGION FOR 1978-2018

The article is devoted to the main regularities of the spatio-temporal distribution of snow cover in the Perm Territory for the period 1978-2018, revealed by comparing data from meteorological stations and ERA-Interim reanalysis. It was established that the smallest discrepancies are observed during the appearance and disappearance of snow cover, the largest – during the maximum snow accumulation. It was noted that the ERA-Interim reanalysis does not show the influence of local factors on the distribution of snow cover characteristics due to relatively low spatial resolution

*Keywords:* snow cover, reanalysis, meteorological stations.

Снежный покров воздействует на природу и хозяйственную деятельность человека на многих территориях земного шара. По этой причине необходимо знать закономерности формирования снежного покрова и располагать достоверными сведениями о его распределении, продолжительности залегания, условиях таяния и количестве образующейся весной талой воды.

В регионах, где контрастность залегания снега особенно велика из-за обширного пространства и сложного рельефа, например, в Пермском крае, в условиях редкой и неравномерной сети метеорологических наблюдений исследование характеристик снежного покрова затруднено. Альтернативным источником информации о параметрах снегонакопления могут стать данные реанализа, но, поскольку часть метеорологических элементов, содержащихся в подобных массивах, такие как осадки и характеристики снежного покрова, являются результатом моделирования, они требуют сравнения с измеряемыми величинами.

В настоящем исследовании рассмотрены среднемесячные значения высоты снежного покрова за октябрь (появление снежного покрова), январь (середина зимы), март (максимум снегонакопления) и май (сход снежного покрова) [3]. Искомые величины рассчитаны для 25 метеорологических станций Пермского края за период 1979-2018 гг. Для сравнения с указанной эмпирической характеристикой использован набор данных реанализа ERA-Interim [5]. Информация о высоте снежного покрова в реанализе представлена в виде значений, выраженных в метрах водного эквивалента (мвэ, MWE), что эквивалентно водозапасу в снеге, по данным наблюдений – в сантиметрах (см). Для перехода к идентичным показателям (мвэ) применены значения плотности снежного покрова, полученные при проведении маршрутных снегосъёмов, с учетом физико-географических особенностей территории. Впоследствии вычислена разность данных станций и реанализа. В текущей работе представлен анализ расчетов для холодных периодов 1979-1980, 1987-1988, 1997-1998, 2007-2008 и 2017-2018 гг.

В 70 % случаев наблюдается превышение значений высоты снежного покрова по данным реанализа над данными метеорологических станций. Указанная характеристика колеблется от 0,001 до 0,24 мвэ,

в среднем достигая 0,03 мвэ. Наименьшие расхождения, в среднем от 0,001 до 0,009 мвэ, а также полные совпадения (20 % от общего числа случаев) отмечены в октябре и мае (пример представлен на рис. 1а). Можно сказать, что реанализ в целом адекватно воспроизводит этапы появления и схода снежного покрова в Пермском крае. Этот вывод соответствует результатам, полученным в ходе аналогичного исследования [4].

Стоит отметить, что май 1998 г. (рис. 1б) выделяется на общем фоне, поскольку в этом месяце показания реанализа значительно занижены (в среднем на 0,04 мвэ) по отношению к данным наблюдений, за исключением отдельных станций. Вероятно, это связано с тем, что снежный покров весной 1998 г. залегал дольше обычного из-за многоснежной зимы и низких апрельских температур, а реанализ не отобразил указанное отклонение. Особенно аномалия проявляется на станции Бисер, где разница между данными наблюдений и реанализа достигает 0,25 мвэ. Отчасти подобные расхождения объясняются физико-географическим положением станции – возвышенная залесенная местность способствует дополнительному снегонакоплению [1], что видно и в других случаях: в 50 % исследуемых показателей в искомом пункте наблюдаются существенные положительные отклонения (более 0,02 мвэ) и лишь в 15 % – отрицательные. В целом станция Бисер – это единственный пункт наблюдений, где не зафиксировано ни одного полного совпадения значений высоты снежного покрова с данными реанализа.

Существенными различиями в данных наблюдений и реанализа характеризуются январь и март исследуемых периодов. Аномалии носят преимущественно отрицательный, в отдельных случаях положительный характер, полных совпадений не наблюдается. Для января значения реанализа оказываются завышенными в среднем на 0,059 мвэ, для марта – на 0,065 мвэ. Максимальные отклонения отмечены в холодный период 1980 г., в частности, для территории края получена разница выше 0,1 мвэ, а для станций Кунгур, Оса и Чернушка в январе – больше 0,14 мвэ, в марте – больше 0,21 мвэ (рис. 2а). Такие результаты объясняются малоснежной зимой, а в Кунгуре и Чернушке в искомый промежуток времени установлены рекордные минимумы высоты снега за весь период наблюдений.

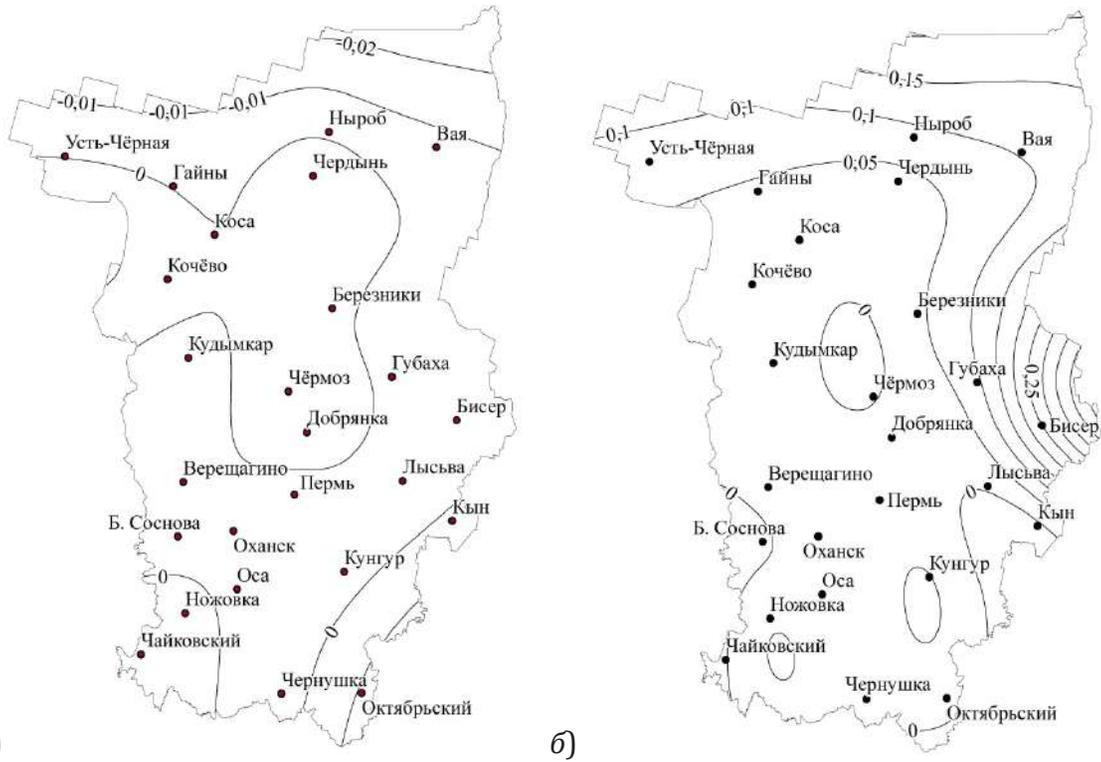


Рис. 1. Пространственное распределение аномалий влагозапаса (мвэ) в снежном покрове а) октябрь 1979 г., б) май 1998 г.

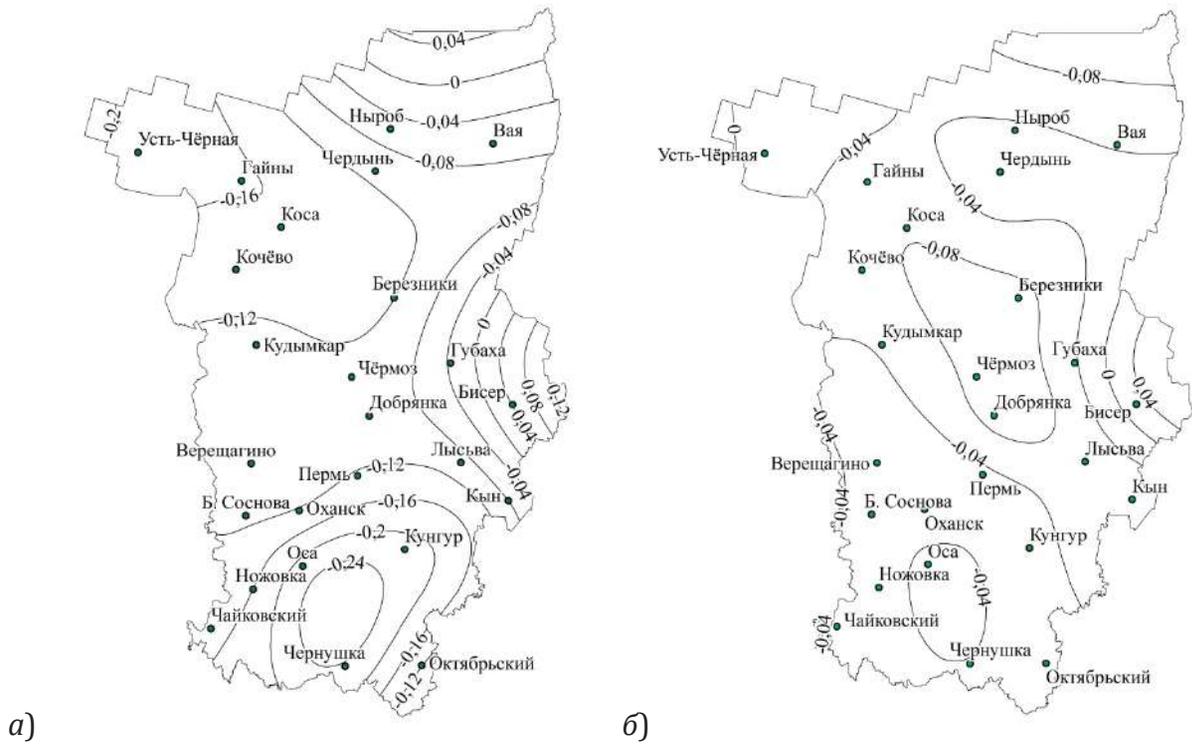


Рис. 2. Пространственное распределение аномалий влагозапаса (мвэ) в снежном покрове а) март 1980 г., б) март 2018 г.

В последующие годы зона максимальной разницы между сравниваемыми величинами постепенно смещается в район наблюдательных пунктов Березники, Добрянка и Чермоз, а сами показатели в основном уменьшаются: для края разница в 2018 г. составляет 0,039 и 0,042 мвэ в январе и марте соответственно, для станций

Березники, Добрянка и Чермоз – 0,07 и 0,09 мвэ (Рис. 2б). Согласно исследованиям [2], Чермоз отличается наименьшими значениями средней высоты снежного покрова по сравнению с остальными пунктами наблюдений, Добрянка располагается на втором месте.

В целом можно утверждать, что реанализ ERA-Interim на удовлетворительном уровне показывает увеличение высоты снежного покрова с юго-запада на северо-восток Пермского края, при этом из-за большого шага пространственной сетки, около 80 км, имеет свойство пропускать локальные отклонения исследуемой характеристики. Кроме того, при возникновении межгодовых аномалий с несвойственными территории экстремумами характеристик снежности данный реанализ тоже допускает неточности. Это связано с недостатками используемого метода анализа, а также с ошибками в обработке данных. Реанализ ERA-Interim можно применять в качестве дополнительного источника информации при исследовании характеристик снежного покрова на станциях, где бывают пропуски или отсутствие наблюдений, однако необходимо применять поправочные коэффициенты.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-45-590021 p\_a).*

### Библиографический список

1. Калинин Н.А., Фрик Л.В., Смирнова А.А. Исследование влияния рельефа Пермского края на распределение полей осадков // Географический вестник, 2008. № 2 (8). С. 187–195.
2. Крючков А.Д., Истомина О.В. Динамика снежного покрова на территории Пермского края за период 1988-2018 гг. // Вестник удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 2019. Т. 29. вып. 2. С. 243-251.
3. Метеорологические ежемесячники. 1988-2018 гг. Ч. 2, вып. 9, № 1-5, 10-13.
4. Brun Eric, Peings Yannick, Vionnet Vincent, Boone Aaron, Decharme Bertrand, Douville Hervé, Karbou Fatima and Morin Samuel. Using reanalyses for studying past Eurasian snow cover and its relationship with circulation variability. ECMWF-WWRP/THORPEX Workshop on Polar Prediction, 24-27 June 2013, 10 p.
5. ERA Interim, Monthly Means of Daily Means. [Электронный ресурс] URL: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-moda/levtype=sfc/> (дата обращения: 05.12.2019)

И.В. Кужевская<sup>1</sup>, В.А. Жукова<sup>1,2</sup>, Т.С. Кошикова<sup>2</sup>, К.Н. Пустовалов<sup>1,2</sup>, В.В. Чурсин<sup>1</sup>,  
ivk@ggf.tsu.ru

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия

## МЕЗОМАСШТАБНЫЕ КОНВЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В работе проведена оценка мезомасштабных конвективных комплексов за теплые периоды 2010-2019 гг. на основе спутниковых данных. Получено, что повторяемость МКК внутримассового происхождения превалирует над фронтальными в годы с выраженными температурными аномалиями. Пространственная оценка их возникновения выявила увеличение вероятности возникновения внутримассовых МКК вблизи густонаселенных районов, где ущерб от опасных конвективных явлений может быть наиболее значителен.

*Ключевые слова:* Спутниковая информация, внутримассовый процесс.

I.V. Kuzhevskaya<sup>1</sup> V.A. Zhukova<sup>1,2</sup>, T.S. Koshikova<sup>2</sup>, K.N. Pustovalov<sup>1,2</sup>, V.V. Chursin<sup>1</sup>,  
ivk@ggf.tsu.ru

<sup>1</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Tomsk Academy of Sciences (IMCES SB RAS)

## MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEMS OVER WESTERN SIBERIA

Based on satellite remote-sensing data the estimation of mesoscale convective systems (MCSs) formed during warm periods of 2010-2019 has been performed. It was found that the repeatability of intramass origin MCSs prevails over frontal ones in years with conspicuous temperature extremes. A spatial assessment revealed an increase in the probability of intramass MSCs occurrence near densely populated areas, where the hazardous phenomenon lead to considerable economic losses and damage.

*Keywords:* Satellite remote-sensing data, intramass process.

На территории Западной Сибири на фоне происходящих глобальных климатических изменений отмечается тенденция увеличения ущерба от событий, связанных с конвективными облачными структурами. Сохранение тенденции повторяемости развития мощной мезомасштабной конвекции приведёт к дальнейшему увеличению повторяемости таких опасных метеорологических явлений, как град, интенсивные ливни, шквалы и др. Сильные ливневые дожди вызывают наводнения, размывают дороги, дамбы, в горных районах приводят к возникновению селей. Крупный град наносит ущерб сельскохозяйственным культурам, повреждает автомобили, крыши домов и т.д. Гроза вызывает лесные, торфяные пожары, иногда разряды молний приводят к гибели людей. Шквалы и смерчи приносят значительные, часто катастрофические разрушения.

Необходимость применения данных дистанционного зондирования Земли при организации мониторинга и прогнозирования опасных природных явлений не вызывает сомнений. В последние годы их роль как источника информации об

опасных природных явлениях неуклонно возрастает. Повышается оперативность доступа к данным, увеличивается число действующих на орбите спутниковых систем, их пространственное и временное разрешение.

Мезомасштабная облачность, имея небольшую продолжительность жизни, является трудно прогнозируемым объектом. Обнаруживается такая облачность обычно только с помощью радиолокационных наблюдений или данных метеорологических спутников Земли.

Для прогноза мезомасштабных конвективных комплексов (МКК) чаще всего используется два подхода: 1) расчёт физико-статистических параметров (индексов) неустойчивости по выходным данным глобальных прогностических моделей; 2) прямое моделирование атмосферной конвекции мезомасштабными моделями с высоким пространственным разрешением. При этом наибольшую сложность представляет прогнозирование места и времени возникновения МКК и зон опасных явлений [1].

Поскольку МКК образуется в результате перегрева отдельных масс воздуха при неустойчивой стратификации атмосферы в её нижних слоях, то над сушей наиболее благоприятные условия для его возникновения создаются в теплую половину года в областях пониженного давления атмосферы. Скорость восходящих потоков, вертикальная мощность и водность образующегося мезомасштабного конвективного комплекса зависят от степени неустойчивости атмосферы, а реализацию таких опасных явлений погоды, как, например, шквал, можно рассматривать как результат перехода энергии неустойчивости воздушной массы в кинетическую энергию. На этом основаны практически все существующие в настоящее время методы прогноза опасных явлений погоды, обусловленные конвекцией [2]. По результатам авторов [4] на территории юга Западной Сибири образуется 44 % всех мезовихрей и МКК на исследуемой территории, и более чем в 60 % случаев формирование сильных осадков, достигших критериев ОЯ, наблюдается на мезомасштабных процессах. Территория Западной Сибири не предрасположена к образованию таких конвективных комплексов, но при этом частота появления МКК в последние годы увеличивается, изучение МКК и его прогноз являются актуальными.

Область исследования условно располагается между 50 и 60°с.ш. и 70 и 90°в.д., в которую входят 6 территориально-административных единиц, расположенных на юге Западной Сибири: Томская, Омская, Новосибирская и Кемеровская области,

Республика Алтай и Алтайский край.

В качестве объекта исследования рассматриваются мезомасштабные конвективные комплексы (МКК). МКК в классификации Мэддокса Р.А., изложенной в Технической записке ВМО № 124, выделяется как отдельная составляющая и определяется как комплекс кучево-дождевых облаков, инфракрасные изображения которых имеют: площадь непрерывного облачного покрова с температурой верхней границы ниже  $-32^{\circ}\text{C}$  составляет не менее  $105 \text{ км}^2$ ; площадь внутреннего района с температурой верхней границы ниже  $-52^{\circ}\text{C}$  не менее  $5 \times 10^4 \text{ км}^2$ ; в период максимального развития отношение малой оси облачной системы к большой не менее 7/10.

За МКК в работе принимался массив кучево-дождевой облачности диаметром 50 км и более, исходя из того, что территория исследования не предрасположена к образованию МКК, и даже такой небольшой по размерам облачный массив способен генерировать опасные явления (гроза, град, сильные и продолжительные ливни). Активная часть жизненного цикла МКК в среднем составляет около 16 ч, однако его влияние на условия погоды могут сохраняться до 36 ч.

В работе мезомасштабные комплексы дешифрируются как на фронтальных (206 случаев), так и во внутримассовых процессах (269 случаев). На рис. 1 представлены примеры образования МКК в составе фронта и на одиночных облачных образованиях.

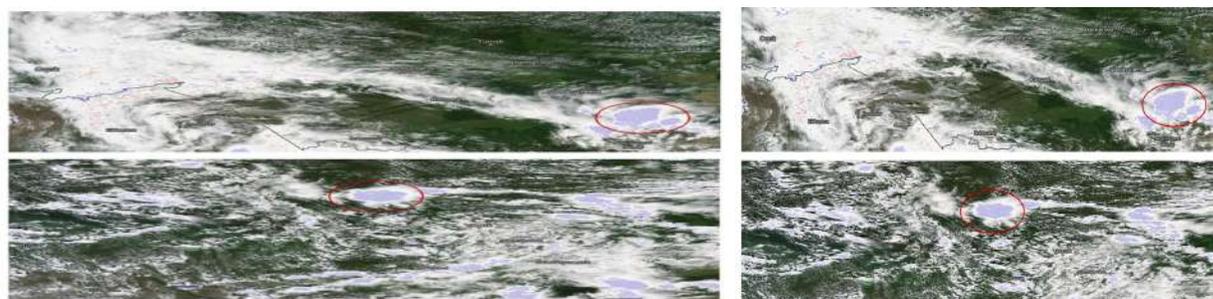


Рис. 1. Формирование МКК с маской оптической плотности: справа – в составе фронта (24 июля 2017 г.), слева – одиночные образования (19 июля 2017 г.)

Для оценки повторяемости параметров МКК на юге Западной Сибири за теплый период (апрель-сентябрь) 2010-2019 гг. использовались метод визуального дешифрирования облачности и данные радиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Спектрорадиометр MODIS является одним из ключевых

приборов на спутниках «Terra» и «Aqua». Спектрорадиометр MODIS имеет 36 каналов и позволяет производить регулярную съемку территории с пространственным разрешением от 250 до 1000 м [4].

На рис. 2 приведен временной ход числа случаев образования МКК на территории Западной Сибири с разделением образо-

вания их в составе фронтальной системы или внутримассовых. Ранее было получено [3], что фронтальные МКК образуются чаще на фронтах окклюзии. Число случаев с одиночными МКК превалирует над случаями фронтальных МКК в пяти из 10 лет. Особо выделяется их преимущество с 2016 по 2018 гг., нужно отметить, что в эти годы отмечалось наибольшее число положительных температурных аномалий на территории исследования.

Для внутригодового распределения повторяемости МКК не выявляется различий между внутримассовыми или фронтальными процессами и максимум приходится на июль. Не выявляется различий и в горизонтальных размерах, соотношение осей МКК 65 × 85 км. Случаи с размерами МКК, превышающими горизонтальные размеры оси за 100 км не превышают 15 % от общего числа МКК.

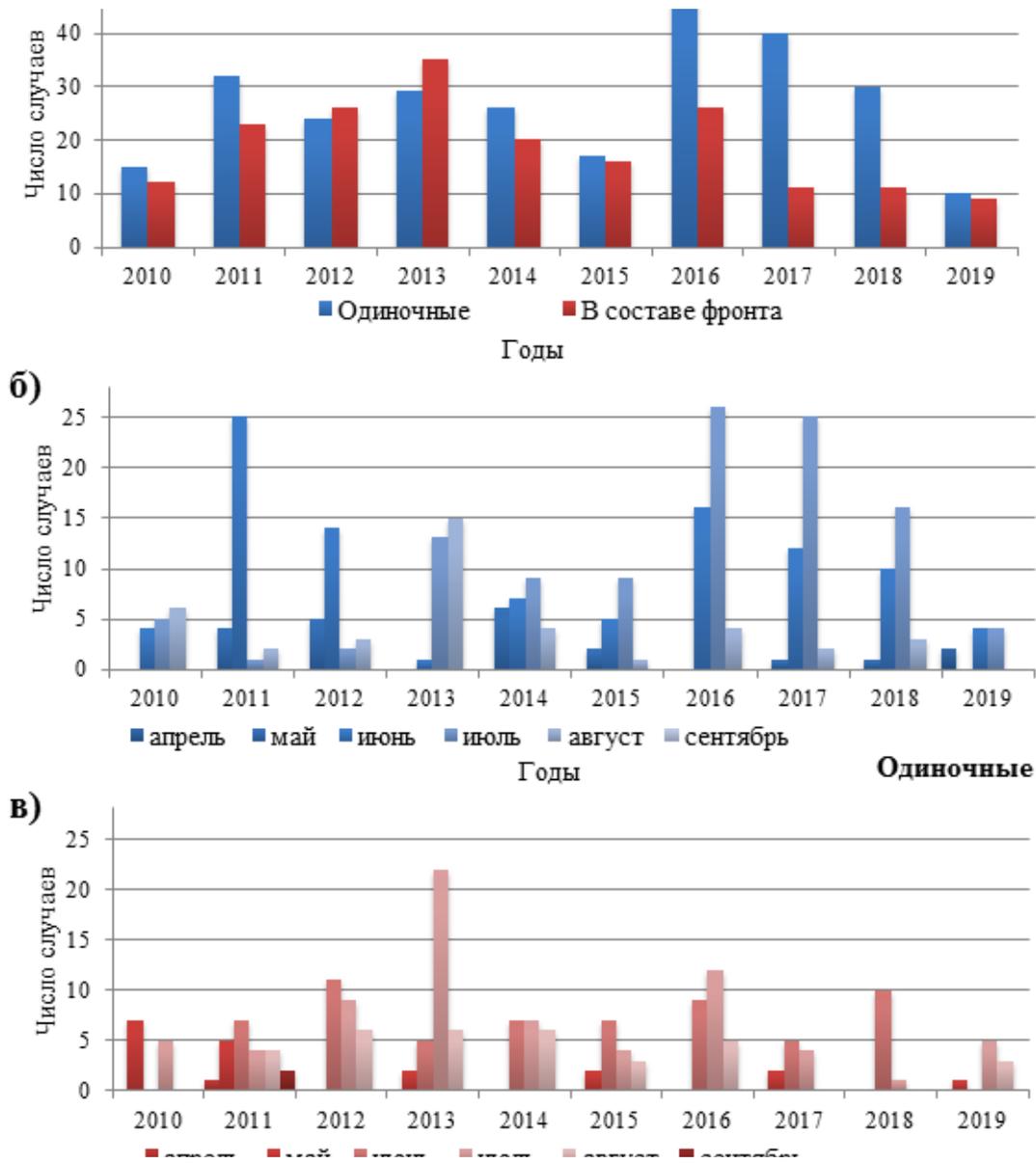


Рис. 2. Временной ход повторяемости МКК (а) за период с 2010 по 2019 гг.; одиночных МКК (б); МКК в составе фронта (в).

Пространственное распределение относительной повторяемости МКК, с разделением на синоптический режим образования, представлено на рис. 3. Относительная повторяемость определялась

из соотношения числа случаев с МКК, имеющих координаты внутри квадрата сетки размером 2 × 2°, к числу одиночных или фронтальных МКК отдельно.

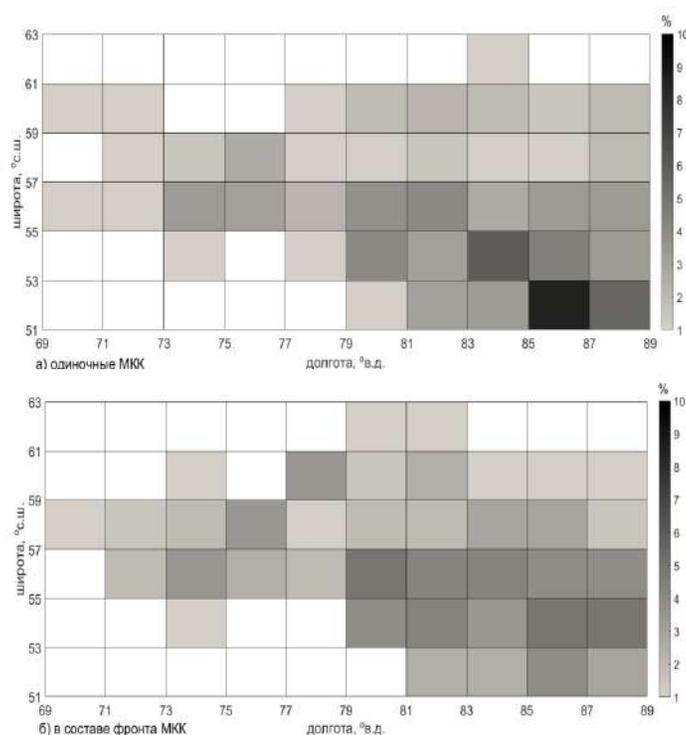


Рис. 3. Пространственное распределение относительной повторяемости одиночных МКК (а) и МКК в составе фронта (б).

Наибольшая концентрация повторяемости одиночных МКК отмечается в районе 85-87° в.д. и 51-53° с.ш. и ближайших координат. Территория относится к юго-восточной части Западной Сибири, районы крупных городов Новосибирск и Барнаул. Распределение географической повторяемости МКК, возникших в составе фронтальных систем, носит более рав-

номерный характер, относительно чаще фиксируясь в районе 83-87° в.д. и 57-59° с.ш. – Кетско-Тымская равнина.

Таким образом, вероятность возникновения опасных конвективных явлений вблизи густонаселенных районов и возможного ущерба больше, в случае слабопрогнозируемого внутримассового МКК.

### Библиографический список

1. Быков А. В., Шихов А. Н. Прогноз мезомасштабных конвективных систем с применением глобальных и мезомасштабных гидродинамических моделей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2018. Т. 15. № 2. С. 213-224.
2. Горбатенко В.П., Константинова Д.А., Золотухина О.И., Тунаев Е.Л. Термодинамические условия формирования мезомасштабной конвекции в атмосфере Западной Сибири // Известия ВУЗов. Физика, 2011. Т. 54, № 11/3. С. 148-155.
3. Жукова В.А., Кошикова Т.С., Кужевская И.В. Оценка параметров мезомасштабных конвективных комплексов на основе спутниковых и аэрологических данных (Западная Сибирь) // Геосферные исследования, 2019. № 2. С. 86-97.
4. Кужевская И.В., Пустовалов К.Н., Шаранова А.А. Характеристики конвективных кластеров, восстановленные по данным инструментов зондирования ATOVS // Фундаментальная и прикладная климатология. М.: Изд-во ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», 2018. Т.2. С. 23.
5. Успенский А.Б., Кухарский А.В., Успенский С.А. Валидация результатов спутникового мониторинга температуры поверхности суши // Метеорология и гидрология, 2015. № 2. С. 81-85.

УДК 556.012, 556.5.08

А.П. Лепихин<sup>1,2</sup>, А.В. Богомолов<sup>1</sup>, А.В. Белобородов<sup>2</sup>, Ю.С. Ляхин<sup>1</sup>, А.А. Тиунов<sup>1</sup>, lepihin49@mail.ru<sup>1</sup>Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, г. Пермь, Россия<sup>2</sup>ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассматриваются подходы к изучению мощности донных отложений посредством моделирования и акустического профилирования.

*Ключевые слова:* донные отложения, гидродинамическое моделирование, акустическое профилирование.

A.P. Lepihin<sup>1,2</sup>, A.V. Bogomolov<sup>1</sup>, A.V. Beloborodov<sup>2</sup>, Yu.S. Lyakhin<sup>1</sup>, A.A. Tiunov<sup>1</sup>, lepihin49@mail.ru<sup>1</sup>Perm federal research center of the Ural office of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia<sup>2</sup>Russian Research Institute for Integrated of Water Management and Protection, Kamsky Branch, Perm, Russia

## MODERN TECHNOLOGIES FOR ESTIMATION AND MODELLING OF BOTTOM SEDIMENTS OF SURFACE WATER BODIES

The paper examines approaches to the study of bottom sediment power through modelling and acoustic profiling.

*Keywords:* bottom sediments, hydrodynamic modeling, acoustic profiling.

Необходимость изучения мощности донных отложений водных объектов обусловлена, в целом, двумя обстоятельствами. Во-первых, гранулометрический состав отложений и их литология характеризуют динамические обстановки осадконакопления по акватории водохранилища, дают ключ к более глубокому пониманию внутриводоемных процессов, особенно, протекающих в наиболее трудном для непосредственного изучения придонном горизонте, их эволюции во времени, начиная с момента первоначального затопления ложа. Во-вторых, донные отложения являются объектами, аккумулирующими загрязняющие вещества, поступающие в водохранилище – с одной стороны, и с другой стороны сами могут выступать в роли источника вторичного загрязнения водной массы водохранилища при реализации неблагоприятных условий. Образно говоря, донные отложения являются геохимической памятью водного объекта.

В связи с этим возникают две весьма актуальные задачи, в тоже время, тесно связанные между собой: отработка эффективных инструментальных методов оценки мощности донных отложений; разработка методов и способов моделирования динамики донных отложений с учетом как внутрigoдовой, так межгодовой изменчивости стока.

Вопросы, касающиеся изучения строения, состава и распределения мощности донных отложений в водохранилищах различных размеров и озерах, достаточно широко освещены в научной литературе, например [3, 5, 7].

Стандартная методика исследований сводится к точечному опробованию донных отложений различными по конструкции грунтовыми трубками и дночерпателями. Стоит отметить определённые недостатки такого подхода. Во-первых, при значительных размерах изучаемого водного объекта общее количество станций опробования может достигать десятков и даже сотен точек, что связано с большими временными и ресурсными затратами (выставление на точку, якорение, спуско-подъемные операции и т.п.). Во-вторых, даже при значительном количестве точек исследования, по сути дела, неизученным «белым пятном» остается пространство между ними. При сложном донном рельефе, наличии погребенных русловых и пойменных форм это создает предпосылки для недоучета общего объема донных отложений, точное значение которого приобретает особую важность при планировании и расчете стоимости работ, например, при экологической реабилитации водного объекта.

Решать такие вопросы позволяют современные геофизические методы исследований, основанные на генерации сигналов определенной частоты и мощности, их последующей регистрации, обработки и интерпретации. Одним из таких методов является донное акустическое профилирование [8].

Акустическое (сейсмоакустическое) профилирование (в английском варианте sub-bottom profiling) как геофизический метод давно применяется в морской геофизике в вариантах буксируемого оборудования, что ранее было обусловлено техническими особенностями и габаритами аппаратуры [8]. Донные профилографы представляют собой, по сути, однолучевые эхолоты, работающие на очень низкой частоте (первые килогерцы). Проникающая способность генерируемых волн зависит от частоты сигнала (скин-эффект) и его длительности. Приборы с более низкой частотой работы антенного блока позволяют выполнять исследования на большую глубину, однако при этом снижается разрешающая способность прибора. Использование технологии CHIRP (линейной частотной модуляции сигнала) позволяет увеличивать производительность системы и обеспечить большее разрешение по разрезу дна.

Для решения конкретной практической задачи оценки распределения мощности донных отложений по акватории Аргазинского водохранилища был использован донный профилограф Stratabox HD (производитель SyQwest, США) работающий на частоте 10кГц. Прибор позволяет выполнять исследования на глубину осадочной толщи до 40 м при глубине водоема до 150 м с максимальным разрешением 6-10 см. Вес профилографа вместе с излучателем порядка 5 кг.

В результате обработки материалов были построены схемы распределения мощности донных отложений по акватории Аргазинского водохранилища (рис. 1).

Преимущества применения донного профилографа при исследовании донных отложений заключаются в возможности проведения непрерывных площадных исследований строения и мощности донных осадков водных объектов.

Данная информация имеет первостепенное значение для построения моделей динамики донных отложений. Динамики русловых процессов, формирование механизмов адаптации аллювиального русла проходимыми по нему расходами воды является центральной проблемой речной ги-

дродинамики, имеющей важное как практическое, так и теоретическое значение.

При решении задач динамики русловых потоков принципиальное значение имеет существенное различие временных масштабов изменчивости расходов воды

$$\tau_Q \sim \left( \frac{1}{Q} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) \right)^{-1}$$

и морфометрических характеристик русла

$$\tau_M \sim \left( \frac{1}{M} \left( \frac{\partial M}{\partial t} \right) \right)^{-1}$$

при этом  $\tau \ll \tau$ , т.е. перестройка морфометрии русла значительно более инерционный процесс (где  $Q$  – расход водотока,  $M$  – морфометрические характеристики русла). Данные особенности рассматриваемой задачи существенно затрудняли ее решение в достаточно строгой постановке. Однако к началу XXI в. возможности доступных для проведения оперативных расчетов вычислительных средств, позволили в современных моделях русловых процессов учитывать эти очень важные требования. Хотя данные расчетные схемы третьего поколения требуют значительно больших вычислительных ресурсов, однако они позволяют значительно более корректно проводить требуемые расчеты. В нашей стране наиболее известным таким программным продуктом является программный комплекс STREAM 2DCUDA, разработанный ООО НГГ «Аквариус Аналитик» [8].

Из зарубежных наибольшую известность получил программный комплекс SMS v.11.1 (Surface-water Modeling System) американской компании Aquaveo LLC, в составе которого лежат несколько моделей: RMA2, RMA4, FESWMS, TUFLOW (разработка компании BMT WBM), ADH (разработка USACE, Engineer Research and Development Centers, Coastal and Hydraulics Laboratory [1]), RiverFlow 2D (разработка компании Hydronia LLC [6]) и другие, которые позволяют решать различные современные гидрологические задачи.

Компьютерные гидродинамические двумерные (в горизонтальной плоскости) модели, построены на основе лицензированного, специализированного, гидрологического программного пакета SMS v.11.1 американской компании Aquaveo LLC, предназначенного для моделирования в двухмерном приближении гидродинамики и распространения загрязнений, а также транспорта взвешенных и влекаемых наносов в водном объекте.

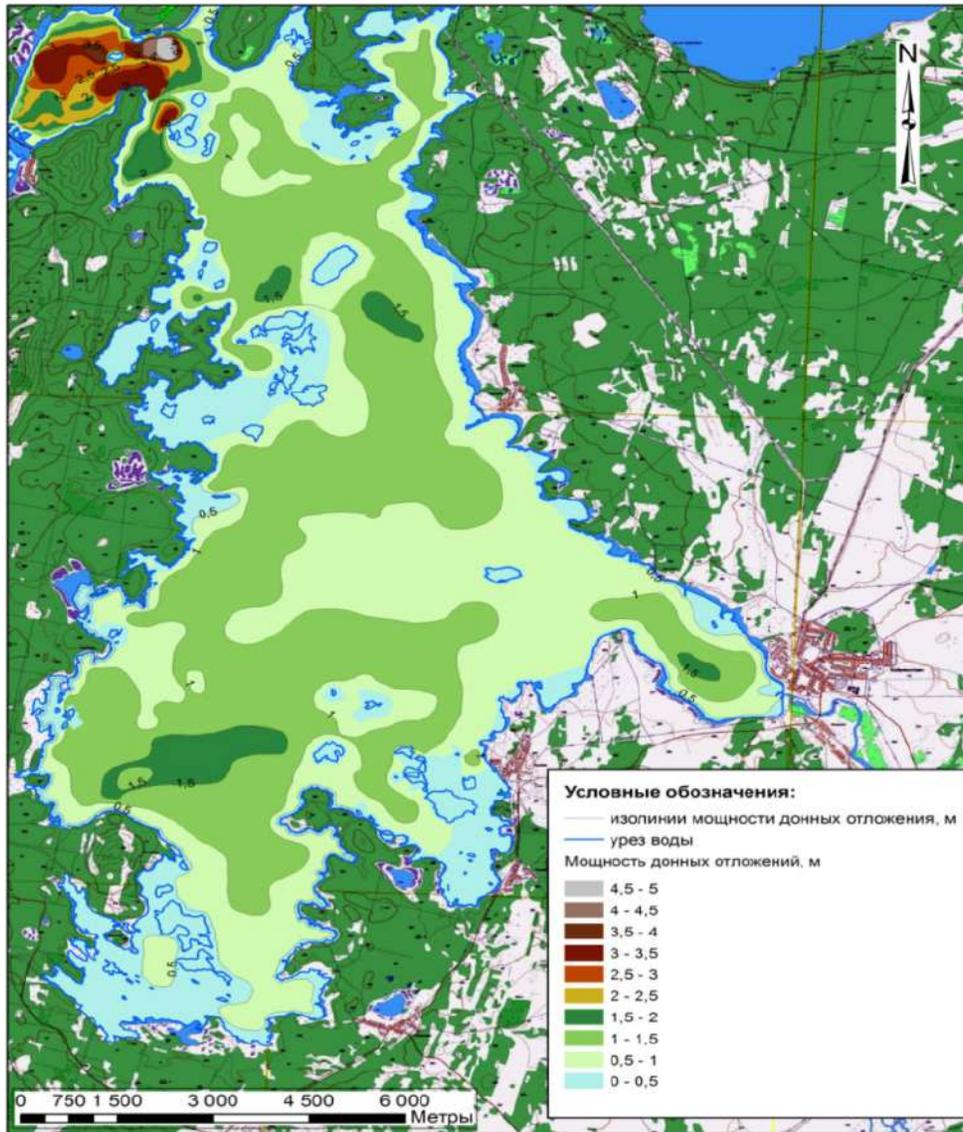


Рис. 1. Схема распределения мощности донных отложений Аргазинского водохранилища по материалам акустического профилирования

Рассматриваемый программный пакет SMS v. 11.1, авторами неоднократно использовался для решения самых актуальных задач, таких как: оценка зон затопления, изменения скоростного и уровенного режимов при добыче нерудных строительных материалов (в реках Вятка и Сылва [4, 10], в водохранилищах Воткинское и Нижнекамское); распространение загрязнения (в реках Вятка и Амур, в водохранилищах Клязьминское, Камское, Воткинское, Магнитогорское [9]); распространение теплового поля (Исетское и Камское водохрани-

лища); изменение гидродинамики потока (слияние рек Чусовая и Сылва); по защите берегов (р. Дон в районе г. Павловска [2]).

Моделирование гидравлики осуществляется по хорошо известным и описанным уравнениям мелкой воды. Моделирование транспорта наносов осуществляется по различным моделям в зависимости от выбора модели. Так для модели р. Сылва в районе сел Посад и Усть-Кишерть используется модель транспорта наносов ADH, а для моделирования транспорта наносов в р. Чепца используется модель RiverFlow2D.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-41-590013 р\_а «Исследование структуры плотностных течений и механизмов формирования слоя скачка плотности при слиянии рек с различающимися гидрохимическими характеристиками вод, находящихся в гидравлическом подпоре», 2019-2021 гг.*

**Библиографический список**

1. *Алексюк А.И., Беликов В.В.* Моделирование течений мелкой воды с областями обмеления и разрывами дна. // Журнал Вычисл. матем. и матем. физ., 2017 г. Т. 57. № 2. С. 316-338.
2. *Богомолов А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А.* Использование численных гидродинамических моделей для оценки эффективности проектных решений по защите берегов (на примере реки Дон в районе города Павловска). // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2014. №1. С. 50-57.
3. *Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л.* Сейсмоакустические исследования на акваториях. М., Недра, 1983. 204 с.
4. *Лепихин А.П., Тиунов А.А.* Современные гидродинамические модели русловых процессов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2019. № 4. С. 114-143.
5. *Субетто Д.А., Прыткова М.Я.* Донные отложения разнотипных водоемов. Методы изучения / Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016.
6. *Berger R.C., Tate J.N., Brown G.L., Savant G.* Adaptive Hydraulics (AdH) Version 4.5. Hydrodynamic User Manual, January, 2015.
7. *Dunbar John A., Allen Peter M., Higley Paul D.* Color-encoding multifrequency acoustic data for near-bottom studies. // Geophysics, vol. 65 NO. 3. P. 994-1002.
8. *Dunbar John A., Allen Peter M., Higley Paul D., Benett Sean J.* Acoustic sub-bottom profiling surveys of flood control reservoirs. // Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XIX, No. 2. P. 135-148.
9. *Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Ya., Lyakhin Yu., Tiunov A.* The modelling of the formation of technogenic thermal pollution zones in large reservoirs. // International Journal of Heat and Mass Transfer. Volume 126, Part A, November 2018. P. 342-352.
10. Reference Manual River Flow 2D Two-Dimensional River Dynamics Model, August, 2016. Hydronia LLC.

В.А. Лобанов, С.А. Маммедов, Ж.К. Наурозбаева, lobanov@EL6309.spb.edu  
 Российский государственный гидрометеорологический университет,  
 г. Санкт-Петербург, Россия

## МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОБОБЩЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

В статье рассматриваются статистические методы и модели, позволяющие определить показатели нестационарности временных рядов, обусловленные современным изменением климата. Представлены два вида моделей: модели временных рядов в пунктах наблюдений с последующим обобщением показателей их нестационарности по пространству и пространственные модели с оценкой изменения их параметров во времени и определении показателей нестационарности. Приводятся примеры моделирования и пространственного обобщения в среде ГИС.

*Ключевые слова:* современное изменение климата, многолетние ряды, показатели нестационарности, обобщение по пространству, статистические пространственные модели.

V.A. Lobanov, S.A. Mammedov, Zh.K. Naurozbaeva, lobanov@EL6309.spb.edu  
 Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

## METHODS OF SPATIAL GENERALIZATION AND MODELING IN THE STUDY OF CLIMATE CHANGE

The article discusses statistical methods and models that allow to determine the non-stationary time series indicators due to modern climate change. Two types of models are presented: models of time series at observation sites with the subsequent generalization of their non-stationarity indicators in space and spatial models with an assessment of their parameters change in time and determination of non-stationarity indicators. Examples of modeling and spatial generalization in the GIS are given.

*Keywords:* modern climate change, long-term series, indicators of non-stationarity, spatial generalization, statistical spatial models.

Более 90 % всех видов информации в гидрометеорологии имеют географическую привязку. При оценке современного изменения климата также необходимо выявлять области по пространству с различной степенью климатических изменений или долей нестационарности во временных рядах. При этом возможны два подхода к решению проблемы региональных изменений климата [3, 6]:

- оценка проявления современного изменения климата в каждом пункте наблюдений и затем обобщение показателей изменения по территории с целью выявления районов с большей или меньшей степенью этого изменения;

- пространственное моделирование в однородном географическом районе и затем уже анализ многолетних временных рядов параметров пространственной модели с целью установления степени климатических изменений.

Для моделирования временных рядов гидрометеорологических характеристик в каждом пункте можно использовать про-

стую статистическую модель, включающую составляющие случайных колебаний и нестационарность среднего значения:

$$Y(t) = \varepsilon_i + Y_{\#}(t), \quad (1)$$

где:  $Y(t)$  – изменение гидрометеорологической характеристики  $Y$  во времени  $t$ ;  $\varepsilon_i$  – случайная составляющая, связанная с проявлением влияния суммарной климатической изменчивости;  $Y_{cp}(t)$  – неслучайная составляющая или функция изменения среднего значения во времени, обусловленного изменением климата.

Если вклад неслучайной составляющей статистически незначимый, то зависимость (1) представляет собой процесс стационарного среднего (климата) со случайными отклонениями от него (климатическая изменчивость). Для аппроксимации зависимости  $Y_{cp}(t)$  предлагаются две нестационарных модели среднего: линейный тренд ( $Y_{cp} = b_1 t + b_0$ ) и ступенчатые переходы от одного стационарного среднего к другому ( $Y_{cp} = Y_{cp1}$  при  $t = t_1, \dots, t_m$  и  $Y_{cp} = Y_{cp2}$  при  $t = t_{m+1}, \dots, t_n$ ), в которых:  $b_1, b_0$  – коэффициенты уравнения линейного тренда,  $n$

– число лет наблюдений. Каждый из этих двух видов изменения среднего значения соответствует разным видам климатической системы. Линейный тренд – это равновесная система, когда монотонно нарастающие или убывающие внешние воздействия сразу же изменяют внутреннее состояние системы, и неравновесная система, в которой преобладает триггерный механизм изменений, когда система сопротивляется внешним воздействиям до определенного момента, а затем скачком переходит на новый стационарный уровень. Применительно к современным изменениям климата эти ситуации можно трактовать следующим образом:

- или непрерывность роста температуры воздуха (или непрерывность роста или падения других климатических характеристик) при непрерывном росте парниковых газов;

- или переход температуры воздуха (или других климатических характеристик) с одного стационарного уровня на другой, что может быть связано с аналогичным резким изменением в режиме атмосферной циркуляции.

Для количественной оценки вклада нестационарности можно сопоставить остаточные дисперсии стационарной и нестационарной моделей и представить это в виде относительной разности, показывающей, насколько в процентном соотношении нестационарная модель уменьшает остаточную дисперсию стационарной модели:

$$\Delta_{\text{нест}} = \left( \frac{\sigma_y - \sigma_\varepsilon}{\sigma_y} \right) 100\% \quad (2)$$

где:  $\Delta_{\text{нест}}$  – относительные погрешности или отличия (в %) нестационарной модели (тренда или модели ступенчатых изменений) от модели стационарной выборки;  $\sigma$  – стандартное или среднее квадратическое отклонение (СКО) остатков относительно нестационарной модели,  $\sigma_y$  – стандартное отклонение остатков относительно стационарной модели (среднее квадратическое отклонение ряда).

В первом приближении можно принять, что любая модель будет эффективнее модели стационарной выборки, если  $\Delta_{\text{нест}} \geq 10\%$ , т.е. отличие между моделями гарантированной превышает погрешность процесса или погрешность рассматриваемой характеристики.

Для оценки статистической значимости отличия СКО остатков стационарной

и нестационарной моделей можно применить критерий Фишера:

$$F_\Phi = \frac{\sigma_y^2}{\sigma_\varepsilon^2}, \quad (3)$$

где в числителе всегда будет дисперсия исходного ряда наблюдений, так как она является наибольшей или, по крайней мере, равна остаточной дисперсии конкурирующей модели.

Можно найти соответствие между  $F$  и  $\Delta_{\text{нест}}$  при уровне значимости  $\alpha = 5\%$  и объеме выборки  $n$ . Так, если  $n = 120$  лет, то для статистически значимого различия остаточных дисперсий двух моделей необходимо, чтобы  $\Delta_{\text{нест}} \geq 13,8\%$  [1, 2].

Полученные для каждого временного ряда значения показателей нестационарности  $\Delta_{\text{нест}}$  затем картируются по территории с целью определения их пространственной модели и выявления областей с большей и меньшей нестационарностью. Пример такой пространственной цифровой модели  $\Delta_{\text{нест}}$  в процентах для температуры воздуха в мае, для модели ступенчатых изменений и для внутренних областей азиатского континента показан на рис. 1 [4].

На рис. 1 области эффективных нестационарных моделей представлены желтым и коричневыми цветами и видно, что они занимают до 70 % территории и включает помимо Ирана, еще пустынные области Узбекистана.

Второй подход к пространственному обобщению климатических изменений связан с построением линейной статистической пространственной модели и анализу во времени ее коэффициентов. Статистическая пространственная модель может быть представлена следующим уравнением регрессии:

$$Y_{ij} = A_{1j} Y_{cpi} + A_{0j} + E_{ij} \quad (4)$$

где  $Y_{ij}$  – значение климатической характеристики на  $i$ -ой станции в  $j$ -ый год;  $Y_{cpi}$  – среднее многолетнее значение климатической характеристики на  $i$ -ой станции;  $A_{1j}$ ,  $A_{0j}$  – коэффициенты уравнения, определяемые по МНК;  $E_{ij}$  – случайные отклонения. Коэффициент  $A_{1j}$  характеризует градиент, а  $A_{0j}$  – уровень или положение пространственного поля. Случайные отклонения  $E_{ij}$  можно выразить через их стандарт  $S_{AEj}$  и этот параметр будет характеризовать внутреннюю неоднородность пространственного поля в каждый  $j$ -ый год.

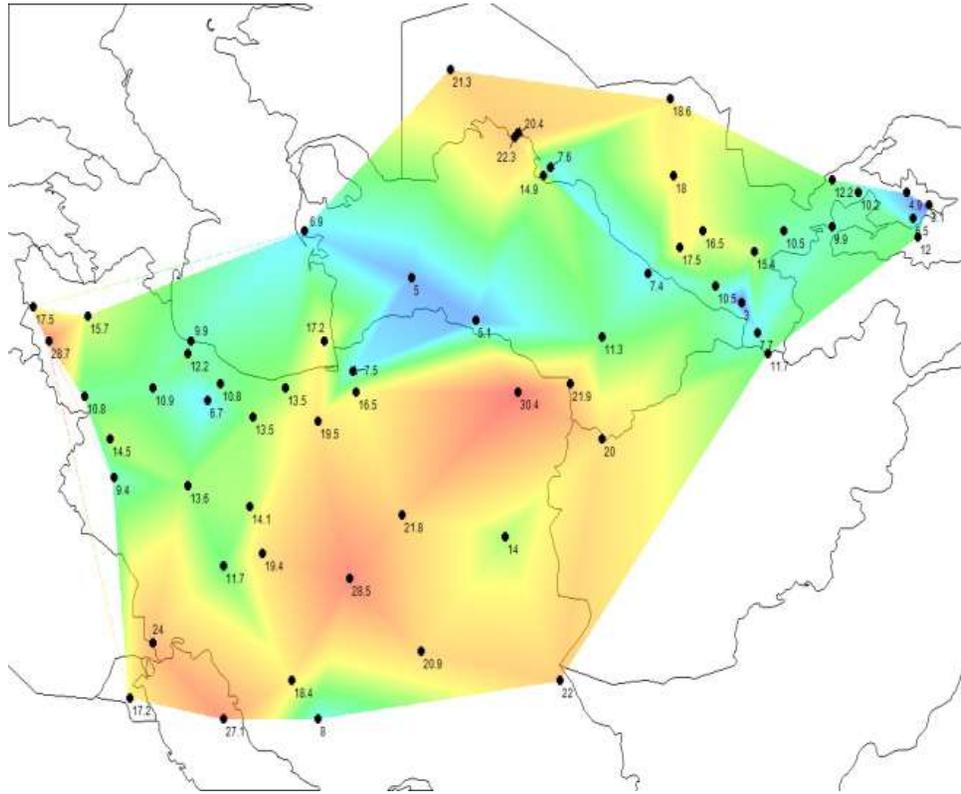


Рис. 1. Пространственное распределение показателей нестационарности  $\Delta_{нест}$  (%) для температуры воздуха мая и модели ступенчатых изменений

Пример статистической пространственной модели был реализован для многолетних рядов осадков января на 12 ме-

теостанциях севера Западной Сибири [5], полученные временные ряды параметров модели  $A_{1j}$ ,  $A_{0j}$  и  $S_{AEj}$  приведены на рис. 2.

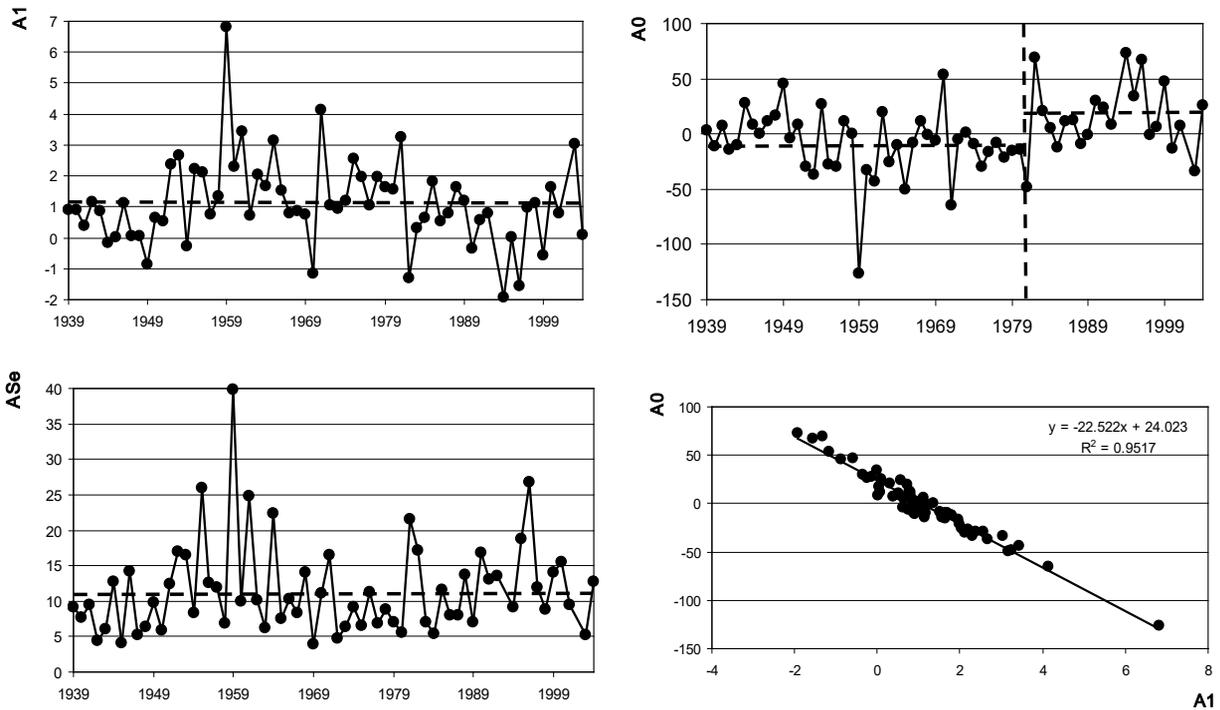


Рис. 2. Временные ряды коэффициентов  $A_{1j}$ ,  $A_{0j}$ , параметра  $S_{AEj}$  и зависимость между коэффициентами  $A_1$  и  $A_0$  пространственной модели осадков января на территории севера Западной Сибири

Как следует из графиков рис. 2, модели коэффициентов временных рядов  $A_1$ ,  $A_0$  и параметра  $S_{AE}$  можно отнести к стационарным, за некоторым исключением, т.к. для ряда  $A_0$   $\Delta \text{ст} = 9,4 \%$  близко к нестационарному ряду при росте среднего регионального значения в 1982 г. Аналогичное уменьшение коэффициента  $A_1$  также наблюдается в 1982 г., но оно не является существенным ( $\Delta \text{ст} = 5,1 \%$ ). Между коэффициентами  $A_1$  и  $A_0$  существует тесная обратная взаи-

мосвязь ( $R = 0,975$ ), что свидетельствует о том, что чем больше градиент поля, тем меньше средние по территории осадки и наоборот, чем больше средние осадки, тем меньше пространственный градиент. Это пространственное свойство можно применять на практике, и при известном прогнозе регионального среднего переходить к прогнозу градиента и значений на каждой метеостанции.

### Библиографический список

1. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 2. Динамика климата. Кн.1. В 2 кн.: учебник. СПб.: РГГМУ, 2016. 332 с.
2. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 2. Динамика климата. Книга 2 в двух книгах: учебник. СПб.: РГГМУ, 2018. 377 с.
3. Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Монография. Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ, 2019. 157 с.
4. Лобанов В.А., Маммедов С.А. Оценка климатических изменений температуры воздуха и их устойчивости на территории Центральной Азии. Ученые записки РГГМУ, № 51, 2018, С. 22-26.
5. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. Монография. Санкт-Петербург, издание РГГМУ, 2013. 123 с.
6. Шукри О.А.А., Лобанов В.А., Хамид М.С. Современный и будущий климат Аравийского полуострова. Монография. Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ, 2018. 190 с.

## **ГЕНЕРАЦИЯ ДОСТУПНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ВСЛЕДСТВИЕ ПРИТОКА КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ В АТМОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA-5**

Статья посвящена исследованию генерации доступной потенциальной энергии (ДПЭ) за счет притоков тепла, обусловленных поглощением коротковолновой радиации в атмосфере. Рассматривается необходимость перехода от реанализа ERA-Interim к ERA-5. Проведенное исследование показывает согласованность результатов счета генерации ДПЭ по данным реанализа ERA-5 с ERA-Interim.

*Ключевые слова:* доступная потенциальная энергия; коротковолновая радиация; реанализ.

## **GENERATION OF AVAILABLE POTENTIAL ENERGY DUE TO THE SHORT-WAVE RADIATION INFLUX IN THE ATMOSPHERE ACCORDING TO ERA-5 REANALYSIS**

The article is devoted to the investigation of the generation of available potential energy (APE) due to heat influxes caused by the absorption of short-wave radiation in the atmosphere. The need for a transition from ERA-Interim reanalysis to ERA-5 is under consideration. The study shows the consistency of the results of the generation of APE account according to the reanalysis ERA-5 with ERA-Interim.

*Keywords:* available potential energy; short-wave radiation; reanalysis.

Анализ циркуляции атмосферы с точки зрения энергетического подхода позволяет количественно сопоставить вклад того или иного процесса в ее развитие. Более глубокое понимание механизмов развития общей циркуляции атмосферы способствует его прогнозированию и является важным этапом в разработке способов активного воздействия на атмосферные процессы [1, 3, 7].

Доступная потенциальная энергия (ДПЭ) атмосферы определяется как разность между полной потенциальной энергией и энергией в устойчивом гидростатическом равновесии. Она представляет собой ту часть полной потенциальной энергии, которая может быть преобразована в кинетическую энергию в рассматриваемой замкнутой системе [2, 4, 7].

ДПЭ способна генерироваться за счет неадиабатических источников тепла, в частности за счет притоков коротковолновая радиация в частности. Очевидно, что для проведения анализа пространственного распределения и изменения генерации во времени необходимы исходные данные и методика ее расчета. В проведенных нами ранее исследованиях [5, 6]

в качестве исходных данных обоснованно использовались данные реанализа ERA-Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды [10] и результатам, полученным в Пермском государственном национальном исследовательском университете по данным счета мезомасштабной модели WRF (Weather Research and Forecasting) [13].

Данные реанализа являются наиболее удобными для исследования энергетических преобразований в атмосфере, кроме того, достаточно давно признана их адекватность в описании состояния атмосферы [8, 9]. Как было показано в наших исследованиях, ERA-Interim является весьма успешным реанализом, однако 31 августа 2019 г. было остановлено его производство, и на смену ему пришел реанализ ERA-5 [5, 12].

ERA-5 основан на ассимиляции данных 4D-Var с использованием цикла 41r2 Интегрированной системы прогнозирования (IFS), которая была введена в эксплуатацию в ECMWF в 2016 г., таким образом, ERA-5 является результатом десятилетнего развития физики моделей, динамики ядра и ассимиляции данных в сравнении с

ERA-Interim. Было значительно улучшено горизонтальное разрешение (расстояние между узлами сетки уменьшено до 31 км в сравнении с 79 км для ERA-Interim), по сравнению с ERA-Interim, ERA-5 также предоставляет расширенное количество выходных величин, таким образом, переход от ERA-Interim к ERA5 представляет собой постепенное изменение общего качества и уровня детализации [11, 12].

Исходя из всего вышесказанного, возникла необходимость адаптации предложенной нами методики оценки генерации доступной потенциальной энергии вследствие притоков коротковолновой радиации к новому, отвечающему самым современным требованиям к усвоению и согласованию исходной гидрометеорологической информации, представлении выходных величин в более качественном разрешении.

В целом, результаты счета по данным реанализа ERA-5, обладая большим разрешением, согласуются с ERA-Interim: 1) За счет притоков коротковолновой радиации происходит только генерация ДПЭ.

2) Наибольших значений генерация ДПЭ в атмосфере достигает в часы наиболее близкие к истинному полудню территории.

3) Наибольший вклад в генерацию ДПЭ за счет притоков коротковолновой радиации вносят слои атмосферы ниже 800 гПа.

4) Максимумы генерации наблюдаются на безоблачных пространствах с наибольшим влагосодержанием, которые наиболее соответствуют аналогичным областям ERA-Interim.

Таким образом, переход от ERA-Interim к ERA-5 приводит к улучшению пространственного и временного разрешения получаемых результатов, при этом результаты счета согласуются.

### Библиографический список

1. Ван Мигем Ж. Энергетика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 327 с.
2. Калинин Н.А. Исследование доступной потенциальной энергии циклонов умеренных широт // Метеорология и гидрология. 1997. № 1. С. 37-49.
3. Калинин Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. 308 с.
4. Калинин Н.А., Ветров А.Л. Генерация доступной потенциальной энергии вследствие крупномасштабной конденсации в циклонах умеренных широт // Метеорология и гидрология. 2002. № 4. С. 17-27.
5. Калинин Н.А., Лукин И.Л. Генерация доступной потенциальной энергии вследствие притока длинноволновой радиации в атмосфере // Метеорология и гидрология. 2014. № 3. С. 50-62.
6. Калинин Н.А., Лукин И.Л. Генерация доступной потенциальной энергии вследствие притока коротковолновой радиации по данным модели WRF // Географический вестник. 2015. № 3. С. 45-55.
7. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 260 с.
8. Рубинштейн К.Г., Оганесян В.В., Грачев Н.В. Воспроизведение приземной температуры воздуха и ее изменчивости. // Метеорология и гидрология. 2004. № 12. С. 42-52.
9. Хан В.М., Стерин А.М., Рубинштейн К.Г. Оценки трендов температуры в свободной атмосфере по данным реанализа и радиозондовым наблюдениям. // Метеорология и гидрология. 2003. № 12. С. 5-19.
10. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Holm E.V., Isaksen L., Kallberg P., Kohler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.-J., Park B.-K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thepaut J.-N. and Vitart F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2011. vol. 137, P. 553-597.
11. ERA5: data documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/ERA5+%3A+data+documentation#ERA5:datadocumentation-HowtociteERA5> (дата обращения 06.03.2020)

12. *Global reanalysis: goodbye ERA-Interim, hello ERA5* // ECMWF Newsletter. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/159/meteorology/global-reanalysis-goodbye-era-interim-hello-era5> (дата обращения 25.02.2020).
13. *The Weather Research and Forecasting (WRF) Model* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model> (дата обращения 27.02.2020).

УДК 911+58.072

Е.Л. Макаренко, А.П. Софронов, [elmakarenko@bk.ru](mailto:elmakarenko@bk.ru)

*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия*

## **РОЛЬ ЛЕСНЫХ ГЕОСИСТЕМ В РЕГУЛИРОВАНИИ ВОДНОГО СТОКА (НА ПРИМЕРЕ ТУЛУНСКОГО РАЙОНА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)**

В статье проводится анализ современного состояния лесов и оценка их водорегулирующего влияния на развитие паводочных ситуаций на примере бассейна реки Ии (Тулунский район), где в июне и июле 2019 г. произошло катастрофическое паводочное наводнение, приведшее к большим разрушениям и человеческим жертвам. За основные показатели, отражающие водорегулирующие функции леса приняты: лесистость, бонитет, полнота, породный и возрастной состав древесных насаждений. Рассмотрены и оценены основные факторы, приводящие к ослаблению водорегулирующих функций леса – пожары, вырубки, повреждения, вызванные насекомыми-вредителями и болезнями. По результатам анализа космоснимков спутников Landsat 7,8 и экспедиционных исследований составлена карта, отражающая территории с коренными и нарушенными лесорастительными сообществами, иные антропогенно-измененные территории.

*Ключевые слова:* наводнение, водорегулирующая функция леса, осадки.

Makarenko E.L., Sofronov A.P. [elmakarenko@bk.ru](mailto:elmakarenko@bk.ru), [alesofronov@yandex.ru](mailto:alesofronov@yandex.ru)

*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia*

## **THE ROLE OF FOREST GEOSYSTEMS IN THE REGULATION OF A WATER DRAIN (ON THE EXAMPLE OF TULUN DISTRICT OF IRKUTSK REGION)**

The article analyzes the current state of forests and assesses their water-regulating impact on the development of flood situations using the example of the Oya River Basin (Tulunsky District), where a catastrophic flood occurred in June and July 2019, resulting in great damage and loss of life. The main indicators reflecting the water-regulating functions of the forest are: forest cover, bonitet, fullness, species and age composition of tree stands. The main factors leading to the weakening of the water-regulating functions of the forest are considered and evaluated - fires, deforestation, damage caused by pests and diseases. Based on the analysis of satellite images of Landsat 7.8 satellites and expeditionary research, a map was compiled reflecting territories with indigenous and disturbed forest-growing communities, other anthropogenic-altered territories.

*Keywords:* flood, forest water regulation function, rainfall.

В конце июня и начале июля 2019 г. в ряде районов (Нижнеудинский, Тайшетский, Тулунский, Чунский, Зиминский, Куйтунский) на юго-западе Иркутской области сложилась сложная паводочная ситуация, спровоцированная обильными ливневыми осадками. От паводка пострадало более 100 населенных пунктов, ущерб превысил 35 млрд. рублей [8]. Основной объем осадков выпал в Нижнеудинском и Тулунском районах. Так, в п. Икей Тулунского района с 25 по 27 июня выпало 218 мм или 370 % от их месячной нормы [3]. В

наибольшей степени от стихии пострадали населенные пункты Тулунского района и г. Тулун, находящиеся в бассейне среднего и нижнего течения реки Ии. Формирование экстремальных паводков было обусловлено редким сочетанием синоптических факторов с высокой предшествующей увлажненностью водосборов [9].

В целом, для бассейнов левых притоков р. Ангары – Ии, Уды, Кирей, Тойсук, Оки, Б. Белой, Венгерки, Киренги, Олхи, Китой, Бирюсы характерны частые паво-

дочные ситуации [7]. Развитие их здесь обусловлено не только осадками, обильное выпадение которых провоцируется подпорным эффектом горной системы Восточных Саян на пути влажного западного воздушного переноса, но и всем комплексом природных условий (значительные объемы снегонакопления в лесу, уклоны и перепады высот в горных районах, переувлажненность и близость подземных вод в лугово-болотных комплексах и пр.).

Важную гидрологическую роль (водоохранную и водорегулирующую) играет лесной покров. Под его водорегулирующей ролью понимается влияние на изменение динамики распределения общего стока на поверхностный («быстрый»), внутрпочвенный и грунтовый («медленный») сток [2]. Это влияние зависит от множества взаимосвязанных качественных и количественных характеристик лесных насаждений и лесной экосистемы в целом.

Целью исследования являлась оценка влияния состояния лесов на развитие паводочных ситуаций в Иркутской области на примере бассейн реки Ии (Тулунский район). В основные задачи исследования входили: сбор статистических сведений о лесах за длительный период; выделение основных характеристик лесов, ответственных за их водорегулирующую функцию; оценка водорегулирующего значения лесов территории с учетом их современного состояния, осложненного факторами (вырубки, пожары, повреждения лесов вредителями и болезнями), ведущими к ослаблению данной функции; формирование базы данных о лесах, основанной на данных государственной статистики, натурных экспедиционных исследований, анализа космоснимков спутников Landsat 7,8 и составление карты состояния растительного покрова в пределах бассейна р. Ии. За основные показатели при оценке водорегулирующего значения лесов приняты: лесистость, бонитет, полнота, породный и возрастной состав древостоев. Они рассмотрены за период с 2008 по 2018 гг. в пределах Тулунского лесничества и распространены на водосборный бассейн р. Ии, который занимает его большую часть (около 80 %).

Работа базируется преимущественно на ранее проведенных исследованиях, посвященных влиянию растительного покрова на характеристики стока и выполненных в схожих природных условиях, с однотипными по характеру строения и функционирования растительными группировками [3].

Обследование ключевых участков лесорастительного покрова и описания растительности велось с использованием классических геоботанических методов [6], дополненных современными методами фиксации пространственной привязки (GPS-Глонасс-навигаторов); аэрофотосъемки с использованием беспилотных ЛА, данных дистанционного зондирования Земли. В работе использованы статистические данные Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, Министерства лесного комплекса.

Леса рассматриваемой территории расположены в пределах Иркутско-Черемховской подтаежной провинции Среднесибирской таежной области и Среднеокинской темнохвойно-горно-таежной провинции Южносибирской горно-таежной областей [1] и имеют, таким образом, особенности, связанные с проявлениями широтной зональности и вертикальной поясности. В равнинной части территории прослеживается зональная смена растительности, в горной части выделяются высокогорный, горно-таежный и подгорно-лесной пояса.

В пределах Иркутско-Черемховской подтаежной провинции коренной растительностью выступают светлохвойные сосновые и лиственничные кустарниковые и травяные леса. Значительны здесь площади вторичных мелколиственных лесов, приуроченные к наиболее освоенной части района. Значение лесов этой части территории заключается, прежде всего, в их транспирирующей функции.

Растительный покров Среднеокинской темнохвойной горно-таежной провинции более сложен в силу наличия здесь закономерности высотной поясности, что создает высокое разнообразие местообитаний и пестрое сложение фитоценозов. Эдификаторами лесов в районе выступают кедр сибирский, пихта сибирская и ель обыкновенная. Значение лесов этой провинции, особенно высокогорных сообществ, в силу специфики местообитаний (крутые склоны, значительные перепады высот, незначительная способность к влагонакоплению) заключается, в основном, в стокоформирующих функциях.

Тополь играет заметную роль в составе древостоя приречных горно-долинных лесов. В междуречье нижних течений рр. Кирей и Икей, до их впадения в р. Ию широко распространены кустарниково-луговоболотные, в сочетании с лесными сообществами, комплексы.

Лесистость в бассейне р. Ии на начало 2019 г. составляла 67,4 % (в Тулунском районе – 71,9 %). Наиболее низкие ее показатели зафиксированы с конца 1930-х по начало 1960-х гг., что было связано с интенсивными лесозаготовками, вырубками и раскорчевкой леса под цели сельского хозяйства, промышленного, транспортно-го и иного строительства. В этот период были уничтожены коренные лесорастительные сообщества преимущественно в равнинной подтаежной части территории.

Одинаково важное значение в водорегулирующих процессах играют хвойные и мелколиственные древостои. Первые обладают более мощной корневой системой, обеспечивающей более высокую рыхлость верхнего почвенного горизонта и создающей условия для более высокой, по сравнению с менее рыхлыми почвами под лиственными лесами, инфильтрации осадков. С другой стороны, производные мелколиственные леса, обладают более интенсивной транспирацией, по сравнению с коренными хвойными лесами [3], что в свою очередь пусть незначительно, но способствовало сдерживанию повышения уровня реки Ии. В лесопокрытой площади хвойные древостои занимают около 67 %, мелколиственные – 18,7 %.

Бонитет древесных насаждений – обобщенный показатель продуктивности, увязывающий условия произрастания с качественными характеристиками древостоев (возраст, высота). Леса высоких (I, II) и средних (III) классов бонитета в отличие от низких (IV, V, Va, б) лучше выполняют водорегулирующие функции. В настоящее время под древесными насаждениями III, II классов бонитета находится 50,16 % (565076 га) от площади лесов занятых древостоями, причем наибольшую долю в них занимают хвойные.

Возрастной состав древостоев – важный показатель с точки зрения развития их транспирирующей функции. В наибольшей степени она выражена у молодых и средневозрастных насаждений. На долю молодняков приходится 38 %, средневозрастных – 27,7, приспевающих – 9,5, спелых и перестойных – 24,8 %. В высоко- и среднебонитетных древостоях удельный вес площади молодняков хвойных составляет около 50 %, а мягколиственных – около 25 %.

Полнота древостоя (лесоводственная) – относительная величина, выражающая степень плотности стояния деревьев в древостое, его целостность. С водорегули-

рующей точки зрения она свидетельствует о способности задерживать кронами деревьев жидкие осадки. Доля высокополнотных (0,7-1,0) насаждений на территории – 42,6 % от лесопокрытой площади. В составе высокополнотной группы доля хвойных – 76,0 %.

Определенное влияние на ослабление водорегулирующих функций леса, оказывают рубки, расположенные преимущественно в низкогорной части горно-таежной провинции. Однако в настоящее время объемы лесозаготовок не имеет тех значительных масштабов, которые были в период с начала 1930-х по начало 1960-х гг. С 2008 по 2018 гг. удельный вес объемов лесозаготовок от всего их объема в Иркутской области колебался от 0,46 до 1,22 % [4]. В целом можно сказать, что нагрузка объемов рубок на леса находится на среднерегionalном уровне.

В пределах бассейна р. Ии фиксируются, в основном, выборочные рубки, основные площади которых имеют возраст более 5 лет. Рубки такого возраста характеризуются незначительным отличием по количеству стока от коренных сообществ [3]. Известно, что максимальное увеличение стока с вырубленных участков под темнохвойными лесами происходит в первые годы после рубок. Величина стока увеличивается в это время почти в два раза, но уже на 8-10-летних рубках происходит восстановление водного баланса, наблюдается выравнивание расхода влаги на испарение на рубке и в коренном насаждении.

Нарушенность лесорастительного покрова связана также с пожарами, насекомыми-вредителями, болезнями и иными причинами. С 2008 по 2019 гг. от болезни леса в лесничестве погибло 576 га, воздействия неблагоприятных погодных условий (ветровалы, засухи и пр.) – 1493, лесных пожаров – 5226, антропогенных факторов – 12 га, повреждений насекомыми (сибирский шелкопряд) – 400 га лесов. Большая часть лесов за этот период лесов погибла от пожаров – 68 %. Ежегодно от них погибает в среднем 436 га лесов. В целом, с 2008 г. площадь всех погибших по разным причинам и вырубленных лесов в лесничестве составила 2,3 % от лесопокрытой площади.

В результате анализа космоснимков Landsat 7, 8 и полевых экспедиционных работ составлена карта, отражающая состояние растительного покрова в бассейне р. Ии. Коренные безлесные территории (гор-

ные тундры, болота, луга и т.п.) занимают 23,3 % водосборной площади, пашни и необлесенные залежи – 8,3 %, населенные пункты и сильнонарушенные территории (терриконы, угольные разрезы и др.) – 1 %, коренные и условнокоренные леса – 39,7 %, производные мелколиственные леса – 27,7 %.

Основная доля осадков, приведших к наводнению, выпала в верховьях р. Ии в горах Восточного Саяна, где растительный покров характеризуется очень низкой нарушенностью рубками и пожарами, иными видами нарушений, но в силу структурно-пространственных характеристик играет слабую осадко-задерживающую роль. В подтаежной провинции растительность характеризуется более высокой степенью нарушенности, что связано с длительной и активной антропогенной деятельностью и проявилось через значительные площади сельскохозяйственных угодий, вторичных мелколиственных лесов, возникших преимущественно на месте вырубок. Влияние последних на сток сходно, а в некоторых случаях даже уменьшает его по сравнению с коренны-

ми сообществами. При развитии паводков в Тулунском районе летом 2019 г. они, несомненно, смягчили негативный эффект аномально обильных осадков. Однако из-за более низкой лесистости этой части водосборного бассейна р. Ии их водорегулирующую роль следует признать недостаточной.

Определенные риски для развития паводочных ситуаций несет высокая заболоченность территории преимущественно в подгорной части водосборного бассейна. При обильных и продолжительных осадках высокая перувлажненность грунтов ведет к перераспределению стока в поверхностный.

В целом, леса водосборного бассейна р. Ии имеют удовлетворительные качественные характеристики с точки зрения выполнения ими водорегулирующих функций. Высокобонитетные, высокополнотные, молодые и средневозрастные древостои, которые признаются лучшими лесами для этих целей, занимают соответственно 50, 16, 42,6 и 65,7 % лесопокрытой площади.

### Библиографический список

1. Белов А.В. Геоботаническое районирование Иркутской области, Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. М. Иркутск, 2004. С. 54.
2. Битюков Н.А. Гидрологическая роль лесов Северо-Западного Кавказа / Автореф дисс. д.б.н. М., 1996. 53 с.
3. Буренина Т.А., Федотова Е.В. Роль горных лесов в формировании стока рек северного макросклона Западного Саяна // Сохранение и воспроизводство лесов как важного средообразующего, климаторегулирующего фактора: Материалы международной научно-практ. конф. Бишкек: 2011. С. 18-22.
4. Лесохозяйственный регламент Тулунского лесничества Иркутской области. – Иркутск, 2018. 410 с.
5. Паводок в Иркутской области побил рекорды за весь период наблюдений // РИА Новости. 08.07.2019 [Электронный ресурс] URL: <https://ria.ru/20190708/1556299303.html> (дата обращения: 09.12.2019).
6. Полевая геоботаника. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1972. Т. 4. 336 с.
7. Тимофеева С.С., Эглит В.Э., Морозова О.В. Мониторинг наводнений Иркутской области на основе ретроспективного анализа // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2011. № 9(56). С. 82-89.
8. Ущерб от наводнений в Иркутской области предварительно оценили в 35 млрд рублей // ИНТЕРФАКС. 22.08.2019. [Электронный ресурс] URL: <https://reality.interfax.ru/ru/news/articles/108937/> (дата обращения 15.01.2020).
9. Шаликовский А.В., Лепихин А.П., Тиунов А.А., Курганович К.А., Морозов М.Г. Наводнения в Иркутской области в 2019 году // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2019. № 6. С. 48-65.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА К ОЦЕНКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ СТРУКТУРАМИ

**Аннотация:** В статье оценивается степень влияния Арктической осцилляции и Южного колебания на динамику планетарной высотной фронтальной зоны. Для оценки воздействия применяется прием дисперсионного анализа. Получено, что степень влияния этих объектов статистически не значима и составляет 6 % и 7 % соответственно.

**Ключевые слова:** структурные элементы ОЦА, глобальные объекты циркуляции, планетарная высотная фронтальная зона, дисперсионный анализ.

S. Morozova, M. Alimpieva, swetwl@yandex.ru

*Saratov State University, Saratov, Russia*

## APPLICATION OF DISPERSION ANALYSIS METHODS TO EVALUATING THE INTERACTION OF CIRCULATION STRUCTURES

**Abstract.** The article assesses the degree of influence of the Arctic oscillations and Southern oscillations on the dynamics of the planetary tall frontal zone. To assess the impact, a variance analysis technique is used. It was found that the degree of influence of these objects is not statistically significant and amounts to 6 % and 7 %, respectively.

**Keywords:** structural elements of the GAC, global circulation objects, planetary tall frontal zone, analysis of dispersion.

Общая циркуляция атмосферы (ОЦА), представляющая собой крупномасштабные воздушные течения, состоит из непрерывно взаимодействующих между собой циркуляционных структур различных пространственно-временных масштабов. Очевидно, что структурные элементы ОЦА находятся в сложном непрерывном взаимодействии и испытывают на себе влияние друг друга.

Известно, что наибольшая погодноклиматическая изменчивость характерна для умеренных широт, главной циркуляционной особенностью которых является активная циклоническая деятельность. Направления воздушных потоков определяются деформацией планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) – трехмерного объекта циркуляции глобального масштаба. Искривления ПВФЗ и сильное развитие волновых процессов на ней приводят к увеличению степени меридиональности потоков, благодаря чему в тыловых частях барических ложбин происходят резкие вторжения холодных воздушных масс в более южные широты, а в тыловых частях высотных барических гребней наблюдается мощный вынос тепла в Арктику. Этому процессу сопутствует активизация арктического центра действия, что выражается в более активном

проникновении в умеренные широты арктических антициклонов. При этом в области деформации ПВФЗ формируется циклоническое искривление поля изогипс. При распространении гребней субтропических антициклонов к северу на ПВФЗ возникает антициклоническая кривизна.

Остаются открытыми вопросы: насколько сильное влияние на планетарную высотную фронтальную зону оказывают смежные с ней объекты циркуляции; как развиваются волновые процессы на ПВФЗ – под воздействием более мелкомасштабных циркуляционных структур (центров действия атмосферы), или же искривления потоков на ПВФЗ возникают в результате ее собственной внутренней динамики? Отметим, что параметрические оценки взаимодействия и взаимовлияния структурных элементов общей циркуляции атмосферы различных пространственно-временных масштабов практически не представлены в научной литературе. Оценим влияние на планетарную высотную фронтальную зону с смежных с ней циркуляционных структур высоких и низких широт.

Оценки влияния одного или нескольких факторов на исследуемый объект может проводиться разными методами. Так

авторы [2] оценивали вклад радиационного воздействия парниковых газов и мультитекадного колебания в тренды приповерхностной температуры с помощью авторегрессии.

Вклад одиночного фактора в исследуемую величину оценивается гораздо проще. Авторы публикации [7] считают, что количественную оценку влияния одной переменной на другую можно получить, рассчитав коэффициент детерминации  $R^2$ , при этом предиктором является вторая переменная в случае очевидной причинно-следственной связи.

В статьях [5, 6] оценка вклада влияния одной величины на другую проводится также с применением коэффициента детерминации, однако в этом случае причинно-следственная связь не представляется очевидной.

По мнению авторов настоящего исследования, в тех случаях, когда причинно-следственная связь не является очевидной, лучше использовать прием дисперсионного (факторного) анализа, позволяющего оценить существенность влияния одной величины на другую.

Основным приемом дисперсионного анализа является расчет общей  $\sigma_x^2$ , факторной  $\sigma_f^2$  и остаточной дисперсий  $\sigma_z^2$  [1]. На практике иногда вместо дисперсий рассчитывают суммы отклонений:  $S_x$  – общая сумма квадратов,  $S_f$  – факторная сумма квадратов,  $S_z$  – остаточная сумма квадратов.

Для расчетов используют формулы 1-3.

$$S_z = \sum x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum x_i \right)^2; \quad (1)$$

$$S_f = \sum \frac{\sum (x_i)^2}{m_i} - \frac{1}{n} \left( \sum x_i \right)^2; \quad (2)$$

Дисперсии находятся соответственно по выражениям:

$$\sigma_f^2 = \frac{S_f}{K_f}, \sigma_z^2 = \frac{S_z}{K_z}, \sigma_x^2 = \frac{S_x}{K_x}, \quad (3)$$

при этом  $K_f = q-1$ ,  $K_z = K_x - K_f$ ,  $K_x = N-1$  –

числа степеней свободы,  $q$  – число уровней (градаций) исследуемого фактора,  $N$  – число наблюдений.

Исходными материалами для выполнения исследования послужили данные об интенсивности планетарной высотной фронтальной зоны, опубликованные в [3]; интенсивность арктической осцилляции и южного колебания были взяты с сайта [8].

Поскольку исследуется влияние характеристик Арктической осцилляции и Южного колебания на интенсивность ПВФЗ, разбиение на градации проводится именно этих характеристик. Для разбиения на градации применим стандартную статистическую процедуру. По формуле  $k = 5 \ln N$  определяем количество градаций. По формуле  $l = (x_{max} - x_{min}) / k$  определяем ширину градации. Значения интенсивности ПВФЗ разносим соответственно градациям [5]. В таблице представлено распределение интенсивности ПВФЗ от интенсивности Арктической осцилляции.

Рассчитанная по всему ряду полная (общая) сумма квадратов отклонений составила 1888,3, при этом факторная сумма квадратов оказалась равной 233,3. Отношение рассчитанных дисперсий согласно критерию Фишера на 95 %-ном уровне значимости не показала статистической значимости вклада Арктической осцилляции в изменение интенсивности ПВФЗ. Вклад Арктической осцилляции в изменчивость ПВФЗ оценивается в 6 %. Аналогичные результаты об отсутствии значимости влияния получены и для Южного колебания. Вклад Южного колебания в интенсивность ПВФЗ оценивается в 7 %.

Рассчитанные коэффициенты корреляции между интенсивностью планетарной высотной фронтальной зоны и индексами Арктической осцилляции и Южного колебания оказались равными  $-0,03$  и  $-0,02$  соответственно.

Кроме однофакторного, авторами проведен многофакторный анализ. Оценивалось одновременное влияние двух факторов – Арктической осцилляции и Южного колебания – на изменчивость планетарной высотной фронтальной зоны.

Таблица 1. Интервальные значения интенсивности ПВФЗ в зависимости от Арктической осцилляции

Характеристика	Градации интенсивности Арктической осцилляции						
	-1,04; -0,78	-0,78; -0,53	-0,5; -0,27	-0,27; -0,01	-0,01; 0,25	0,25; 0,51	0,51; 1,02
Суммы	22,6	27,9	80,0	87,2	73,6	22,2	22,5
Число случаев	4	5	14	16	13	4	4
Среднее значение	5,7	5,6	5,7	5,5	5,7	5,6	5,6

На рис. 1 представлена графическая интерпретация влияния двух факторов – Арктической осцилляции и Южного колебания на интенсивность ПВФЗ. По рис. 1 можно установить, что самые низкие значения интенсивности ПВФЗ наблюдаются при отрицательных аномалиях Арктической осцилляции и положительных аномалиях Южного колебания. То есть при ослаблении Арктического антициклона и усилении субтропических интенсивность ПВФЗ ослаблена. Наибольшая интенсивность ПВФЗ отмечается при отрицательных аномалиях и Арктической осцилляции, и Южного колебания. То есть, при ослаблении и Арктического, и субтропических антициклонов ПВФЗ обнаруживает наибольшую интенсивность.

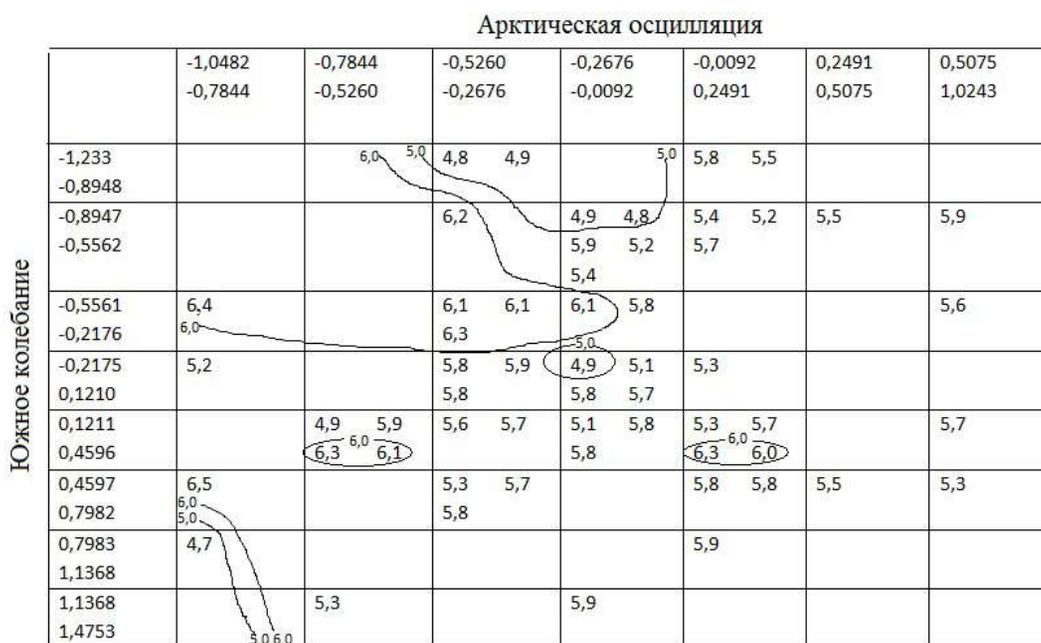


Рис. 1. Зависимость интенсивности планетарной высотной фронтальной зоны от интенсивности Арктической осцилляции и Южного колебания

Таким образом, в результате проведенного исследования можно заключить:

1. Планетарная высотная фронтальная зона испытывает влияние смежных с ней объектов циркуляции высоких и низких широт – Арктической осцилляции и Южного колебания соответственно.
2. Шесть процентов изменчивости интенсивности планетарной высотной фронтальной зоны определяется динамикой Арктической осцилляции.
3. Семь процентов изменчивости интенсивности ПВФЗ определяется изменчивостью Южного колебания.

4. Согласно критерию Фишера влияние смежных с ПВФЗ объектов циркуляции высоких и низких широт на нее статистически не значимо.

5. Интенсивность планетарной высотной фронтальной зоны зависит от интенсивности Арктической осцилляции и Южного колебания. ПВФЗ имеет наибольшую интенсивность при отрицательных аномалиях Арктической осцилляции и Южного колебания, наименьшую – при отрицательных аномалиях Арктической осцилляции и положительных аномалиях Южного колебания.

### Библиографический список

1. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Изд-во Высшая школа, 2003. 480 с.
2. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Вклад радиационного воздействия парниковых газов и атлантической мультideсятилетней осцилляции в тренды приповерхностной температуры // Метеорология и гидрология, 2018. № 9. С. 5-13.
3. Неушкин А.И., Сидоренков Н.С., Санина А.Т., Иванова Т.Б., Бережная Т.В., Панкратенко Н.В., Макарова М.Е. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие. Изд-во ВНИГМИИЦД. Обнинск, 2013. 200 с.
4. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии Л.: Гидрометеопиздат, 1968. 242 с.
5. Переведенцев Ю.П., Вильфанд Р.М., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Николаев А.А., Исмагилов Н.В. Мониторинг и прогнозирование климатической изменчивости на территории Приволжского федерального округа // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра РФ, 2019. № 1(371). С.67-94.
6. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Оценка современных изменений температуры воздуха и скорости ветра в тропосфере Северного полушария. Метеорология и гидрология, 2014. № 10. С.19-31.
7. Спорышев П.В., Говоркова В.А. Температурные изменения на территории России по данным наблюдений и результатам модельных расчетов с отдельным учетом антропогенных и естественных внешних воздействий // Труды ГГО, 2013. Вып. 568. С. 51-79.
8. Климатический прогностический центр: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.origin.cpc.ncep.noaa.gov>.

И.П. Опутина, oputinaip@ecology.perm.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем»  
(ФГБУ УралНИИ «Экология»), г. Пермь, Россия

## ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В МАГНИТОГОРСКЕ

В статье рассматриваются результаты сопоставления данных мониторинга атмосферного воздуха на стационарных постах наблюдения государственного экологического мониторинга и данных производственного экологического контроля в г. Магнитогорске

*Ключевые слова:* мониторинг загрязнения атмосферы, стационарные и маршрутные посты контроля качества воздуха

I. Oputina, oputinaip@ecology.perm.ru

Federal state budgetary institution «Ural state research institute of regional environmental problems»  
(UralNII «Ecologia»), Perm, Russia

## OPPORTUNITIES OF OPTIMIZATION OF THE ATMOSPHERIC AIR MONITORING SYSTEM IN MAGNITOGORSK

The article discusses the results of comparing atmospheric air monitoring data at stationary observation posts of state environmental monitoring and industrial environmental monitoring data in Magnitogorsk

*Keywords:* monitoring of air pollution, stationary and route posts for air quality control

Мониторинг атмосферного воздуха в крупных промышленных городах в настоящее время является актуальным элементом природоохранной деятельности, в том числе в связи с выявлением все большего количества взаимосвязей между загрязнением атмосферного воздуха и заболеваемостью населения [1].

В настоящее время в городах России основной объем информации о состоянии атмосферного воздуха поступает от сети наблюдения государственного экологического мониторинга (стационарные и маршрутные посты наблюдения) [3]. Дополнительным источником информации служат данные, получаемые в рамках производственного экологического контроля крупных промышленных предприятий. При этом количество и размещение постов наблюдений, а также сроки и перечень измеряемых загрязняющих веществ определяется исходя из количества проживающего населения, количества источников выбросов загрязняющих веществ и других факторов в каждом конкретном регионе страны [2]. Следует отметить, что принципы организации системы мониторинга в городах закладывались еще в 60-е гг. прошлого столетия, когда эти системы только начинали функционировать. В условиях современной скорости изменения город-

ской застройки, увеличения количества автотранспорта, а также изменения технологических процессов на промышленных предприятиях, система мониторинга атмосферного воздуха должна также подвергаться корректировке (оптимизации) и анализу, что на практике практически не осуществляется [4].

С целью анализа функциональности и объективности существующей системы мониторинга атмосферного воздуха в г. Магнитогорске были сопоставлены данные, полученные с постов наблюдения сети государственного экологического мониторинга (стационарные посты наблюдения) и данных производственного экологического контроля (маршрутные посты наблюдения) в г. Магнитогорске.

Всего в городе Магнитогорске размещены 5 стационарных постов наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха сети государственного экологического мониторинга. Вблизи стационарных постов Росгидромета один из уральских металлургических комбинатов проводит отбор проб атмосферного воздуха на маршрутных постах наблюдения в рамках производственного экологического контроля. Места расположения указанных постов представлены на рис. 1.

При помощи программного комплекса Surfer 10 по данным результатов наблюдений за 2015 г. осредненных за месяц, методом интерполяции Криге (кригинг) были построены карты концентраций для семи загрязняющих веществ (бенз(а)пирен, взвешенные вещества, диоксид серы, диоксид азота, оксид углерода, фенол, формальдегид) в долях ПДК по месяцам трех видов: исключительно по данным о концентрациях с сети государственного экологического мониторинга; исключительно по данным о концентрациях производственного экологического контроля одного из уральских металлургических комбинатов; одновременно по данным о концентрациях с сети государственного экологического мониторинга и производственного экологического контроля одного из уральских металлургических комбинатов. Всего построено и проанализировано по указанным загрязняющим веществам 248 карт концентраций. Пример построенных карт приведен на рис. 2.

При сопоставлении карт, построенных по данным стационарных и маршрутных близкорасположенных постов наблюдений, были выявлены следующие особенности:

- даже при минимальном расстоянии между постами (оно составляет около 400 м для постов № 36 и № 2) результаты наблюдений различаются;

- практически на всех пяти парах постов (стационарных и маршрутных) из-за различия физико-химических методов исследования наблюдаемые градиенты значений концентраций загрязняющих веществ могут достигать 0,25 долей ПДК на 100 м;

- превышения значений ПДК<sub>м.р.</sub> фиксируются и на стационарных и на маршрутных постах, но они смещены по времени, наблюдаются в разные дни; для выяснения причин указанных различий необходимо проведение дополнительных исследований;

- при построении изолиний концентраций, полученных по данным стационарных и маршрутных постов, построенные карты характеризуются большим количеством замкнутых очагов, и интенсивным сгущением изолиний, что подтверждает гипотезу о том, что данные со стационарных и маршрутных постов различаются. Другим возможным источником перечисленных особенностей полученных полей может служить несоот-

ветствие выбранного метода построения изолиний реальному распределению концентраций. Следовательно, полученное пространственное распределение концентраций загрязняющих полей нуждается в дополнительном анализе.

Кроме того, при построении изолиний на основании только одного вида полученной информации (со стационарных или маршрутных постов) в некоторые периоды наблюдаются похожие ситуации – большое количество очагов и интенсивное сгущение изолиний концентраций загрязняющих веществ. При этом практически невозможно определить, какой тип наблюдений является более показательным: на стационарных постах сети государственного экологического мониторинга или на сети производственного экологического контроля. Это несоответствие сказывается на оценке возможных причин относительно высокого уровня загрязнения атмосферы, что, в свою очередь, создает сложности для оптимизации системы мониторинга атмосферного воздуха в г. Магнитогорске. В качестве первого этапа совершенствования наблюдательной сети следует установить причины неоднородности данных, полученных при мониторинге состояния атмосферного воздуха. Необходимо провести оценку единства применяемых методов в рамках производственного и государственного мониторинга с учетом абсолютных погрешностей измерений, выявить недостатки в размещении постов наблюдений для исключения влияния внешних воздействий при выполнении инструментальных замеров.

Следует также скорректировать перечень наблюдаемых загрязняющих веществ с учетом их возможной трансформации, как это было сделано в [4], а также с оценкой мощности источников выбросов, включая автотранспорт. Важными факторами при планировании системы мониторинга атмосферного воздуха являются следующие: оценка возможных погодных условий, включая типы барического поля, преобладающего направления ветра, частоты застойных ситуаций, микроклиматических особенностей районов расположения постов. Целесообразно определить различные функции постам наблюдений, например, часть постов должны давать фоновую информацию и находиться на удалении от мощных источников выбросов, другим постам необходимо измерять экстремально высокие уровни загрязнения в жилых районах города.

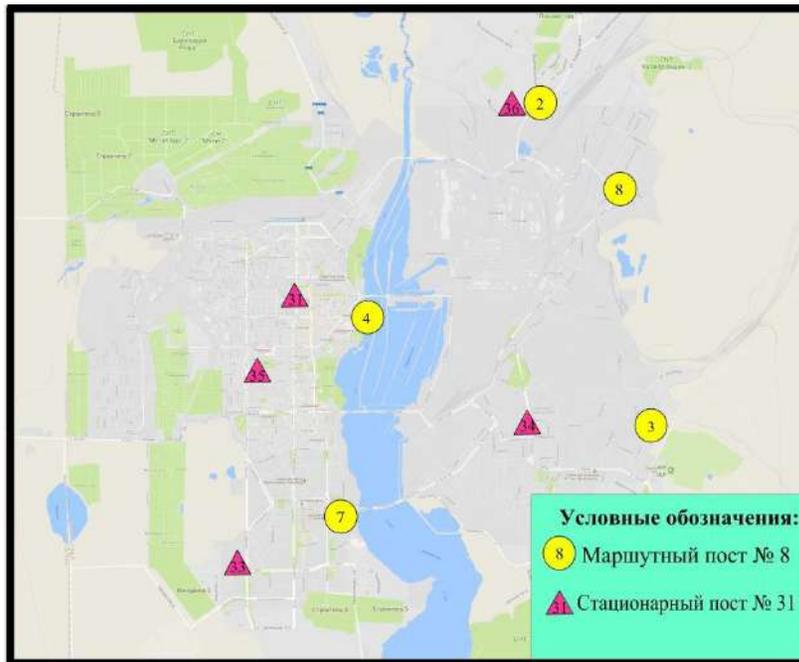


Рис. 1. Расположение стационарных постов мониторинга сети Росгидромет и ближайших маршрутных постов одного из уральских металлургических комбинатов в г. Магнитогорске

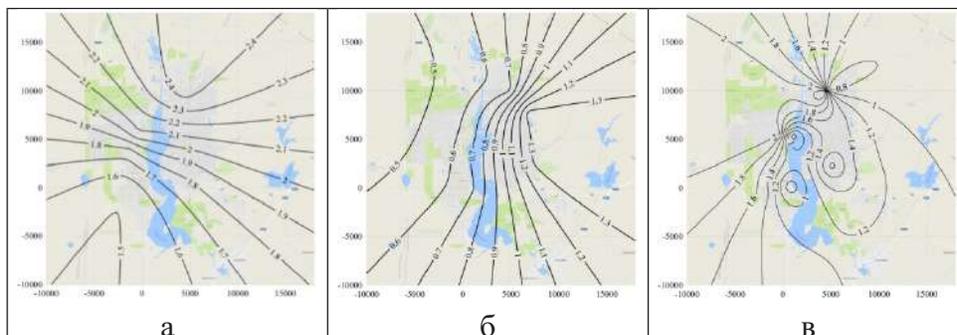


Рис. 2. Карты концентраций взвешенных веществ за июнь 2015 г. по данным сети экологического мониторинга: а – государственного; б – производственного; в – государственного и производственного

По результатам выполненной работы можно сделать вывод о том, что в ходе разработки методов оптимизации системы мониторинга атмосферного воздуха необходимо стремиться к исключению противоречивых данных. Для возможности сопоставления данных, полученных из разных источников, в первую очередь необходимо, чтобы при определении концентраций загрязняющих веществ использовались одни и те же физико-химические методы исследования, так как при

применении различных физико-химических методов исследования результаты мониторинга неизбежно будут различаться. Кроме того, одним из возможных способов достижения однородности всего массива полученных данных является осуществление на изучаемой территории одновременно расчетного и натурального мониторинга с обязательным исследованием причин случаев существенных различий между данными.

### Библиографический список

1. Государственные доклады «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения и защите прав потребителей в Челябинской области» за период 2005–2018 гг. // Управление федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Челябинской области: официальный сайт. [Электронный ресурс] URL: <http://74.rospotrebnadzor.ru/268> (дата обращения 05.04.2019).

2. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: утв.: Госкомгидрометом СССР; Главным государственным санитарным врачом СССР от 01.06.1989. – Режим доступа: справочно-правовая система «Техэксперт».
3. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет): Официальный сайт. [Электронный ресурс] URL: <http://www.meteorf.ru> (дата обращения 12.09.2019).
4. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Оценка качества сети наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в г. Перми и возможности ее совершенствования // Географический вестник №2 (8). Перм. ун-т, 2008. С. 196-205.

УДК 551.50

И.П. Опутина<sup>1</sup>, В.А.Шкляев<sup>1,2</sup>, [oputinaip@ecology.perm.ru](mailto:oputinaip@ecology.perm.ru)

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем» (ФГБУ УралНИИ «Экология»), г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет  
г. Пермь, Россия

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА В МУРМАНСКЕ И ЕГО СВЯЗЬ С ПОГОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ

В статье рассматривается повторяемость различных синоптических ситуаций в г. Мурманске в период отбора проб снега и проб атмосферного воздуха; приводятся результаты сопоставления погодных условий с полученными в результате отбора проб концентрациями взвешенных веществ в снеге и в атмосферном воздухе.

*Ключевые слова:* загрязнение атмосферного воздуха, загрязнение снежного покрова, неблагоприятные метеорологические условия.

I. Oputina<sup>1</sup>, V. Shklyayev<sup>2</sup>, [oputinaip@ecology.perm.ru](mailto:oputinaip@ecology.perm.ru)

<sup>1</sup>Federal state budgetary institution «Ural state research institute of regional environmental problems» (UralNII «Ecologia»), Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm State National Research University, Perm State University, Perm, Russia

## MURMANSK AIR POLLUTION AND ITS COMMUNICATION WITH WEATHER CONDITIONS

The article discusses the repeatability of various synoptic situations in the city of Murmansk during the sampling period of snow and air samples; the results of comparing weather conditions with the concentrations of suspended solids in snow and in the air obtained as a result of sampling are presented.

*Keywords:* air pollution, snow cover pollution, adverse weather conditions

Мурманск – город на северо-западе России, административный центр Мурманской области с населением 292 465 человек (по состоянию на 2019 г.); крупнейший в мире город, расположенный за Северным полярным кругом.

Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха г. Мурманска вносят выбросы автотранспорта. Например, в г. Мурманске в соответствии с официальными данными [2] 70 % от общего количества выбросов составляют выбросы автотранспорта. В соответствии с государственным докладом «О состоянии и об охране

окружающей среды в Мурманской области в 2018 году» основным источником выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Мурманска является ОАО «Мурманская ТЭЦ». Заметный вклад в загрязнение воздуха вносит также ПАО «Мурманский морской торговый порт» (ПАО «ММТП»), осуществляющий перегрузку и хранение угля открытым способом. Таким образом, для жителей г. Мурманска загрязнение воздушного бассейна является актуальной проблемой.

С целью выявления зависимости загрязнения атмосферного воздуха от по-

годных условий были проанализированы результаты загрязнения снега (весна 2018 г.) и атмосферного воздуха (июль 2018 г.) в г. Мурманске с привлечением данных радиозондирования, метеорологических наблюдений за аналогичный период. Кроме этого была проведена систематизация синоптических условий, так как они влияют как на перенос, так и на рассеивание примесей в атмосфере, особенно при на-

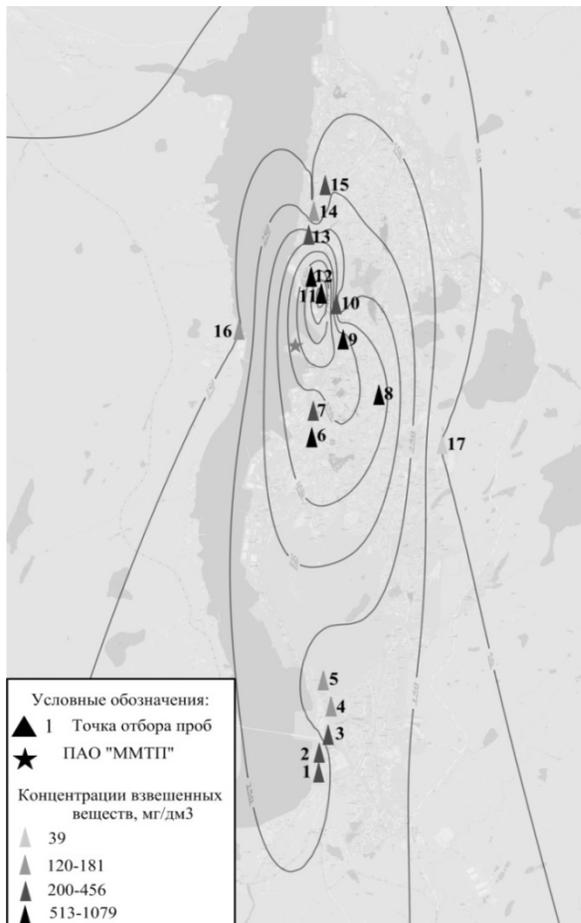


Рис. 1. Изолинии концентрации взвешенных веществ в снеге в г. Мурманске (весна 2018 г.)

Анализ проб снега показал, что изолинии равных концентраций имеют вытянутую вдоль Кольского залива форму с очагом максимума в районе торгового порта (рис. 1). Такое распределение концентраций взвешенных веществ, свидетельствует о влиянии на перенос и рассеивание примесей местных форм рельефа и погодных условий, среди которых особое значение оказывают синоптические ситуации.

При оценке загрязнения снежного покрова было учтено, что полученные результаты концентраций загрязняющих веществ характеризуют суммарный показатель загрязнения за период залегания снежного покрова, а распределение изолиний характеризует среднестатистические

личия инверсий [3, 4]. Результаты отбора проб были представлены в виде карт с изолиниями распределения концентраций взвешенных веществ в снеге (рис. 1) и с нанесенными значениями концентраций взвешенных веществ в атмосферном воздухе (рис. 2), наложенных на карту г. Мурманска при помощи картографического пакета Golden Software Surfer, используя метод интерполяции Криге.

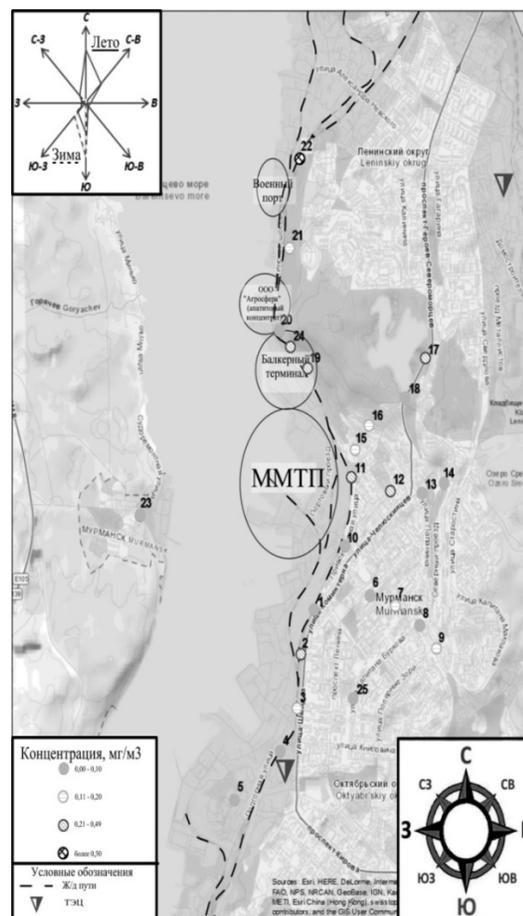


Рис. 2. Концентрации взвешенных веществ в атмосферном воздухе в г. Мурманске (июль 2018 г.)

условия рассеивания за этот же период.

Концентрации взвешенных веществ в атмосферном воздухе, полученные по результатам отбора проб воздуха в июле 2018 г. в Мурманске, характеризуют в свою очередь ситуацию непосредственно в период отбора проб. Точки с максимальной концентрацией взвешенных веществ также отмечены вдоль Кольского залива (точка 22 – концентрация более 0,5 мг/м<sup>3</sup> (1ПДК), точки 2, 11, 12, 17, 19, 24 – концентрация 0,21–0,49 мг/м<sup>3</sup> (0,4–0,9 ПДК).

Характер рассеивания взвешенных частиц в снеге и атмосферном воздухе в целом схож. При этом конфигурация изолиний равных значений концентраций взвешенных веществ свидетельствует о

том, что влияние хозяйствующих субъектов, расположенных вдоль Кольского залива (например, ПАО «ММТП») носит локальный характер. Указанные особенности распределения загрязняющих веществ являются для жителей г. Мурманска преимуществом с точки зрения качества атмосферного воздуха.

С целью оценки синоптических условий, влияющих на перенос и рассеивание взвешенных веществ в г. Мурманске, были систематизированы синоптические ситуации в период залегания снежного покрова с декабря 2017 г. по апрель 2018 г. (рис. 3а) и в июле 2018 года (рис. 3б).

В качестве исходных данных был использован архив ежедневных синоптических карт для территории Кольского полуострова за исследуемые периоды за сроки 00 и 12 ВСВ (в момент выпуска радиозонда). Было установлено, что наиболее частой синоптической ситуацией было «малоградиентное поле» (54 %) (рис. 3а).

При этом согласно результатам исследования [1, 3] при синоптической ситуации «малоградиентное поле» складываются неблагоприятные условия для рассеивания примесей в атмосфере, которые приводят к активному накоплению примесей в атмосферном воздухе. Такой тип барического поля характеризуется слабым ветром или штилем при наличии инверсий, что подтверждается данными радиозондирования (табл. 1). При продолжительном периоде неблагоприятных для рассеивания загрязняющих веществ погодных условий (в нашем случае – преобладание «малоградиентного поля») можно предположить, что источник выбросов взвешенных веществ будет оказывать влияние лишь в локальной области, поскольку при слабом ветре или штиле отсутствуют условия для переноса частиц на значительные расстояния. Это приводит к выпадению частиц загрязняющего вещества в непосредственной близости от источника выбросов.

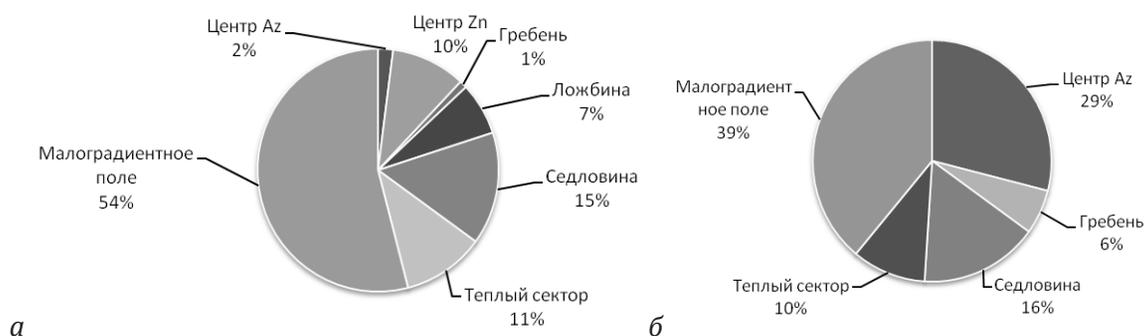


Рис. 3. Распределение синоптических ситуаций: а – в период залегания снежного покрова (декабрь 2017 – апрель 2018 гг.); б – в июле 2018 г.

### Распределение характеристик инверсий в период проведения исследований

Характеристика	Месяц					
	декабрь	январь	февраль	март	апрель	июль
число дней с инверсией, день	20	26	23	-	1	4
число дней с инверсией, ночь	17	21	13	9	11	22
интенсивность, °С	8,8	7,3	7,7	4,9	3,1	4,2
мощность, м	430	510	490	380	350	410

В июле 2018 г. наиболее часто повторяющейся синоптической ситуацией было «малоградиентное поле» (39 %), а также «центр антициклона» (29 %) (рис. 3б).

Указанные синоптические ситуации способствуют накоплению примесей в атмосфере, так как характеризуются застоями воздуха и частыми инверсиями (табл. 1).

Анализ распределения количества инверсий в течение суток свидетельствует также, что в зимний период в условиях полярной ночи при отсутствии дневного прогрева инверсии сохраняются в течение всего дня. Однако, при усилении интенсивности поступающей солнечной радиации, увеличении продолжительности светлого времени, число дней с дневными инверсиями значительно уменьшается.

Таким образом, при анализе погодных условий в г. Мурманске можно сделать выводы, что в периоды отбора проб весной и летом 2018 г. создавались условия, неблагоприятные для рассеивания не только взвешенных, но и газообразных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Можно предположить, что точки максимальных концентраций взвешенных веществ располагаются в непосредственной близости от источников выбросов. Схожесть синоптической ситуации в разные периоды года обусловила в свою очередь относительную схожесть распределения концентраций взвешенных веществ на территории г. Мурманска (рис. 1, 2).

В соответствии с конфигурацией изолиний (рис. 1) на рассеивание примесей в приземном слое атмосферы также оказывает влияние рельеф местности. Кольский залив в районе г. Мурманска представляет собой ориентированную с севера на юг достаточно узкую долину с высокими, до 200-300 м, берегами. Это будет приводить к изменению преобладающего направления ветра, который будет ориентирован в основном вдоль залива. На высоте 300 м и более распределение направлений ветра будет приобретать более естественный характер (табл. 2).

В наибольшей степени проявление такого ветрового режима будет сказываться для источников выбросов, расположенных в непосредственной близости к Кольскому заливу, (торговый порт). При этом даже в условиях преимущественного неблагоприятных метеорологических условий влияние на загрязнение атмосферного воздуха хозяйствующих субъектов, расположенных вдоль Кольского залива, будет проявляться в основном лишь в северном направлении.

Таблица 2. Распределение повторяемости ветра по направлениям на различных высотах, %

Уровень	Направление ветра, румбы							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
земля	8,7	3,4	1,9	2,8	56,3	15,5	5,1	6,2
300 м	9,1	4,3	3,3	5,8	20,0	27,9	15,5	14,0
600 м	11,0	6,2	3,3	4,8	10,1	31,8	16,3	16,5

Поскольку загрязнение атмосферного воздуха напрямую зависит от погодных условий, для поддержания удовлетворительного качества атмосферного воздуха, целесообразно организовывать работу предприятий, имеющих источники выбро-

сов, исходя из прогнозируемых погодных условий. Наиболее эффективным способом регулирования качества атмосферного воздуха будет являться модернизация производств и применения самых современных и экологических технологий.

### Библиографический список

1. Безуглая Э.Ю., Сонькин Л.Р. Влияние метеорологических условий на загрязнение воздуха в городах Советского Союза. / В сб. «Метеорологические аспекты загрязнения атмосферы» Л.: Гидрометеиздат, 1971. С. 241-252.
2. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2018 году // Правительство Мурманской области: сайт. URL: <https://gov-murmansk.ru/region/environmentstate/> (дата обращения 20.01.2020).
3. Сонькин Л.Р., Николаев В.Д. Синоптический анализ и прогноз загрязнения атмосферы // Метеорология и гидрология, 1993. №5. С. 19-20.
4. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Исследование инверсий нижней атмосферы по результатам наблюдений температурного профилимера и радиозондирования // Географический вестник. Перм. ун-т, 2014. № 4 (31). С. 62-66.

УДК 551.583.1

Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, Б.Г. Шерстюков, В.В. Гурьянов,  
Т.Р. Аухадеев, [ypereved@kpfu.ru](mailto:ypereved@kpfu.ru)  
Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

## СОВРЕМЕННЫЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА АНТРОПОГЕННОГО И ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В статье рассматриваются современные изменения климата в Северном полушарии и в Приволжском федеральном округе. Дана оценка тенденции потепления в последние десятилетия и роли циркуляции атмосферы в изменении регионального климата.

*Ключевые слова:* изменения климата, адаптация, потепление, температура воздуха, циркуляция атмосферы.

Yu.P. Perevedentsev, K.M. Shantalinsky, B.G. Sherstyukov, V.V. Guryanov,  
T.R. Aukhadееv, [ypereved@kpfu.ru](mailto:ypereved@kpfu.ru)  
Kazan Federal University, Kazan, Russia

## MODERN GLOBAL AND REGIONAL CHANGES IN THE CLIMATE OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL ORIGIN

The article discusses modern climate changes in the Northern Hemisphere and in the Volga Federal District. An assessment of the trend of warming in recent decades and the role of circulation in changing regional climate is given.

*Keywords:* climate change, adaptation, warming, air temperature, atmospheric circulation.

Современные климатические изменения становятся объектом пристального внимания не только со стороны научной общественности различных стран, но и представителей правительств, бизнес-обществ, средств массовой информации и др. Свидетельством этого является подписание Президентом России в 2009 г. Климатической доктрины, определяющей основные направления развития нормативно-правовых, экономических и иных инструментов для защиты общества и государства от неблагоприятных климатических воздействий [4]. В настоящее время ведется подготовка шестого оценочного доклада МГЭИК с целью оценки современного состояния исследований в области климата, разработки способов адаптации и смягчения негативных последствий климатических изменений на природу и социум. Подписанные в декабре 2015 г. Парижские соглашения (ратифицированные в сентябре 2019 г. в России) направлены на ограничение выбросов парниковых газов в атмосферу, чтобы избежать повышения средней глобальной температуры воздуха на 2°C по сравнению с доиндустриальным уровнем, поскольку климатические изменения стимулируют все более частое возникновение экстремальных природ-

ных явлений, наносящих значительный ущерб экономике и здоровью населения. Обсуждение этих проблем продолжено на Климатическом форуме в декабре 2018 г. в Катовицах (Польша), где обсуждалась возможность ограничения глобального потепления уровнем 1,5°C, так как реакция физических и биологических систем будет более умеренная при потеплении на 1,5°C по сравнению с потеплением на 2°C. Однако для решения проблемы смягчения изменения климата потребуются срочное (до 2030 г.) сокращение почти в половину глобальной нетто-эмиссии CO<sub>2</sub> и доведение её к середине XXI века до нуля, что потребует ежегодных инвестиций сравнимых с 1 % мирового ВВП [2]. Отметим, что в настоящее время произошло повышение приповерхностной глобальной температуры почти на 1°C, а концентрация CO<sub>2</sub> превысила 400 млн<sup>-1</sup>. Следует также отметить, что, начиная с 2015 г. (за исключением 2016 г.), каждый последующий год был теплее предыдущего, а год 2019 на планете был самым жарким за всю историю метеорологических наблюдений. При этом в России среднегодовая приземная температура растет быстрее среднеглобальной со скоростью 0,47°C / 10 лет, а в Арктике, в условиях так называемого арктическо-

го ускорения, температура воздуха повышается в 3 раза быстрее, чем на планете в целом. Происходят изменения и в других геосферах. Как отмечено в [1], климат – очень сложное природное явление, он формируется в результате влияния разнообразных природных систем (атмосферы, гидросферы, литосферы, криосферы, биосферы) и целого комплекса космических и геофизических факторов. Вопросам взаимодействия между климатообразующими факторами и методам их изучения, включая модельные, посвящена обширная научная литература. Так, в работе [3] выполнено исследование физических закономерностей современных глобальных и локальных колебаний климата с учетом многолетних изменений угловой скорости вращения Земли. В работах [5,6] рассмотрены современные климатические изменения приземных полей атмосферного давления и температуры воздуха в Северном полушарии и в отдельном регионе (на примере Татарстана).

В настоящей статье на фоне происходящих современных глобальных изменений климата рассматриваются его региональные проявления на территории Приволжского федерального округа (ПФО).

В качестве исходных данных использовались данные о приземной температуре воздуха (ТВ) по всему земному шару (1850-2018 гг.) университета Восточной Англии [7,9], а также реанализов NCEP / NCAR (1948-2018 гг.), ERA-Interim (1979-2018 гг.), ERA5 (1979-2018 гг.) [8], а также данные 183 метеорологических станций из фонда ВНИИГМИ-МЦД и результатов многолетних метеорологических наблюдений в Метеорологической обсерватории

Казанского университета (1828-2018 гг.) и ряда других (12) длиннорядных станций (1875-2018 гг.).

Многолетние ряды исходных данных подвергались статистической обработке. Достоверность результатов оценивалась с помощью критерия Фишера.

Рассмотрим изменения климата в Северном полушарии (СП) и в Казани в XIX-XXI вв. (рис. 1). Вековой ход средней годовой температуры воздуха (СГТВ), осредненной по территории всего СП, в целом испытывает тенденцию к росту, особенно ярко выраженную с 1970-х гг. Выделяются квазишестидесятилетние колебания естественного происхождения. В наиболее активную фазу потепления (1970-2018 гг.) величина СГТВ увеличилась почти на  $0,8^{\circ}\text{C}$ . В Казани СГТВ, начиная с 1900 г., возросла примерно на  $2,5^{\circ}\text{C}$ , а в период с 1828 по 2018 гг. она повысилась примерно на  $4^{\circ}\text{C}$ , при этом вклад глобальных процессов в изменчивость температуры зимой составил 37, а летом – 23 %.

В южном полушарии также наблюдается потепление климата, но ввиду его существенного отличия по физическим характеристикам от СП (океаническое, наличие холодной Антарктиды) этот процесс идет менее интенсивно (СГТВ с 1960-х гг. по 2018 г. увеличилась на  $0,6^{\circ}\text{C}$ ). Следует отметить, что в СП Атлантическая мультидекадная осцилляция в последние десятилетия находится в положительной фазе, что усиливает антропогенное потепление. Солнечная активность, наоборот, с 1950-х гг. ослабевает и не может оказывать заметного влияния на современное глобальное потепление.

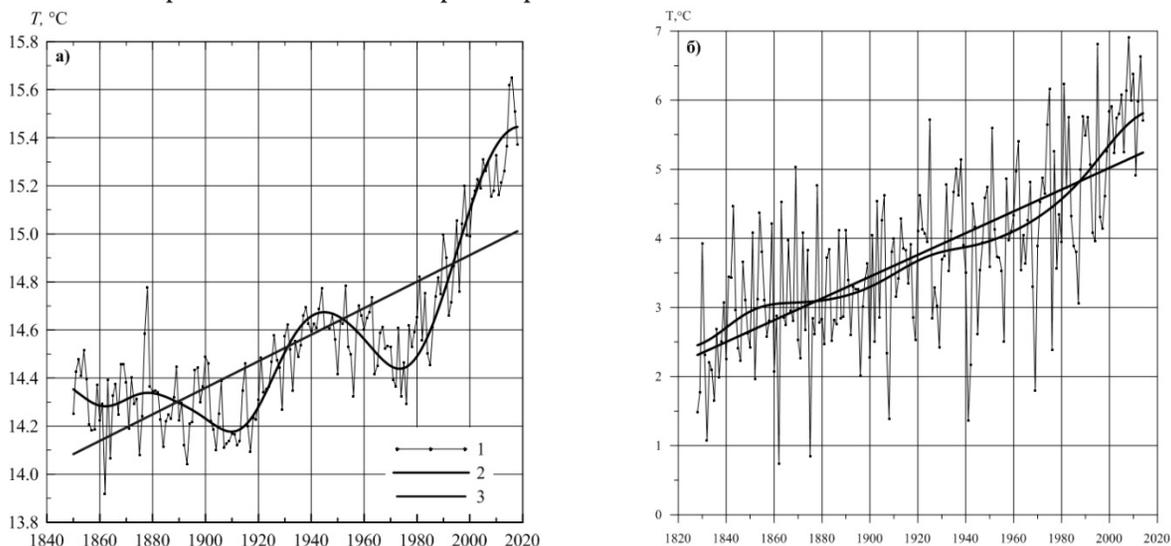


Рис. 1. Многолетний ход (1850-2018 гг.) средней годовой температуры воздуха Северного полушария (слева) и Казани (справа)

Учет выявленных асинхронных связей между ТВ Казани и температурой поверхности океана в районе пролива Дрейка позволил получить оценки изменения СГТВ в Казани до 2050 г.

С использованием данных 183 метеостанций за 1966-2018 гг. по территории ПФО также выявлена общая тенденция роста ТВ, ослабление межсуточной изменчивости ВТ в последние десятилетия, возрастание сумм положительных и уменьшение сумм отрицательных температур, изменение дат перехода ТВ через 0, 5 и 10°C весной и осенью, незначительное увеличение годовых сумм осадков и др. Все это свидетельствует о заметных климатических изменениях в Среднем Поволжье и Зауралье. Так, среднемесячная ТВ осредненная по территории ПФО в период 1966-2018 гг. повышалась в январе с наибольшей скоростью 0,81°C / 10 лет, а в июле со скоростью 0,31°C / 10 лет (коэффициент наклона линейного тренда для среднегодовой ТВ составил 0,38°C / 10 лет). Линейный тренд

атмосферных осадков для годовой суммы составил 9,6 мм / 10 лет, наибольший рост сумм осадков отмечен в марте (2,7 мм / 10 лет), а в июле же, наоборот, количество осадков убывает со скоростью -1,3 мм / 10 лет.

Расчет коэффициентов корреляции ( $r$ ) между среднемесячными значениями ТВ и индексами циркуляции NAO, AO, SCAND в период 1954-2018 гг. показал, что наиболее тесная положительна связь между термическим режимом ПФО и атмосферной циркуляцией (NAO, AO) формируется в зимний период ( $r = 0,43-0,47$ ). В этот же период связь с индексом SCAND отрицательная ( $r = -0,63$  в феврале). В летний период связи статистически незначимы (табл. ).

Таким образом, выявляется зависимость динамики климатических изменений в ПФО как от глобальных процессов, так и от колебаний атмосферной циркуляции, привязанной к географическим районам (NAO, AO, SCAND).

*Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (проект 18-05-00721 и 18-45-160006).*

### Библиографический список

1. Бабин В.В., Дарьин А.В., Калугин И.А., Смольянинова Л.Г. Использование периодических природных процессов для прогноза климата внетропических широт Северного полушария на ближайшие 500 лет // Метеорология и гидрология, 2016. № 9. С. 5-14.
2. Гладильщикова А.А., Дмитриева Т.М., Семенов С.М. Специальный доклад МГЭИК «Глобальное потепление на 1,5°C» // Фундаментальная и прикладная метеорология, 2019. Вып. 4. С. 5-18.
3. Дзюба А.В., Панин Г.Н. О современной тенденции изменения климата и ее влияния на локальные изменения водных ресурсов // Водные ресурсы, 1995. Т. 22. № 1. С. 14-22.
4. Катцов В.М., Школьник И.М., Ефимов С.В. Перспективные оценки изменений климата в российских регионах: детализация в физическом и вероятностном пространстве // Метеорологи и гидрология, 2017. № 7. С. 68-80.
5. Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В. Климатические изменения приземных полей атмосферного давления и температуры воздуха в умеренных широтах Северного полушария // Метеорология и гидрология, 2017, № 7. С. 81-93.
6. Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Шерстюков Б.Г. и др. Современные изменения климата Республики Татарстан // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия: География. Геоэкология, 2008. № 2. С. 13-23.
7. Brohan P. et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850. J. Geophys. Res., 2006. Vol. 111. P. 1-35.
8. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. et al, The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. – Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 2011. Vol. 137. P. 552-597.
9. Jones P.D. et al. Surface air temperature and its variations over the last 150 years. – Rev. Geophys., 1999. Vol. 37. P. 173-199.

Е.В. Пищальникова<sup>1,2</sup>, Н.А. Калинин<sup>2</sup>, Е.М. Свиязов<sup>2</sup>, meteo@psu.ru

<sup>1</sup>Пермский ЦГМС – филиал ФГБУ «Уральское УГМС», г. Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

## ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫЕ ОСАДКИ В ПЕРМСКОМ КРАЕ

Статья посвящена особому виду атмосферных осадков, которые при выпадении и соприкосновении с открытой поверхностью образуют гололед. Он, в свою очередь, негативно влияет на работоспособность отдельных отраслей экономики и промышленности. Рассматриваются метеорологические и синоптические условия, а также термическое состояние нижней тропосферы при выпадении переохлажденных осадков в Пермском крае.

*Ключевые слова:* атмосферные осадки, гололед, профилемер, Пермский край.

E.V. Pishchalnikova<sup>1,2</sup>, N.A. Kalinin<sup>2</sup>, E.M. Sviyazov<sup>2</sup>, meteo@psu.ru

<sup>1</sup>Perm TsGMS - a branch of the FSBI "Ural UGMS", Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm State University, Perm, Russia

## FREEZING PRECIPITATION IN THE PERM REGION

This article is devoted to a special type of precipitation, when they fall out and come into contact with an open surface, ice is formed. It, in turn, negatively affects the performance of individual sectors of the economy and industry. Meteorological and synoptic conditions are considered, as well as the thermal state of the lower troposphere when freezing precipitation in the Perm region.

*Keywords:* precipitation, ice, profiler, the Perm region.

Переохлажденные осадки – это дождь или морось из переохлажденных капель, выпадающий при отрицательной температуре окружающей среды. Ударяясь об открытые поверхности, капли замерзают и образуют гололед [1, 3]. Поэтому исследование такого вида атмосферных осадков весьма актуально. В синоптической сводке (КН-01 [2]) этот вид осадков обозначается цифрами кода 66-67 (56-57) и расшифровывается как дождь (морось) замерзающий слабый или умеренный, образующий гололед.

Материалом для исследования послужили данные за гололедными отложениями на стационарной метеорологической сети наблюдений (51 метеорологическая станция), расположенной на территории ответственности ФГБУ «Уральское УГМС» за 2017-2019 гг., когда отмечалось 120 случаев с гололедом в период с октября по май. За случай приняты сутки, когда на одной или нескольких метеорологических станциях отмечался гололед. В целом наибольшая повторяемость гололедных явлений наблюдается на территории Пермского края. Максимум частоты случаев с гололедом фиксируется в ноябре, минимум – в мае (табл. 1).

Кроме сезонных закономерностей повторяемости гололедных отложений, существует суточная зависимость. Так,

время начала образования гололеда в большинстве случаев (75 %) приходится на ночные и утренние часы, при этом с 5 до 10 ч местного времени наблюдается около 45 % случаев.

Синоптические условия формирования гололеда на Урале связаны в основном с прохождением теплых атмосферных фронтов, редко имеет внутримассовый характер. При этом отложения льда на проводах наблюдаются в среднем на 3 метеостанциях одновременно. Внутригодовое распределение охвата территории рассматриваемым явлением имеет следующие особенности (рис. 1): максимальный охват гололедом отмечается в декабре и наблюдается на 5 метеостанциях одновременно, минимальный охват – в феврале и мае (на 1 метеостанции). Абсолютный максимум по охвату территории гололедом – на 17 метеостанциях одновременно – зафиксирован 22 декабря 2017 г.

Исследование выпадения переохлажденных осадков в Пермском крае показало, что формирование гололеда чаще наблюдается при дожде, чем при мороси (63 и 37 % соответственно). Однако переохлажденные осадки чаще наблюдаются в виде мороси (59 %), как представлено на рис. 2.

Таблица 1. Повторяемость (%) гололеда на территории ответственности ФГБУ «Уральское УГМС»

Территория	Месяц							
	10	11	12	01	02	03	04	05
Пермский край	12	37	15	5	2	2	3	1
Свердловская область	7	10	3	1	1	2	4	2
Курганская область	4	3	3	1	1	2	4	1
Челябинская область	6	8	4	1	1	2	3	1
Средний и Южный Урал	19	40	18	5	3	4	10	2

Благоприятные синоптические условия для формирования переохлажденных осадков создаются в барической ложбине, гребне и передней части циклона с повторяемостью 20, 20 и 18 % соответственно. Передняя часть циклона и ложбина характеризуется наличием теплого фронта, который в свою очередь обуславливает наличие теплого слоя на высоте, что создает благоприятные условия для формирования переохлажденного дождя и мороси.

Особого внимания требуют случаи формирования переохлажденных осадков под влиянием барического гребня. Здесь, по-видимому, за счёт нисходящих движений воздуха образуется приземная температурная инверсия, и в совокупности с выхолаживанием подстилающей поверхности наступают благоприятные условия для выпадения переохлажденных осадков из слоистых подынверсионных облаков или туманов.

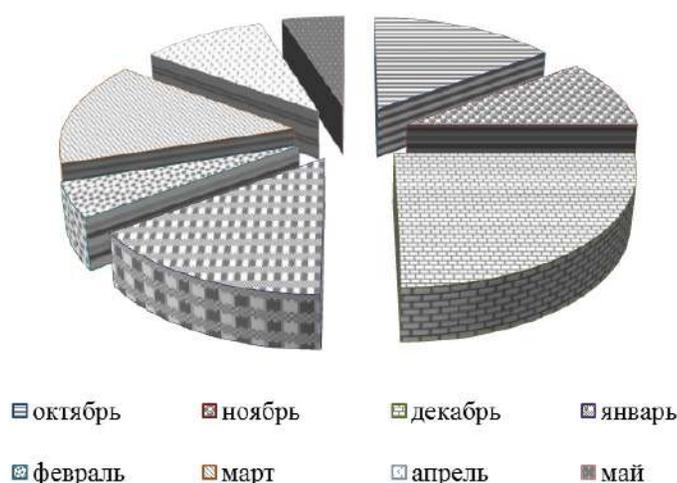


Рис. 1. Охват территории (число метеостанций) отложением гололеда по месяцам



Рис. 2. Распределение переохлажденных осадков по виду и повторяемости образования гололеда

Для установления зависимости выпадения переохлажденных осадков от термических условий тропосферы были использованы данные профилера МТР-5, расположенного на территории ПГНИУ. Анализ температурной стратификации атмосферы при выпадении переохлажденных осадков выявил, что согласно классическому механизму образования [1, 4] их выпало 30 % от общего числа случаев. Остальные 70 % случаев сформировались согласно механизму переохлажденного теплого дождя [5]. Важным отличием в механизмах образования, как видно из рис. 3, является наличие слоя с положительной температурой воздуха. При классическом механизме образования переохлажденных осадков высота нулевой изотермы со-

ставляет около 700 м. Максимальная температура теплого слоя равняется 0,8°C, а 14 декабря 2010 г. в Пермском крае она составила 6°C [1]. При механизме «переохлажденного теплого дождя» теплый слой отсутствует и температура всей толщи нижней тропосферы отрицательна. Переохлажденные осадки могут формироваться в результате столкновения и слияния облачных капель.

Таким образом, процесс «переохлажденного теплого дождя» был доминирующим при образования переохлажденных осадков в Пермском крае, причем в 78 % случаев выпадала морось, тогда как при классическом механизме образования переохлажденных осадков в 60 % выпадал дождь.

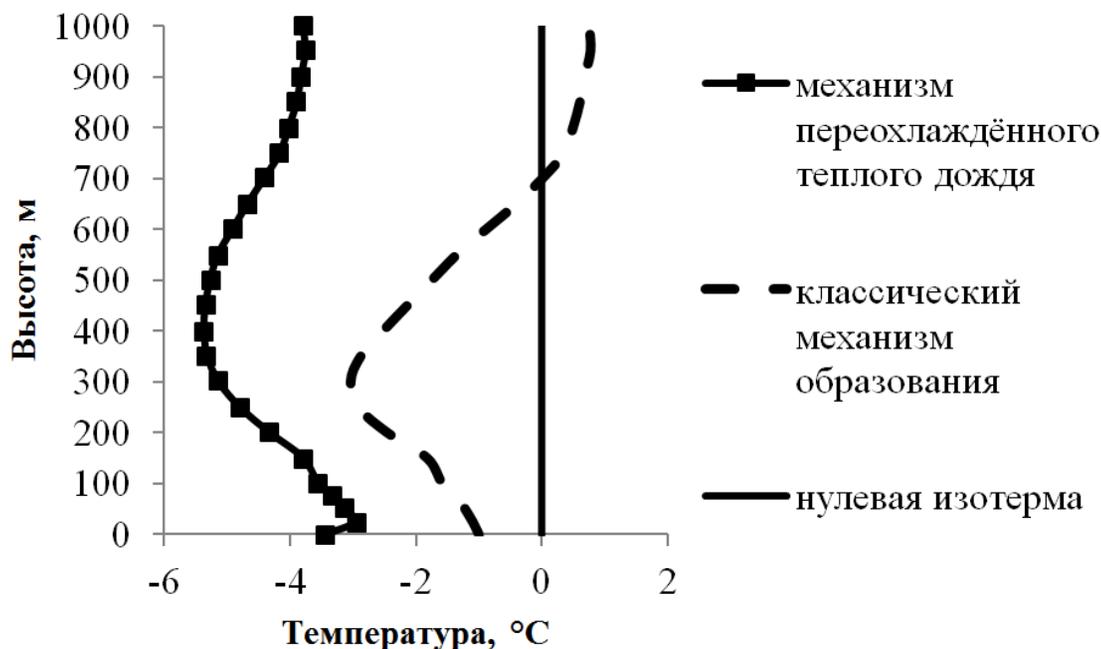


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры воздуха при переохлажденных осадках.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-45-590021 p\_a).

### Библиографический список

1. Калинин Н.А., Смородин Б.Л. Редкое явление замерзающего дождя в Пермском крае. Метеорология и гидрология, 2012. № 8. С. 27-35.
2. Код для оперативной передачи данных приземных метеорологических наблюдений с сети станций Росгидромета (КН-01 SYNOP). Издание 2012. 78 с.
3. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 569 с.
4. Bennetts W.J. The sleet storm in Northern New York, March 25–27 // Mon. Weather. Rev., 1913. Vol. 41. P. 372-373.
5. Bochieri J.R. The objective use of upper level soundings to specify precipitation type // Mon. Weather Rev., 1980. Vol. 108. P. 596-603.

## **ПРИВЛЕЧЕНИЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЕРМСКОГО КРАЯ**

В статье произведена оценка качества данных реанализа CFS и ERA Interim. Выявлены синоптические ситуации, при которых наблюдаются наибольшие погрешности в приземной температуре воздуха. Установлено, что связь ошибок с облачным покровом, а также расстояниями между узлами сеток и метеостанциями пренебрежимо мала.

*Ключевые слова:* реанализ, CFS, ERA Interim, термический режим

D. Polin, polin@meteo59.ru  
*Perm State University, Perm, Russia*

## **USING REANALYSIS DATA TO ASSESS THE THERMAL REGIME OF THE PERM REGION**

The article assessed the quality of the CFS and ERA Interim reanalysis data. Synoptic situations with the greatest errors in the surface air temperature were revealed. It is established that the relationship between errors and cloud cover, as well as between errors and the distance of nodes is negligible.

*Keywords:* reanalysis, CFS, ERA Interim, thermal regime

Климатические изменения, наблюдаемые в последние десятилетия, привлекли к себе большое внимание учёных. Причиной тому послужила неутешительная статистика, связанная с ростом наблюдаемых опасных явлений [2]. Несмотря на «приостановку» глобального потепления, отмеченную в докладе [2], в России продолжается рост приземной температуры воздуха со средней скоростью 0,45°C / 10 лет [1]. Указанная величина в 2,5 раза больше, чем средняя на планете.

В настоящее время нет определённости в прогнозах роста глобальной приземной температуры воздуха: существует несколько сценариев, но какой из них станет наиболее реалистичным – покажет только время. В мезомасштабном плане неопределённость ещё больше, поскольку начинают играть роль особенности рельефа (горные системы, долины рек и др.), которые вносят существенные изменения в пространственное распределение метеовеличин. Следовательно, чтобы составить прогноз для ограниченной территории, необходимо иметь максимально полное представление об изменениях метеорологических величин как минимум за последние десятилетия.

Сегодня существует проблема, связанная со свободным доступом к архивным данным фактически наблюдаемых метеорологических величин. Однако есть аль-

тернативный источник метеорологической информации – реанализ. Существует несколько центров, которые выпускают такую продукцию. К таковым относятся NCEP и ECMWF. Оба центра предоставляют свободный доступ.

Реанализ представляет собой сеточные метеорологические поля, в узлах которых находятся значения метеовеличин. Получается сеточная информация путём интерполяции данных, фактически наблюдаемых на метеорологических станциях. Однако стоит отметить, что в процессе интерполяции неизбежны ошибки, особенно на территории с неоднородной подстилающей поверхностью, поскольку в таком случае ярче проявляются местные особенности климата (микrokлимат). Например, при оценке характеристик отопительного периода рекомендуется использовать климатические нормативы по ограниченному числу метеостанций, которых бывает недостаточно для проведения качественного районирования территории по этим показателям [3]. Следовательно, чтобы дать климатическое описание территории на основании данных реанализа, необходимо сначала оценить их качество, что является целью данной работы.

Исследования в этом направлении проводились [4, 6]. Согласно [4], средние годовые абсолютные ошибки приземной

температуры воздуха могут превышать 1,0°C. В отдельных случаях ошибка достигает 3,0°C. В то же время отмечается, что качество реанализа постепенно повышается. Заметные положительные улучшения отмечены в ERA Interim [6].

В настоящей работе в качестве исходного материала использованы срочные данные 22 метеорологических станций Пермского края, а также реанализ центров NCEP и ECMWF (CFS и ERA Interim). Данные указанных реанализов доступны с 1 января 1979 г. CFS имеет горизонтальное пространственное разрешение 0,5° [5], минимальный шаг сетки ERA Interim составляет 0,75° [7].

В работе учитывались срочные данные метеостанций за 0, 6, 12 и 18 ч всемирного скоординированного времени (UTC), поскольку данные реанализа имеют временной шаг, равный 6 часам, и доступны лишь для указанных сроков.

Исследуемый период: сентябрь 2009 г – август 2010 г. Временной промежуток обоснован следующими соображениями:

- аномально холодная зима сезона 2009-2010 гг. с выраженной антициклональной циркуляцией и наличием экстремально низких значений температуры воздуха;

- аномально жаркое лето 2010 г. с ярко выраженной антициклонической цирку-

ляцией и наличием экстремально высоких значений температуры воздуха.

В течение исследуемого периода на территории Пермского края обновлено не менее 417 рекордов максимальной температуры воздуха (226 из которых пришлось на календарное лето) и 154 рекорда минимальной температуры воздуха (115 из которых зимой). Статистика получена на основе 20 метеостанций (из 25 действующих). Учитывая изложенные выше особенности выбранного периода, можно отметить, что реанализ подвергся настоящей проверке на прочность.

Оценка качества CFS и ERA Interim заключалась в нахождении разниц между данными реанализа и срочными показаниями, иначе говоря, в определении величин ошибок.

В процессе анализа привлекались срочные данные количества облачности (нижней и общей), а также синоптические бюллетени 2009-2010 гг.

Результаты анализа показали, что средняя абсолютная ошибка годовой температуры воздуха на территории края в целом по реанализу CFS составляет 0,5°C, при этом ERA Interim справилась намного лучше, несмотря на больший шаг сетки (погрешность менее 0,1°C). В синоптическом плане распределение ошибок указано в табл. 1.

Таблица 1. Средние годовые ошибки реанализов в зависимости от синоптической ситуации (°C)

Вид реанализа	А	СПА	ВПА	ЮПА	ЗПА	Г	Ц	ПЧЦ	ТСЦ	ТЦ	Л	МП
CFS	-0,4	-0,5	0,5	0,2	-0,8	-0,2	-0,6	-0,8	-1,3	-0,1	-0,4	-0,5
Interim	0,2	0,1	0,1	-0,2	0,0	0,0	0,1	-0,3	-0,1	0,1	0,2	0,0

В табл. 1 используются следующие обозначения: А – центр антициклона, СПА – северная периферия антициклона, ВПА – восточная, ЮПА – южная, ЗПА – западная, Г – гребень, Ц – центр циклона, ПЧЦ – передняя часть циклона, ТСЦ – тёплый сектор, ТЦ – тыловая часть, Л – ложбина, МП – малоградиентное поле.

Из табл. 1 видно, что наибольшая величина ошибки CFS приходится на тёплый сектор циклона: реанализ существенно занижает приземную температуру воздуха. ERA Interim имеет наибольшую погрешность в передней части циклона

(-0,3°C), при этом в сравнении с CFS работает намного лучше. Данное утверждение касается и остальных барических полей, за исключением ЮПА.

При более детальном временном рассмотрении картина существенно меняется.

В зимние месяцы реанализ CFS сильно завышает температуру воздуха на восточной периферии антициклона (ВПА). В декабре средняя ошибка по Пермскому краю составила +5,8°C, январе – плюс 4,4°C. В феврале ВПА не было (табл. 2).

Кроме того, большие положительные

отклонения от фактических значений зафиксированы в ситуациях А (декабрь +2,3°C, январь +1,9°C, февраль +1,5°C), ЮПА (декабрь +2,4°C, январь +1,7°C) и ЗПА (январь +3,3°C). Средняя ошибка CFS в антициклоне составила +1,9°C в декабре, +2,7°C в январе и +1,2°C в феврале. Зимой CFS занижает температуру чаще всего в ситуациях Ц, ПЧЦ и ТСЦ.

Реанализ ERA Interim зимой показал лучшие результаты (табл. 3). В целом наибольшие ошибки наблюдались на восточной периферии антициклонов (январь +1,0°C) и в их центрах (декабрь +0,6°C, январь +0,8°C, февраль +0,5°C). В сравнении с CFS, Interim в антициклоне справляется намного точнее (декабрь 0,0°C, январь +0,5°C, февраль +0,5°C).

Таблица 2. Средние месячные ошибки реанализа CFS (оС)

	А	СПА	ВПА	ЮПА	ЗПА	Г	Ц	ПЧЦ	ТСЦ	ТЦ	Л	МП
IX	-0,9	-0,8	-0,5		-0,8			-1,1	-1,4	-1,1	-0,8	-0,7
X	-0,4	-1,5	-0,4		-0,4	-0,7	-0,1	-0,6	-1,0	0,4	-0,3	-1,3
XI	-0,2		-0,7		0,3	-0,7	-1,2	-1,2	0,4	0,8	-0,7	1,3
XII	2,3	0,0	5,8	2,4	-0,9	1,7	-0,9	-0,8	-0,5	1,7	0,6	
I	1,9	2,1	4,4	1,7	3,3	0,4		-0,1	-0,6	0,6		0,4
II	1,5	0,8			0,6	1,1	0,7			1,6	1,7	0,5
III		0,6	0,3		-2,3	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,1	0,3	-0,2
IV	-3,8				-2,3	-2,2			-5,5	-1,7	-1,8	-2,2
V	-2,0	-2,6	-2,3	-1,1	-3,7	-1,4	-0,4		-1,8	-1,5	-1,0	-1,8
VI	-0,9	-1,1	-0,6		-0,8	-1,3			-0,9	-0,6	-0,2	-1,3
VII	-1,1	-1,7	-0,2	-1,9	-1,2					-0,4		0,1
VIII	-1,0	-0,9	-0,8	-0,2	-0,7	1,3	-1,3		-1,0	-0,5	-1,7	0,3

Весной знак ошибки реанализа CFS меняется на отрицательный, при этом абсолютные значения погрешностей возрастают. В большинстве случаев в тёплое время года (с мая по сентябрь) реанализ занижает приземную температуру воздуха. Средние месячные ошибки в отдельных случаях превышают два градуса (май – ЗПА -3,7°C и др.).

Реанализ ERA Interim в тёплое время года, как и зимой, значительно точнее. Максимальная ошибка составила +0,6°C в мае в центре антициклона (табл. 3). В большинстве случаев абсолютная ошибка средней месячной температуры воздуха не превышает 0,1°C (94 случая из 144, 65,3 %).

Таблица 3. Средние месячные ошибки реанализа ERA Interim (оС)

	А	СПА	ВПА	ЮПА	ЗПА	Г	Ц	ПЧЦ	ТСЦ	ТЦ	Л	МП
IX	0,0	-0,1	0,0		-0,1			-0,2	0,0	-0,1	-0,2	0,0
X	0,2	0,0	-0,3		0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1
XI	0,2		-0,3		-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	0,2	0,0	-0,1
XII	0,6	0,1	-0,1	-0,6	-0,2	0,0	1,6	-1,1	-0,1	0,6	1,3	
I	0,8	0,5	1,0	-0,2	0,2	-0,4		-0,5	-0,2	0,1		-0,8
II	0,5	0,4			-0,1	0,3	-0,2			0,0	0,3	0,2
III		0,1	-0,2		-0,1	0,0	-0,3	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0

	А	СПА	ВПА	ЮПА	ЗПА	Г	Ц	ПЧЦ	ТСЦ	ТЦ	Л	МП
IV	-0,3				0,0	0,1			-0,3	0,0	0,1	-0,2
V	0,6	0,0	0,2	-0,1	-0,1	0,1	0,3		-0,4	-0,1	0,4	0,2
VI	0,0	0,2	0,1		0,0	0,1			-0,1	-0,1	0,1	-0,4
VII	0,1	-0,1	0,3	-0,1	0,0					0,1		0,1
VIII	0,0	-0,2	0,1	0,2	0,0	0,1	-0,3		0,0	0,1	-0,2	0,4

Таким образом, в плане точности CFS значительно уступает реанализу ERA Interim. Исходя из табл. 2 и 3 можно сказать, что CFS больше подвержена влиянию синоптической ситуации. Существенное завышение приземной температуры воздуха в антициклонах зимой и занижение температуры в антициклонах летом указывает на то, что происходит недоучёт радиационного фактора. В циклонах (кроме их тыловых частей) CFS часто занижает температуру воздуха. В тёплых секторах эта особенность проявляется круглый год. В реанализе ERA Interim выраженная зависимость от синоптической ситуации не прослеживается. Данные табл. 3 показывают, что завышения и занижения при одних и тех же синоптических ситуациях происходят в течение всего года.

Стоит отметить, что величина ошибки не зависит от шага сетки, что наглядно показали данные ERA Interim. Средняя удалённость узлов сетки от метеостанций у реанализа CFS составила 15,2 км, в то время как у ERA Interim – 20,0 км. Коэффициент корреляции между расстояниями и абсолютными ошибками не превышает 0,2. Причина более точного воспроизведе-

ния поля приземной температуры реанализом ERA Interim на данный момент не установлена. Несмотря на более детализированную сетку, ошибки CFS значительно больше. Примечательно, что в целом температурный фон воспроизводится с существенными погрешностями, поэтому детализация сетки не даёт улучшений. Вероятно, ошибка кроется в интерполяции, которая упускает или недоучитывает физические процессы, связанные с теплообменом в системе атмосфера – земная поверхность. На этот вопрос могут ответить исследования ошибок вертикальных профилей температуры. Анализ данных показал, что при месячном временном масштабе не видно тесной связи абсолютных ошибок с фактически наблюдаемым количеством облачности. Только в отдельные месяцы коэффициент корреляции между погрешностями и облачностью достигал -0,4. Вероятной причиной является неверное воспроизведение поля облачного покрова реанализами.

С целью установления причин, вызывающих ошибки воспроизведения приземной температуры воздуха, исследования в этом направлении будут продолжены.

### Библиографический список

1. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Е. М. Акентьева [и др.]. СПб, 2017. 106 с.
2. Кокорин А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. 80 с.
3. Шкляев В.А., Полин Д.Н. Районирование территории Пермского края по показателям отопительного периода // Географический вестник, 2017. № 4. С. 123-135.
4. Шульгина Т.М. Сравнение данных реанализов с инструментальными наблюдениями метеорологических величин на территории Сибири / Т.М. Шульгина, Е.П. Гордов, Е.Ю. Генина. Томск: ИМКЭС СО РАН, 2012.
5. Climate Forecast System (CFS). [Электронный ресурс] URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/climate-forecast-system-version2-cfsv2> (дата обращения 11.02.2020).
6. Cold Bias of ERA5 Summertime Daily Maximum Land Surface Temperature over Iberian Peninsula / J. Frederico [et al.] Basel: Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 2019. – 21 p.

7. ERA Interim, Daily. [Электронный ресурс] URL: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc> (дата обращения 11.02.2020).

УДК 551.581

Д.Н. Полин, В.А. Шкляев, polin@meteo59.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет*

*г. Пермь, Россия*

## **СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Рассматриваются пространственные и временные особенности распределения экстремальных месячных сумм осадков и суточных максимумов осадков в Пермском крае. Выявлена тенденция увеличения количества месячных максимумов. Тенденция изменения суточные максимумов выявлена слабо.

*Ключевые слова:* осадки, максимумы осадков

D. Polin, V. Shklyayev, polin@meteo59.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

## **STATISTICAL ESTIMATES OF EXTREME PRECIPITATION OF THE PERM REGION**

Spatial and temporal features of the distribution of extreme monthly precipitation amounts and daily precipitation maximums in the Perm region are considered. The trend of increasing the number of monthly highs was revealed. The trend of changes in daily maximums is poorly detected.

*Keywords:* precipitation, maximum precipitation

В связи с глобальными климатическими изменениями увеличивается частота различных неблагоприятных погодных условий, таких как аномально высокие или низкие температуры воздуха, шквалы, значительное количество осадков. Все это приводит к необходимости корректировать нормативные показатели, которые учитываются в различных отраслях хозяйственной деятельности. Например, экстремальные суточные и месячные осадки оказывают существенное влияние на экономику региона. От них страдают сельское хозяйство, транспорт, водное хозяйство и другие отрасли. В связи с этим, региональные климатические характеристики, оценивающие режим осадков, должны быть пересмотрены.

На Урале вековые изменения годовой суммы осадков характеризовались положительным коэффициентом линейного тренда, причем наибольший рост наблюдался в горной части Среднего Урала, а наименьший – на равнинной части Среднего Урала и в Оренбурге [2, 3].

Изменения месячных сумм осадков, а также их экстремальных значений испытывают еще большую пространственную неоднородность. Исследование этих характеристик позволит выявить дополнительные пространственно-временные особенности изменений регионального

климата и оценить их возможное влияние на хозяйственную деятельность.

Исследование статистических характеристик экстремальных осадков выполнялось на основе данных сетевых наблюдений за период 1951-2011 гг. В начале этого периода происходил переход с дождемеров на осадкомеры Третьякова, а с 1966 г. изменились поправки на смачивание. Следует отметить, что экстремальные (максимальные) осадки менее чувствительны к таким изменениям, поэтому соответствующие поправочные коэффициенты не учитывались.

Для выявления наблюдаемых изменений статистических характеристик осадков исследуемый период был разбит на 3 двадцатилетних интервала: 1951-1970 гг., 1971-1990 гг. и 1991-2011 гг. Использовались метеостанции, на которых наблюдения проводились весь указанный период. Общее количество пунктов наблюдений составило 23. Рассматривались максимальные значения суточных и месячных сумм осадков и их отношения (табл. 1).

Была выявлена значимая связь между суточными максимумами и их отношениями к месячным суммам. Коэффициент корреляции составил 0,76. Таким образом, чем больше суточный максимум, тем больше его вклад в месячный максимум.

Таблица 1. Абсолютные суточные и месячные максимумы и их отношения на метеостанциях Пермского края, 1951-1911 гг.

Метеостанция	Максимум, мм		Отношение	Метеостанция	Максимум, мм		Отношение
	суточный	месячный			суточный	месячный	
Ныроб	76	187	0,41	Лысьва	90	185	0,49
Вая	91	199	0,46	Верещагино	90	230	0,39
Чердынь	75	189	0,40	Пермь	63	177	0,36
Гайны	56	195	0,29	Кын	89	182	0,49
Коса	66	187	0,35	Оханск	48	142	0,34
Кочевое	61	221	0,28	Б.Соснова	96	218	0,44
Березники	56	176	0,32	Кунгур	58	162	0,36
Кудымкар	75	166	0,45	Оса	61	178	0,34
Бисер	132	285	0,46	Ножовка	70	166	0,42
Губаха	66	280	0,24	Октябрьский	65	203	0,32
Чермоз	72	194	0,37	Чернушка	90	167	0,54
Добрянка	114	203	0,56				

Была выявлена значимая связь между суточными максимумами и их отношениями к месячным суммам. Коэффициент корреляции составил 0,76. Таким образом, чем больше суточный максимум, тем больше его вклад в месячный максимум.

Исследовались также долговременные изменения перечисленных характеристик, отнесенных к 3-м выбранным интервалам (табл. 2, 3). Расчеты показали, что на 21 метеостанции из 23 наблюдается тенден-

ция к увеличению месячных максимумов осадков. Сравнение с выполненными ранее оценками коэффициентов линейного тренда, приведенными в работе [1], показало их хорошее соответствие. Так, для 16 метеостанций были обнаружены устойчивые тенденции роста месячных максимумов, а для метеостанций Вая и Оса – тенденции к их уменьшению. На оставшихся метеостанциях хотя и наблюдалась положительная регрессия, но она была не значима.

Таблица 2. Изменение максимального месячного количества осадков на метеостанциях Пермского края, 1951-2011 г.

Метеостанция	Период			Увеличение, мм
	1951-1970	1971-1990	1991-2011	
Ныроб	105	103	111	6
Вая	128	126	126	-2
Чердынь	103	127	118	15
Гайны	98	106	117	19
Коса	107	114	114	8
Кочевое	91	106	118	27
Березники	104	113	118	14
Кудымкар	93	104	110	17
Бисер	130	147	147	17
Губаха	106	153	144	38
Чермоз	92	100	107	15
Добрянка	102	108	118	16

Метеостанция	Период			Увеличение, мм
	1951-1970	1971-1990	1991-2011	
Лысьва	105	113	126	21
Верещагино	92	112	99	7
Пермь	102	108	128	25
Кын	116	113	121	5
Оханск	89	95	98	9
Б.Соснова	93	110	101	8
Кунгур	98	101	119	21
Оса	100	107	89	-12
Ножовка	89	101	97	8
Октябрьский	111	119	138	27
Чернушка	98	107	110	12

Как правило, увеличение месячного максимума в этом случае было несущественным, менее 10 мм/20 лет, и сначала происходило уменьшение максимума от первого интервала ко второму интервалу, а потом его рост, либо первоначальный рост затем сменялся падением максимальной величины.

Временные изменения суточных максимумов менее существенны (табл. 3). Наиболее значительный рост (10 мм от первого периода к третьему) наблюдался на 2-х метеостанциях: Кочевое и Лысьва. На 10 метеостанциях наблюдался несущественный рост или падение суточных максимумов в пределах  $\pm 1-2$  мм.

Таким образом, изменение суточных максимумов осадков в меньшей степени связаны с климатическими изменениями температуры воздуха, а в большей степени зависят от конвективных процессов, наблюдаемых при разнообразных циркуляционных условиях. Как было отмечено ранее, распределение суточных максимумов имеет свои особенности [1]. На востоке в предгорных и горных районах, а также в западной и центральной части края (Б. Соснова, Добрянка, Верещагино) максимальное значение может превышать 90 мм. Кроме этого, на юге края, в Чернушке, суточный максимум составляет 90 мм. Следовательно, в более южных районах, а также при приближении к горам происходит увеличение конвективных осадков.

Таблица 3. Изменение средних значений суточных максимумов на метеостанциях Пермского края, 1951-2011 г.

Метеостанция	Период			Увеличение, мм
	1951-1970	1971-1990	1991-2011	
Ныроб	26	29	31	5
Вая	32	35	34	2
Чердынь	28	35	29	1
Гайны	32	30	32	1
Коса	32	33	34	2
Кочевое	27	30	36	10
Березники	28	31	33	5
Кудымкар	28	34	32	5
Бисер	33	39	39	6
Губаха	34	31	36	2
Чермоз	32	30	30	-1
Добрянка	33	31	32	-1

Метеостанция	Период			Увеличение, мм
	1951-1970	1971-1990	1991-2011	
<i>Лысьва</i>	27	33	38	10
Верещагино	33	35	31	-2
<i>Пермь</i>	32	32	37	6
<i>Кын</i>	32	33	35	3
<i>Оханск</i>	27	32	32	5
Б.Соснова	30	31	29	-1
<i>Кунгур</i>	28	32	31	3
Оса	31	32	23	-8
<i>Ножовка</i>	23	32	30	7
<i>Октябрьский</i>	31	31	38	6
Чернушка	35	38	34	-1

Примечание: курсивом выделены метеостанции с ростом количества осадков

Влияние широтного фактора может нарушаться за счет региональных особенностей рельефа. Это увеличивает пространственные градиенты суточных максимумов. Например, в Оханске, Перми, Осе, Кунгуре, Чайковском и Октябрьском они не превышают 70 мм, северо-западнее этого района – превосходят 90 мм, а в Добрянке составляют 114 мм.

Следовательно, на распределение суточных максимумов осадков оказывают влияние западно-восточный перенос (они велики на западе края), Уральские горы, а

также региональные особенности рельефа. Циркуляционный фактор проявляется в том, что существует хорошо выраженная связь между максимумами месячных осадков и годовыми суммами, так как те или иные формы циркуляции проявляются в течение продолжительного периода и охватывают большие территории [1]. Например, месячные максимумы пространственно связаны следующим образом: до расстояния 70 км коэффициент корреляции составляет 0,59, а затем начинает убывать. Однако, для некоторых метеостан-

ций (Октябрьский) даже при расстояниях до 150-200 км коэффициент корреляции составляет 0,50. В этом проявляются региональные особенности поля максимальных месячных сумм осадков.

Корреляционный анализ был также проведен для суточных максимумов осадков. Оценки показали, что суточные максимумы пространственно связаны менее тесно, чем месячные. Например, только для станций Добрянка-Чусовой, Чусовой-Лысьва коэффициент корреляции достигает величины 0,55-0,58, а также хорошая связь наблюдается между Октябрьским и Чайковским. В этом случае коэффициент корреляции составляет 0,60.

Таким образом, чем меньше период осреднения сумм осадков, тем хуже пространственные связи между максимумами осадков. На суточные максимумы помимо основных факторов существенно влияют региональные особенности рельефа. В меньшей степени это относится к месячным максимумам, но здесь необходимо учитывать циркуляционный фактор.

Однонаправленные долговременные изменения, в большей степени проявляются в рядах годовых сумм осадков и приводят к их росту. Они несущественны для рядов месячных и особенно суточных максимумов.

### Библиографический список

1. Шкляев В.А. Экстремальные осадки на водосборах Пермского края и их долговременные изменения // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Пермь, Перм. ун-т, 2019. Т. II. С. 222-227.
2. Шкляев В. А., Шкляева Л. С. Изменения климатических характеристик, связанных с экстремальными температурами и осадками на Урале в XX веке // Географический вестник, 2007. №1 (5). С. 117-129.
3. Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Оценка изменений температуры воздуха и осадков среднего и южного Урала в XX веке // Вестник Челябинского госуниверситета. Сер. Экология. Природопользование, 2011. № 5 (220). С. 61-69.

**ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫЕ ОСАДКИ ПО ДАННЫМ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЕТИ**

В статье рассматриваются радиолокационные характеристики облаков при выпадении переохлажденных осадков.

*Ключевые слова:* переохлажденные осадки, радиолокационные характеристики

**SUPERCOOLED PRECIPITATION BY DATA  
METEOROLOGICAL RADAR NETWORK**

The article considers radar characteristics of clouds in case of supercooled precipitation.

*Keywords:* supercooled precipitation, radar characteristics

Переохлажденные осадки относятся к сложным метеорологическим явлениям, которые вызываются комплексом метеоусловий. Так, переохлажденные осадки образуются при прохождении теплого фронта с малым углом наклона фронтальной поверхности. При этом у земли перед линией фронта слой воздуха имеет отрицательную температуру, а над фронтальной поверхностью температура воздуха положительная [1, 3].

В ноябре 2019 г. на европейской территории России были зафиксирован ряд случаев переохлажденных осадков, два из которых стали темой данного исследования: 11 и 23-24 ноября. Оба случая вызвали сильные гололеды и повлекли значительный материальный ущерб. В первом случае явление охватило в основном Пермский край, во втором наиболее сильно пострадали Удмуртия, Кировская область и юго-запад Пермского края.

В данной работе приводятся результаты исследования радиолокационных характеристик облачности при выпадении переохлажденных осадков [1, 2]. Рассмотрены значения радиолокационной отражаемости в ядре в период наибольшей интенсивности осадков, максимальной высоты радиоэха облачности, тип явления, а также изменение этих характеристик при прохождении теплого фронта.

Для исследования использовалась информация с сети ДМРЛ-С, расположенная на территории России. При прохождении фронта оценивались данные ДМРЛ Вологда, Котлас, Ижевск, Н. Новгород, Киров (архивные данные <http://meteorad.ru>). Оценка синоптической ситуации и погодных условий производилась на основании данных сети метеостанций и карт погоды, предоставленным Пермским ЦГМС.

Радиолокационные данные представляют собой по сути отраженный от метеоцели сигнал, преобразованный в вид явления на основе физических закономерностей. Поэтому для повышения достоверности обрабатываемых данных были использованы только те радиолокационные сроки зондирования, которые совпадали с синоптическими сроками, в которые на метеостанции фиксировались переохлажденные осадки. При этом принимались следующие допущения: радиолокационный срок может отличаться от синоптического не более чем на 5 минут, конвективные ячейки с явлением находятся на удалении не более 30 км от метеостанции. Таким образом, в анализируемый период для Перми данные метеостанций приводятся каждые полчаса (метеостанция Пермь-Большое Савино), для остальных городов – в основные синоптические сроки (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч ВСВ).

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-45-590021).*

## Библиографический список

1. Калинин Н.А., Поморцева А.А. Исследование радиолокационных характеристик переохлажденных осадков. Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2014. Вып. 7. С. 47-49.
2. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Исследование радиолокационных характеристик для распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью // Метеорология и гидрология, 2005. № 1. С. 84-95.
3. Калинин Н.А., Смородин Б.Л. Редкое явление замерзающего дождя в Пермском крае // Метеорология и гидрология, 2012. № 8. С. 27-35.

УДК 551.558.1

Б.А. Сивков, sivkovbogdan@yandex.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия*

### ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ АТМОСФЕРЫ КАК ФАКТОР ОБРАЗОВАНИЯ СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

В работе рассмотрены вертикальные движения атмосферы при выпадении сильных осадков ( $\geq 50$  мм / 12 ч или  $\geq 30$  мм / 1 ч) на территории Пермского края в течение периода 1979-2018 гг. Был проведен анализ зависимости интенсивности вертикальных движений от синоптической ситуации, а также стадии развития циклона. Исследование показало, что наиболее интенсивные восходящие движения наблюдаются при фронтальных осадках и циклонах, находящихся в стадии молодого барического образования.

*Ключевые слова:* сильные осадки, вертикальные движения, реанализ CFS, Пермский край.

B. Sivkov, sivkovbogdan@yandex.ru

*Perm State University, Perm, Russia*

### VERTICAL MOTIONS OF THE ATMOSPHERE AS A FACTOR IN THE FORMATION OF HEAVY PRECIPITATION IN PERM REGION DURING THE WARM SEASON

The paper considers the vertical motions of the atmosphere during heavy precipitation ( $\geq 50$  mm / 12 h or  $\geq 30$  mm / 1 h) in Perm region during the period 1979-2018. An analysis was made of the dependence of the intensity of vertical motions on the synoptic situation, as well as the stage of development of cyclone. The study showed that the most intense upward motions are observed during frontal precipitation and cyclones that are in the stage of young baric structure.

*Keywords:* heavy precipitation, vertical motions, CFS reanalysis, Perm region.

Как известно, в образовании осадков принимают участие два основных процесса: конденсация водяного пара на начальном этапе и дальнейшее укрупнение облачных элементов за счет коагуляции [1, 4]. Особо важную роль в образовании осадков играют вертикальные движения. В первую очередь восходящие движения обеспечивают понижение температуры воздуха, благодаря которому в атмосфере наблюдается перенасыщение водяного пара и рост капель за счет конденсации.

Во-вторых, капли, поднимаемые восходящими потоками в более высокие слои атмосферы, при падении должны пройти значительную толщу облака, благодаря чему они увеличиваются в размерах за счет коагуляции. Чем интенсивнее восходящие потоки, тем на большую высоту смогут подняться облачные элементы.

Другим важным фактором образования осадков является влагосодержание. При его низких значениях образуются осадки слабой интенсивности и/или они

имеют кратковременный характер [3]. Таким образом, для образования сильных осадков необходимы два условия: высокое влагосодержание и интенсивные восходящие вертикальные движения.

Данная работа посвящена исследованию вертикальных движений при выпадении сильных осадков, достигших критериев опасного явления (ОЯ). Критерием сильного ливня является количество выпавших осадков не менее 30 мм за период не более 1 ч; очень сильного дождя – количество выпавших осадков не менее 50 мм (а в ливнеопасных районах не менее 30 мм) за период не более 12 ч. [5]

Материалами для исследования послужили информации о датах, когда наблюдалось опасное явление в период с 1979 по 2018 гг., данные реанализа модели CFS (Climate Forecasting System) в сроки 0, 6, 12, 18 ВСВ и архив синоптических карт в программном комплексе ГИС Метео.

С целью изучения зависимости интенсивности вертикальных движений от синоптической ситуации и стадии развития циклона для каждого случая с осадками в градации ОЯ определялся тип фронтальной системы и стадия развития циклона, с которой они были связаны. Для случаев, зарегистрированных в период с 2004 по 2018 гг., анализ проводился по архиву синоптических карт с помощью программного комплекса ГИС Метео. Так как архив карт ГИС Метео ограничен, то для расширения периода исследования (с 1979 по 2003 гг.) были привлечены данные реанализа CFS. На основе этих данных были построены следующие карты: приземные, АТ850, ОТ500/1000 и карты распределения осадков. Построение карт проводилось с помощью программы OpenGrADS с последующим сохранением изображений в формате PNG.

По данным реанализа также были получены значения скорости вертикальных движений на изобарических поверхностях 850, 700 и 500 гПа. В файлах реанализа данный метеопараметр носит название VVEL (Vertical velocity (pressure)) и имеет размерность Па/с. Отрицательные значения соответствуют восходящим движениям, а положительные – нисходящим. С помощью программы OpenGrADS поля вертикальных движений сохранялись в растровом формате GeoTIFF, который помимо информации о значениях индексов содержит метаданные об их географической привязке. Это позволяет проводить пространственный анализ в таких про-

граммах, как ArcGIS и QGIS. Для каждого случая с сильными осадками были получены значения вертикальной скорости в сроки 0, 6, 12, 18 ч ВСВ.

Ввиду того, что сильные осадки, как правило, носят локальный характер, имеет смысл определять значения вертикальных движений не только в конкретной точке (метеостанции, где было зафиксировано ОЯ), но и в некотором радиусе от нее [2]. Это должно позволить избежать занижения интенсивности вертикальных движений в случаях пространственной ошибки. Поэтому в данном исследовании выбирались максимальные значения в радиусе 50 км от станции, на которой было зафиксировано ОЯ. Для этого в программе QGIS для каждой метеостанции были построены буферные зоны с указанным выше радиусом, в пределах которых определялись максимальные значения индексов.

Средняя скорость вертикальных движений без учета синоптической ситуации и эволюции циклонов составила  $-0,423$  Па/с на изобарической поверхности 850 гПа,  $-0,517$  Па/с на изобарической поверхности 700 гПа и  $-0,506$  Па/с на изобарической поверхности 500 гПа.

В зависимости от синоптической ситуации, при которой сформировались очень сильные дожди, поля вертикальных движений имеют разный характер распределения скорости (табл. 1).

Значительная разница в скорости вертикальных движений наблюдается между фронтальными осадками и внутримассовыми. Так, скорость восходящих движений при фронтальных осадках в среднем составила  $-0,466$  Па/с на изобарической поверхности 850 гПа,  $-0,580$  Па/с на изобарической поверхности 700 гПа и  $-0,570$  Па/с на изобарической поверхности 500 гПа. При этом скорость восходящих движений при внутримассовых осадках оказалась в 2-3 раза ниже. Такую разницу можно объяснить следующим образом: восходящие движения на фронтальных разделах складываются из упорядоченных вертикальных движений, а также термической и вынужденной (на холодных фронтах второго рода) конвекцией, в то время как внутримассовые процессы происходят за счет термической конвекции.

Значительная разница в скорости вертикальных движений наблюдается между фронтальными осадками и внутримассовыми. Так, скорость восходящих движений при фронтальных осадках в среднем со-

ставила  $-0,466$  Па/с на изобарической поверхности 850 гПа,  $-0,580$  Па/с на изобарической поверхности 700 гПа и  $-0,570$  Па/с на изобарической поверхности 500 гПа. При этом скорость восходящих движений при внутримассовых осадках оказалась в 2-3 раза ниже. Такую разницу можно объяснить следующим образом: восходящие

движения на фронтальных разделах складываются из упорядоченных вертикальных движений, а также термической и вынужденной (на холодных фронтах второго рода) конвекцией, в то время как внутримассовые процессы происходят за счет термической конвекции.

Таблица 1. Средние значения скорости вертикальных движений при выпадении сильных осадков в зависимости от синоптической ситуации

Высота изобарической поверхности, гПа	Статистическая характеристика	Синоптическая ситуация				
		<i>Холодный фронт</i>	<i>Теплый фронт</i>	<i>Фронт окклюзии</i>	<i>Волновое возмущение на малоподвижном фронте</i>	<i>Внутримассовые</i>
850	Макс.	-0,059	-0,150	-0,160	-0,252	-0,048
	Мин.	-1,439	-1,176	-1,077	-0,717	-0,336
	Среднее	-0,471	-0,462	-0,457	-0,474	-0,204
	Медиана	-0,444	-0,445	-0,430	-0,476	-0,203
700	Макс.	-0,006	-0,148	-0,165	-0,156	-0,040
	Мин.	-1,310	-1,668	-1,472	-1,328	-0,387
	Среднее	-0,533	-0,533	-0,580	-0,673	-0,205
	Медиана	-0,448	-0,541	-0,518	-0,667	-0,221
500	Макс.	-0,071	0,007	-0,060	-0,189	0,004
	Мин.	-0,941	-1,528	-1,885	-1,629	-0,486
	Среднее	-0,490	-0,558	-0,592	-0,641	-0,187
	Медиана	-0,453	-0,422	-0,586	-0,509	-0,178

Если сравнить интенсивность вертикальных движений на разных фронтах, то они в целом оказываются сопоставимы между собой, однако можно выделить некоторые особенности. Так, максимальная интенсивность восходящих движений в нижней части тропосферы (850 гПа) наблюдается на холодных фронтах, а в средней тропосфере (500 гПа) наибольшие значения скорости наблюдаются на фронтах окклюзии. Вероятно, это связано с тем, что в нижней тропосфере вертикальные движения на холодных фронтах усиливаются вынужденной конвекцией, интенсивность которой уменьшается с высотой. В тоже время, в процессе окклюдирования, когда один фронт поднимается по поверхности другого, уровень с интенсивными восходящими движениями, смещается в сторону средней тропосферы.

Если интенсивность восходящих движений на разных фронтах в целом сопоставима между собой, то при разных стадиях развития циклона наблюдаются более заметные различия в значениях скорости вертикальных движений (табл. 2).

Наиболее интенсивные восходящие движения отмечаются, когда циклон находится в стадии молодого барического образования. Средняя скорость на изобарической поверхности 850 гПа составила при этом  $-0,574$  Па/с,  $-0,776$  Па/с на изобарической поверхности 700 гПа и  $-0,697$  Па/с на изобарической поверхности 500 гПа. Наименьшие значения скорости вертикальных движений наблюдаются при сильных осадках не связанных с циклонической деятельностью (табл. 2).

Таблица 2. Средние значения скорости вертикальных движений при выпадении сильных осадков в зависимости от эволюции циклона

Стадия развития циклона	Высота изобарической поверхности, гПа		
	850	700	500
Стадия волны	-0,445	-0,651	-0,609
Молодой циклон	-0,574	-0,776	-0,697
Максимальное развитие	-0,399	-0,425	-0,468
Заполнение	-0,416	-0,501	-0,506
Внутримассовые	-0,212	-0,219	-0,201

Обобщая результаты, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее интенсивные восходящие движения наблюдаются при сильных осадках, связанных с фронтальными разделами, при этом разница между скоростью восходящих потоков на разных фронтах незначительна. Внутримассовые же осадки образуются при меньшей скорости вертикальных движений.

2. Интенсивность вертикальных движений зависит от стадии развития циклонов. Наиболее высокие значения скорости наблюдаются на стадии молодого циклона. Наименьшие значения скорости вертикальных движений наблюдаются при сильных осадках, не связанных с циклонической деятельностью.

*Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-45-590850 p\_a).*

### Библиографический список

1. Алексеева А.А. Подходы к решению проблемы прогнозирования сильных летних осадков // Труды Гидрометцентра России, 2014. Вып. 351. С. 51-67.
2. Калинин Н.А., Шихов А.Н., Быков А.В., Тарасов А.В. Анализ результатов численного прогноза ливневых осадков по модели WRF с применением различных параметризаций конвекции (на примере территории Пермского края) // Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2019. Вып. 373. С. 43-59.
3. Марченко О.Ю., Мордвинов В.И., Антохин П.Н. Исследование долговременной изменчивости и условий формирования атмосферных осадков в бассейне реки Селенга // Оптика атмосферы и океана, 2012. Т. 25. № 12. С. 1084-1090.
4. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л. Гидрометеиздат. 1984. 751 с.
5. РД 52.27.724-2019. «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения». М., 2019. 66 с.

Е.Л. Тунаев<sup>1</sup>, В.П. Горбатенко<sup>2</sup>, eug\_t@mail2000.ru

<sup>1</sup>Западно-Сибирское Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,  
г. Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет  
г. Томск, Россия

## РОЛЬ МЕСТНЫХ ФАКТОРОВ В ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Рассматриваются факторы, оказывающие значительное влияние на погоду и климат Западной Сибири. Выявлена роль болот междуречья Обь-Иртыш на процессы формирования погодно-климатического режима территории через циклогенез.

*Ключевые слова:* Западная Сибирь, климат, местные циклоны, болота.

E. Tunaev<sup>1</sup>, V. Gorbatenko<sup>2</sup>, eug\_t@mail2000.ru

<sup>1</sup>West Siberian Department for Hydrometeorology and environmental monitoring, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

## THE ROLE OF LOCAL FACTORS IN THE WARMING CLIMATE OF WESTERN SIBERIA

Factors that significantly affect the weather and climate of Western Siberia are considered. The role of the marshes of the Ob-Irtysh interfluvium on the processes of the formation of the weather-climate regime of the territory through cyclogenesis revealed.

*Keywords:* Western Siberia, climate, local cyclones, swamps.

Всё актуальнее становится проблема глобального потепления и постепенного увеличения среднегодовой температуры атмосферы Земли. Данные наблюдений показывают, что климат территории России более чувствителен к изменениям, чем климат других регионов. За 1976-2018 гг. по данным сети Росгидромета [4], потепление в целом по РФ составило 1,97°C. При этом рост глобальной температуры за тот же период составил 0,74°C.

Западная Сибирь является уникальным регионом: она в равной степени удалена от Тихого и Атлантического океанов, а также в силу своей орографии и значительного влияния Арктики подвержена меридиональному переносу воздушных масс. Кроме того, на территории Западной Сибири проявляются региональные факторы, такие как Сибирский максимум и Большое Васюганское болото [7-9]. Характерной чертой для территории является преобладание циклонического типа погоды в течение всего года, и особенно в переходные сезоны и в начале зимы. Согласно оценочному докладу по изменению климата на территории Российской Федерации [6], можно выделить, что в Западной Сибири, также как и на всей территории РФ, с 1970-х гг. потепление продолжается, хотя

интенсивность его и уменьшилась. Причём наиболее интенсивным потепление было на юге Западной Сибири. Поэтому актуально выявить причины, вызывающие данные изменения.

Цель работы заключается в анализе роли различных факторов в изменении климата Западной Сибири.

При анализе механизмов климатических изменений как мезомасштабного, так и глобального уровня, необходим комплексный подход, заключающийся в учете процессов, происходящих в атмосфере и у поверхности земли. В работе использованы данные о циркуляции атмосферы над территорией Сибири и данные температурно-ветрового зондирования атмосферы.

В ходе исследований ряда авторов [3] над территорией Западной Сибири отмечается общее увеличение циклонической активности, а также числа циклонов [7-8], формирующихся непосредственно над территорией региона за 1976-2017 гг. (рис. 1а), так называемых местных циклонов. При этом в последнее десятилетие общее число и продолжительность их влияния оказались в 2-3 раза больше, чем за предыдущий период. Также отмечается понижение минимального давления в центрах

вновь образующихся циклонов (рис. 1б), что говорит об увеличении их интенсив-

ности, которое сопровождается повышением температурного фона (рис. 1в).

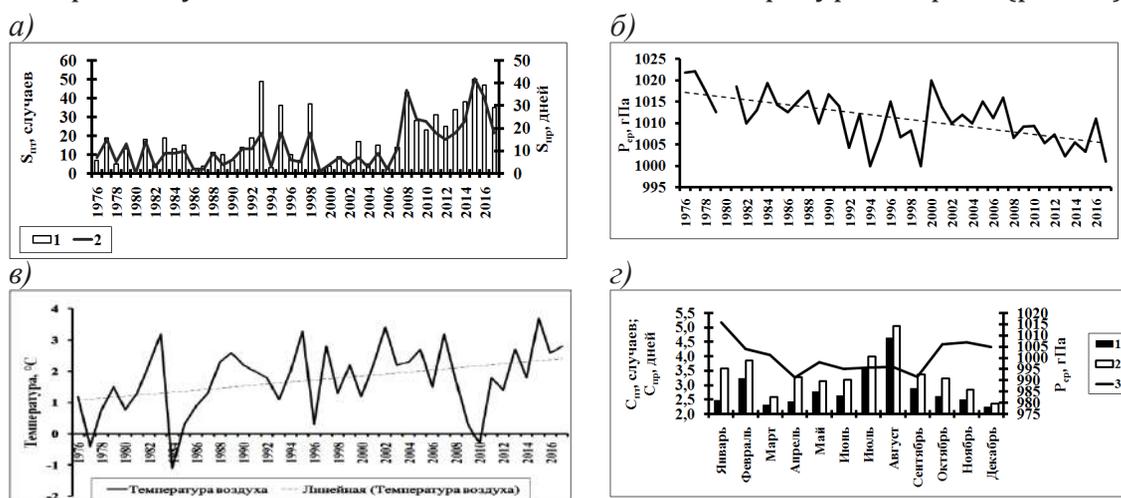


Рис. 1. Характеристики циклонической активности:

- а) Суммы: 1 – продолжительности влияния ( $S_{np}$ ), 2 – повторяемости образования местных циклонов ( $S_{nm}$ ); б) – среднее значение давления ( $P_{cp}$ );  
 в) Среднегодовая температура воздуха ( $T_{cp}$ ), г. Новосибирск;  
 г) Средние: 1 – повторяемость ( $C_{nm}$ ); 2 – продолжительность «жизни» местных циклонов ( $C_{np}$ ); 3 – давление ( $P$ )

Во внутригодовом распределении (рис. 1г) наибольшая циклоническая активность отмечается в основном в теплый период с максимумом в августе, когда замечено [8-9] увеличение процессов генерации циклонов (в среднем 5 случаев с продолжительностью «жизни» более 5 дней), когда подстилающая поверхность прогревается особенно сильно. Возможно, это связано с увеличением бароклинности приземного слоя, как за счет изменения температуры воздуха, так и увеличения влагосодержания во всей толще тропосферы вследствие дополнительного прогрева.

Также отмечается некоторое увеличение числа формирующихся и смещающихся через Западную Сибирь циклонов во вторую половину зимы (январь-февраль), что, возможно, связано с активной циклонической деятельностью на севере региона. По-видимому, сказывается влияние Исландской депрессии, которая является одним из основных центров действия атмосферы и генератором циклонов, приходящих в центральные и южные районы Западной Сибири с севера. За последние 7 лет обнаружено увеличение числа циклонов, сформировавшихся на юге (50-54° с.ш., 60-90° в.д.) в холодную часть года, в центральных районах (54-60° с.ш., 60-90° в.д.) – в теплую часть года.

В ходе анализа макроциркуляционных процессов в атмосфере Западной Сибири, выявлено, что они могут определять погоду региона лишь на 50 %, в остальных слу-

чаев решающими могут выступать местные факторы, такие как болота.

Заболоченность Западно-Сибирской равнины (70,4 млн. га) относится к мировому природному феномену, и на Земле сложно найти территорию, где бы болота занимали такие огромные площади. Болото в начале своего развития является результатом совместного влияния различных факторов и формируется при наличии [1, 5]:

- 1) плоского рельефа местности с небольшими перепадами относительных высот;
- 2) разветвленной речной сети и близкого к поверхности залегания грунтовых вод;
- 3) благоприятных климатических условий (оптимального температурного и влажностного режима), способствующих избыточному увлажнению местности.

Полностью сформированные болотные массивы, вследствие большой площади, занимаемой ими, а также сконцентрированных в них огромных объемах торфа, являются климатообразующим фактором не только в региональном, но и в глобальном масштабе. Известно, что болота аккумулируют в год миллионы тонн углекислого газа и продуцируют миллионы тонн метана и кислорода [5]. Кроме того, до последнего времени считалось, что парниковый эффект от метана в 25 раз сильнее, чем от углекислого газа. Однако теперь Межпра-

вительственная группа экспертов по изменению климата ООН (IPCC) утверждает [2], что «парниковый потенциал» метана еще опаснее, чем оценивалось раньше. По данным наземных станций, и глобальных карт, опубликованных NASA, в приземной атмосфере Западной Сибири имеется очаг с высоким показателем выделений метана (рис. 2).

В атмосфере Западной Сибири содержание метана значительно из-за наличия большого числа мелких и крупных болот в междуречье Обь-Иртыш. Учитывая высокую теплоемкость болота, можно ожидать и увеличения значений температуры почв и воздуха, а также энергетических запасов в атмосфере над данными территориями.

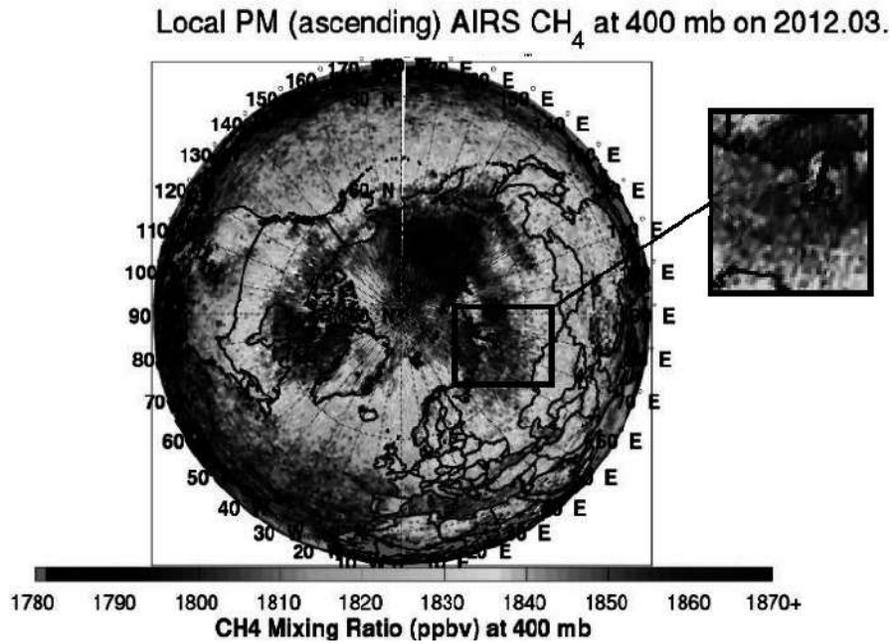


Рис. 2. Глобальный уровень метана [2]

При анализе изменения энергии скрытой теплоты фазовых переходов воды ( $E_c$ ) в теплый период года (рис. 3а,б), служащего индикатором влияния болот на атмосферные процессы, на примере Большого

Васюганского болота можно заметить, что над ним происходит активное формирование молодых циклонов, при этом наблюдаются повышенные значения  $E_c$ . ( $3,6 \times 10^7$  Дж/м<sup>2</sup>).

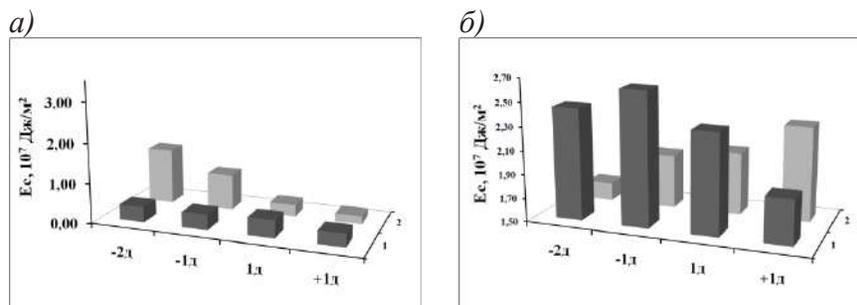


Рис. 3. Значения энергии скрытой теплоты фазовых переходов воды ( $E_c$ ) при циклогенезе, 1 – Территория Большого Васюганского болота; 2 – другие районы: а) холодный период; б) теплый период

В ходе исследования были сделаны основные выводы:

Потепление в Западной Сибири сопровождается увеличением генерации циклонов на фоне общего повышения циклонической активности.

Отмечается увеличение интенсивности и глубины вновь образующихся мезоциклонов.

Климатические изменения в половине случаев определяются местными факторами, решающими из которых могут быть процессы, происходящие над территория-

ми болот. Эти процессы вызваны увеличением бароклинности атмосферы и ожидаемым ростом содержания водяного пара в атмосфере.

Над районами Большого Васюганского болота и его окрестностей наблюдается

активный циклогенез, физической причиной которого является энергия скрытой теплоты фазовых переходов воды, что может говорить о существенном вкладе болот в процессы современного изменения климата.

### Библиографический список

1. *Васюганское болото. Природные условия, структура и функционирование / 2-е изд. под ред. Л.И. Инишевой. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2003. 136 с.*
2. *Глобальное потепление на 1,5°C // Оценочный доклад МГЭИК. 2019. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.ipcc.ch/news\\_and\\_events/pr\\_181008\\_P48\\_spm.html](http://www.ipcc.ch/news_and_events/pr_181008_P48_spm.html). (дата обращения: 28.02.2020).*
3. *Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Логинова С.В. и др. Исследование циклонической и антициклонической активности на территории Западной Сибири по данным реанализа NCEP/DOEAMIP-II и синоптических карт // Оптика атмосферы и океана. 2009. № 1. С. 38-41.*
4. *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М, 2019. 79 с.*
5. *Минаева Т.Ю., Сирин А.А. Биологическое разнообразие болот и изменение климата // Успехи современной биологии, 2011. Т. 131. № 4. С. 393-406.*
6. *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1: Изменение климата. М.: Росгидромет, 2008. 277 с.*
7. *Тунаев Е.Л., Горбатенко В.П., Поднебесных Н.В. Особенности циклогенеза над территорией Западной Сибири за период 1976-2015 гг. Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2017. № 364. С. 81-92.*
8. *Тунаев Е.Л., Горбатенко В.П. Энергетические характеристики атмосферы при циклогенезе над районами Васюганского Болота // Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2018. № 4 (370). С. 48-62.*
9. *Tunaev E.L., Gorbatenko V.P., Kuzhevskaya I.V. Energy of atmospheric processes in a region between the Ob and Irtysh rivers in days of cyclogenesis. IOP Conf. Series «Earth and Environmental Science». Vol. 211: International Conference and Early Career Scientists School on Environmental Observations, Modeling and Information Systems: Enviromis – 2018. 2018.*

Д. В. Фасолько, Е. М. Акентьева, М.В. Ключева,  
 А.А. Пикалева, Г. Б. Пигольцина, В.А. Задворных, dvfasolko@mail.ru  
 Главная Геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова,  
 г. Санкт-Петербург, Россия

## ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДООЧИСТКИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

В статье выполнен анализ наблюдаемых и ожидаемых изменений климата Санкт-Петербурга. Были оценены изменения климатических параметров, определяющих состояние водных объектов и систем водоотведения города. Выполнено мезоклиматическое районирование города.

*Ключевые слова:* система водоотведения, наблюдаемые изменения климата, моделирование климата, мезоклимат

D. V. Fasolko, E. M. Akentyeva, M.V. Klueva,  
 A.A. Pikaleva, G. B. Pigoltcina, V.A. Zadvornyykh, dvfasolko@mail.ru  
 Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia

## ASSESSMENT OF THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGES ON THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF WATER DISPOSAL AND WATER CLEANUP SYSTEMS IN ST. PETERSBURG

The article analyzes the observed and projection climate changes in St. Petersburg. Changes in climatic parameters that determine the state of water bodies and the city's water disposal systems were evaluated. Mesoclimatic zoning of the city was completed.

*Keywords:* water disposal system, observed climate changes, climate modeling, mesoclimate

С 1 января 2019 г. стартовал проект приграничного сотрудничества между Россией и Финляндией «Повышение адаптационного потенциала при управлении городскими водными ресурсами» (RAINMAN). Он направлен на разработку адаптационных мер к текущим и будущим изменениям климата, которые влияют на систему управления водными ресурсами в городах Санкт-Петербург, Хельсинки, Миккели и Лахти.

В рамках этого проекта специалистами ФГБУ «ГГО» был выполнен анализ наблюдаемых и ожидаемых изменений климата для Санкт-Петербурга и сделано мезоклиматическое районирование города.

Были определены основные климатические параметры, влияющие на водные объекты и системы водоотведения, и проанализированы их изменения. Они включают климатические показатели температуры, осадков, снежного покрова, ветра [2]. В представленной работе рассмотрены наиболее значимые изменения этих индексов.

Для гидрологического режима водных объектов большое значение имеют зим-

ние температуры воздуха. Показателем суровости зимы является сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха. На метеостанции Санкт-Петербург отмечается тенденция уменьшения этой суммы. За период с 1881 по 2017 гг общее уменьшение отрицательных сумм составило 360°C.

Рост сумм отрицательных температур вызван повышением зимних температур и уменьшением продолжительности периода с устойчивыми морозами. Сокращение продолжительности периода устойчивых морозов связано в основном с более ранним их прекращением весной. Поэтому период с ледовыми явлениями на водных объектах также существенно сокращается. Ледообразование начинается значительно позже, а весенние процессы, такие как вскрытие льда на реках, происходят раньше.

Информация об оттепелях и числе дней с переходом температуры через 0°C важна для оценки уровня грунтовых вод. Эти характеристики влияют на процесс активного снеготаяния, что в свою очередь увеличивает объемы поверхностно-

го талого стока, а с улично-дорожной сети смываются противогололедные реагенты, впоследствии попадающие в системы очистки сточных вод. Для метеостанции Санкт-Петербург за период с 1966 по 2017 гг. наблюдается тенденция к уменьшению этих характеристик, что связано с сокращением периода с устойчивыми морозами.

Температура почвы как на поверхности, так и на глубинах влияет на несущие способности грунтов. На рис. 1 представлено изменение нормативной глубины промерзания почвы, полученной скольльзящим осреднением за 30 лет. Очевидно, что в среднем нормативная глубина промерза-

ния уменьшилась за последние 50 лет на 30 см для всех видов почв.

Снежный покров является важным фактором, который влияет на функционирование систем водоснабжения, водоотведения и водоочистки. Запасы воды в снеге и режим снеготаяния определяют объем и скорость поступления талых вод в системы водоотведения. Большие объемы талых вод затрудняют очистку воды, т.к. происходит разбавление стоков и резко понижается их температура. Эти процессы неблагоприятно отражаются на эффективности биологической очистки.

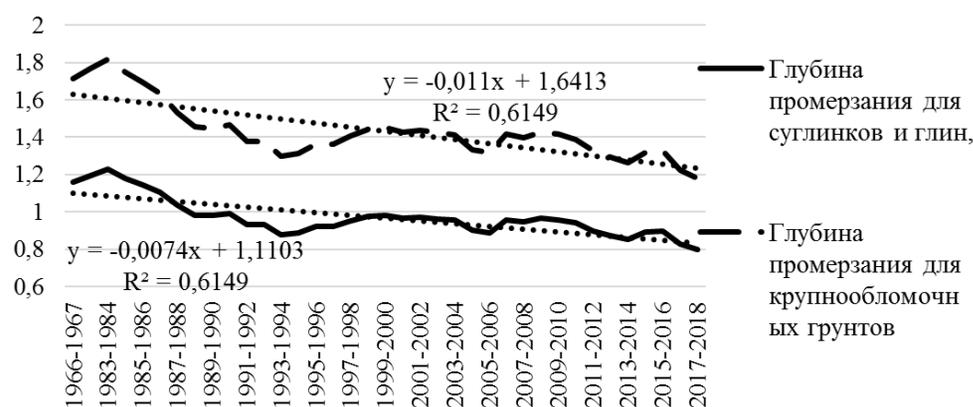


Рис. 1. Нормативная глубина промерзания грунта (м) для метеостанции Санкт-Петербург

Рост температуры воздуха в холодный период приводит к увеличению доли жидких и смешанных осадков, что в свою очередь влечет за собой уменьшение максимальной высоты снежного покрова и максимальных снегозапасов. За период с 1966 по 2017 гг скорость уменьшения мак-

симальной высоты снежного покрова составила примерно 3 см за 10 лет (рис. 2а), а максимального запаса воды в снеге – 11 мм за 10 лет (рис. 2б). Но значимость этих изменений невелика и на фоне общего уменьшения снегозапасов все еще возможны их экстремальные значения.

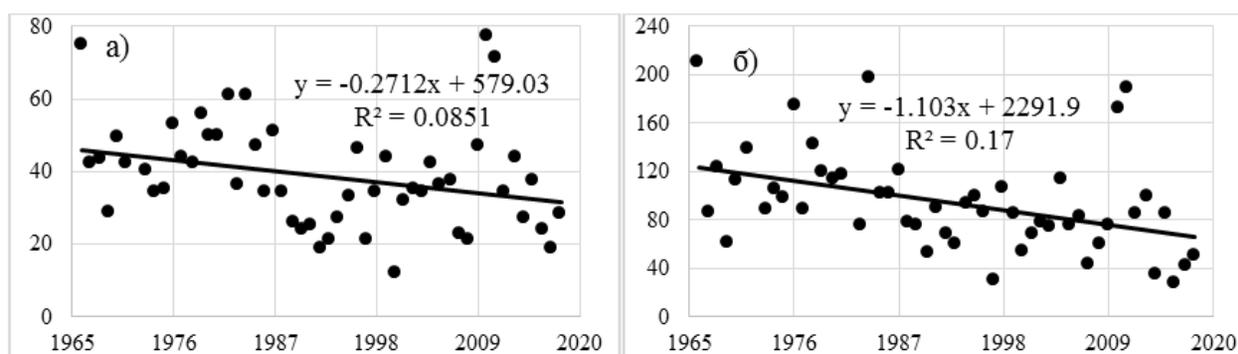


Рис. 2. Годовая изменчивость характеристик снежного покрова для метеостанции Санкт-Петербург: а) высота максимального снежного покрова, мм; б) максимальный запас воды в снеге, мм

Режим осадков оказывает наибольшее влияние на системы водоотведения и в значительной степени определяет особенности управления водными ресурсами территории.

В последние годы в Санкт-Петербурге участились нерасчетные дожди, на которые не рассчитана городская система ливневой канализации. Существующая ливневая канализация может принять без перегрузки до 7,2 мм осадков, выпавших за 20 мин. Во время нерасчетных дождей нагрузка на ливневую канализацию значительно возрастает. Такие дожди являются

причиной подтопления территорий и выхода на поверхность сточных вод вследствие переполнения трубопроводов.

На рис. 3 представлено изменение максимальной интенсивности осадков (мм/мин) за 20 минут. Несмотря на очень большую изменчивость этой характеристики, существует тенденция к ее возрастанию. В 2015 г. было отмечено ее экстремальное значение – 1 мм в мин. В этом же году было перекрыто значение многолетнего суточного максимума. Предыдущее значение составляло 76 мм, обновленный максимум составил 89 мм.

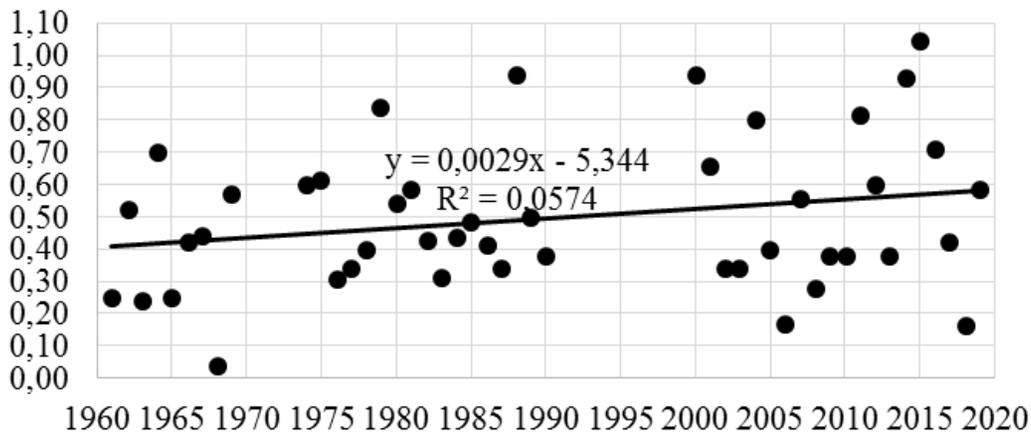


Рис. 3. Изменение максимальной интенсивности осадков (мм/мин) за 20 мин для Санкт-Петербурга

На рис. 4 представлены карты распределения суточного максимума осадков и максимальных сумм осадков, выпавших за 20 мин, построенные по данным осадкомеров PLUVIO за 2015-2019 гг. (данные были получены от ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»).

Неравномерное распределение максимальных сумм осадков объясняется комплексным воздействием близкой водной поверхности, рельефа местности и городской среды.

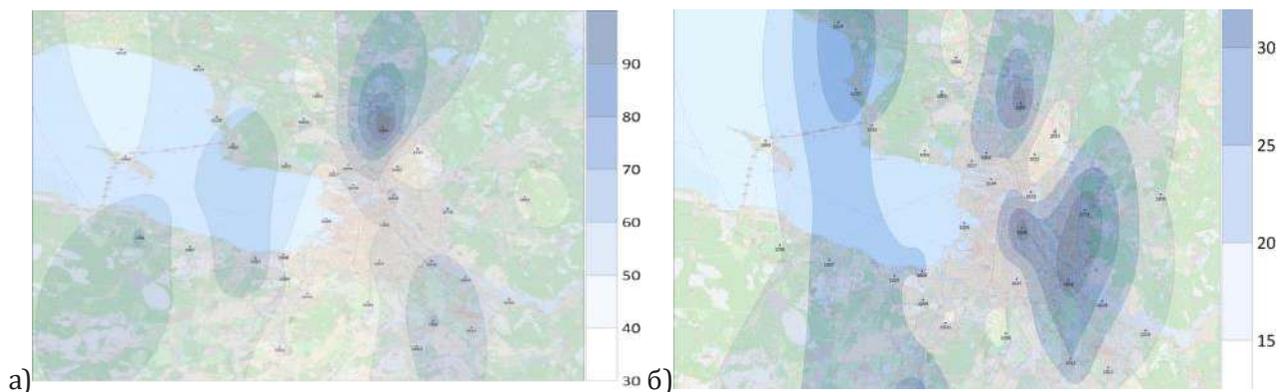


Рис. 4. Распределение осадков за 2015-2019 гг. для г. Санкт-Петербург:  
а) Распределение суточного максимум осадков, мм;  
б) распределения максимальных сумм осадков, выпавших за 20 мин, мм

Будущие изменения климата для северо-запада России, включая территорию Санкт-Петербурга, были спрогнозированы на основе ансамблевых расчетов, с помощью системы моделей глобального и регионального климата. Были проведены тридцать экспериментов по сценарию RCP 8.5 МГЭИК, различающихся по начальным условиям атмосферы и подстилающей поверхности суши, для двух периодов в XXI в. (2050-2059 гг. и 2090-2099 гг.). В качестве базового периода выбрано десятилетие 1990-1999 гг. Ключевая роль в исследовании принадлежит региональной климатической модели Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (РКМ ГГО), имеющей высокое пространствен-

ное разрешение, которое в сочетании с достаточно большим размером ансамбля дает возможность исследовать изменения опасных климатических явлений большой интенсивности и высокой степени локализации.

Наиболее выраженные изменения температуры приземного воздуха и осадков прогнозируются по всей территории Санкт-Петербурга зимой (рис. 6). К середине века для температуры эти изменения колеблются в пределах 4-5°С в восточной части района, а для осадков в пределах 20-40 % на северо-западе. К концу XXI в. ожидаемые изменения температуры и осадков возрастут в два раза по отношению к 2050-2059 гг.

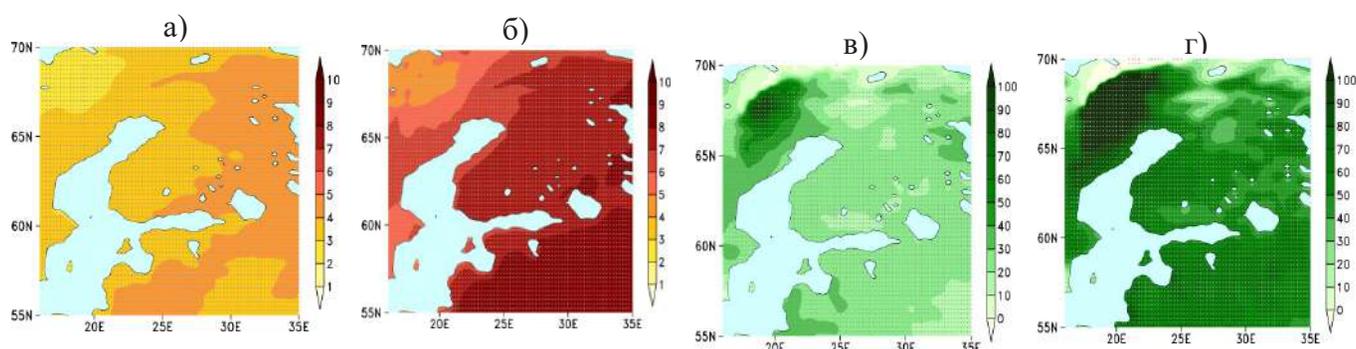


Рис. 6. Изменения температуры приземного воздуха и осадков для зимнего периода по данным РКМ ГГО: а) Изменения температуры на середину XXI в., °С; б) Изменения температуры на конец XXI в., °С; в) Изменения осадков на середину XXI в., %; г) Изменения осадков на конец XXI в., %.

Продолжительность безморозного периода (рис. 7а,б) увеличится до 20 и 40 дней в середине и конце XXI в. соответственно. Прогнозируется, что количество дней со снежным покровом уменьшится

более чем на 30 дней на севере к 2050-2059 гг. а концу столетия снежный покров исчезнет на большей части северо-запада России (рис. 7в,г).

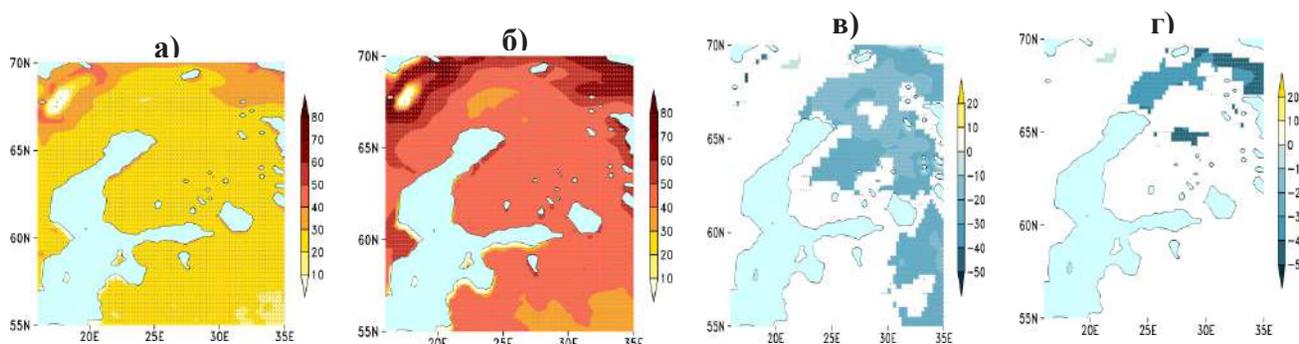


Рис. 7. Изменения продолжительности безморозного периода и числа дней со снежным покровом по данным РКМ ГГО: а) Изменения продолжительности безморозного периода на середину XXI в., °С; б) Изменения продолжительности безморозного периода на конец XXI в., °С; в) Изменения числа дней со снежным покровом на середину XXI в., %; г) Изменения числа дней со снежным покровом на конец XXI в., %.

Так же в ходе работы над проектом RAINMAN было выполнено мезоклиматическое районирование территории Санкт-Петербурга. В его основе лежит районирование по параметру, наиболее зависимому от условий подстилающей поверхности. В данном случае это продолжительность безморозного периода. При оценке климатических особенностей различных районов Санкт-Петербурга учитывались следующие природные и антропогенные факторы, формирующие различные мезоклиматы: рельеф местности, тип и механический состав почвы, влияние акватории Финского залива, местоположение метеорологических станций и эффект урбанизации, т.е. искажающее влияние самого города на естественный

для данного района ход метеорологических элементов.

На территории Санкт-Петербурга выделено 11 мезоклиматических районов. В табл. 1 приведены некоторые количественные значения климатических характеристик для районов, выделившихся в центральной части Санкт-Петербурга.

Таким образом, наблюдаемые климатические изменения выражаются в постепенном росте температуры воздуха и почвы, прежде всего в зимний и весенний периоды, некотором увеличении годовой суммы осадков при одновременном значительном возрастании доли жидких осадков в годовой сумме, уменьшении снегозапасов.

Таблица 1. Мезоклиматические районы для центральной части Санкт-Петербурга

№ района	Мезоклиматические районы	Даты первого и последнего заморозка на поверхности почвы		Продолжительность безморозного периода на поверхности почвы (дни)
		последнего весной	первого осенью	
1	Центр города	7-9.V	5-8.X	150-155
2	Южное побережье Финского залива, низменные равнины	9-15.V	2-5.X	140-150
6	Северный и правобережный р.Невы, равнины, низменности	17-23.V	24-28.IX	125-135
7	Южный, равнины	12-17.V	28.IX-3.X	135-145

Изменения климата в целом негативно влияют на системы управления водными ресурсами. Рост температуры воздуха и почвы, вероятно, приведет к негативным физико-химическим и биохимическим процессам, способным нарушить несущую способность грунтов и вызвать аварийные ситуации. Увеличение количества осадков и их интенсивности может привести к значительному увеличению нагрузки на дренажные системы и гидротехниче-

ские сооружения, вызывая затопление городских территорий, в результате чего ухудшится их санитарное состояние. В связи с ростом сумм атмосферных осадков, а также увеличивающимся объемом сброса поверхностных сточных вод водопользователями, происходит превышение фактического уровня воды в каналах над проектным, что так же является одной из причин затопления и подтопления территории города.

*Работа выполнена в рамках проекта приграничного сотрудничества с Финляндией «Повышение адаптационного потенциала при управлении городскими водными ресурсами» (RAINMAN), 2019-2021 гг.*

### Библиографический список

1. Климат Санкт-Петербурга и его изменения. СПб, 2010. 255 с.
2. Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. СПб, 2017. 162 с.

3. Микроклиматические особенности различных районов Санкт-Петербурга. // Общество-среда-развитие. СПб.: ЦНИТ «Астерион», 2009. №3. С.130-144.
4. Фасолько Д.В., Акентьева Е.М., Ключева М.В., Задворных В.А. Анализ влияния наблюдаемых изменений климата на функционирование систем водоотведения и водоочистки Санкт-Петербурга. Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». СПб, 2019. С. 871-874.

УДК 551.521.1

М.Ю. Червяков, chervyakovmu@mail.ru

*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия*

### **СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ РАДИОМЕТРА ИКОР-М**

В статье обсуждаются некоторые итоги десятилетних наблюдений радиометрами ИКОР-М, установленных на бортах гидрометеорологических спутников серии «Метеор-М». Описываются основные характеристики и принципы работы измерителей. Приводятся результаты расчетов потоков отраженной коротковолновой, поглощенной солнечной радиации и величин альbedo для различных регионов Земли, на примере тропической части Тихого океана, зон развития муссонной циркуляции и арктического региона.

*Ключевые слова:* радиационный баланс Земли, радиометр, ИКОР, коротковолновая радиация, альbedo, поглощенная солнечная радиация.

M.Yu. Chervyakov, chervyakovmu@mail.ru

*Saratov State University, Saratov, Russia*

### **SATELLITE MONITORING OF THE EARTH'S RADIATION BALANCE ACCORDING TO THE IKOR-M RADIOMETER**

The article describes some of the results of 10-years observations by the IKOR-M radiometers installed on meteorological satellites «Meteor-M». The main characteristics and principles of radiometers operation are described. The results of calculations of reflected shortwave, absorbed solar radiation fluxes and albedo values for different regions of the Earth are presented for different area of Earth especially tropical Pacific Ocean, monsoon circulation zones and the Arctic region.

*Keywords:* Earth radiation balance, radiometer, IKOR, short-wave radiation, albedo, absorbed solar radiation.

Компоненты радиационного баланса Земли (РБЗ) не только оказывают воздействие на климатическую систему, но и показывают, как система реагирует на это воздействие.

Для исследования изменений в климатической системе особенно важно получение данных о составляющих РБЗ в глобальном масштабе, а это возможно, прежде всего, с искусственных спутников Земли.

В 2009 г. в России стартовал спутниковый проект по измерению составляющих РБЗ на верхней границе атмосферы с использованием радиометра ИКОР-М (измеритель коротковолновой отраженной радиации), установленный на гидрометеорологическом спутнике «Метеор-М» № 1. Данный прибор был сконструирован профессором Ю.А. Скляровым (1931-2014 гг.) [2, 3].

© М.Ю. Червяков, 2020

Позже, в 2014 г., был запущен в космос спутник «Метеор-М» № 2, на борту которого установлен второй радиометр ИКОР-М. В настоящее время, результаты спутниковых измерений в первую очередь поступают в Научный центр оперативного мониторинга Земли, затем в Лабораторию исследования составляющих РБЗ СГУ им. Н.Г. Чернышевского. За почти десятилетнюю работу измерителей собран обширный массив данных по отдельным элементам РБЗ, который позволил провести ряд исследований изменчивости земной климатической системы. Оценивались пространственно-временные вариации величин альbedo и поглощенной солнечной радиации (ПСР) для различных регионов Земли, таких как Амазонская низменность, район воздействия Юго-Восточного азиатского муссона, пустыни Сахара и др. [4-6].

Для изучения пространственно-временных вариаций составляющих РБЗ использовались данные измерений двух радиометров ИКОР-М. Эти приборы предназначены для измерения потоков отраженной коротковолновой солнечной радиации в диапазоне 0,3-4 мкм, в который входят: часть ультрафиолетовой радиации, весь видимый спектр и часть ближней инфракрасной радиации. Результаты регистрации такого спектра отраженной солнечной радиации позволяют получать величины альbedo и ПСР, отнесенные к верхней границе атмосферы (ВГА).

В результате работы первого радиометра ИКОР-М возникла необходимость провести анализ возможного изменения его способности корректного измерения потоков отраженной солнечной радиации. Оказалось, что в течение времени приемный элемент радиометра уменьшает свою чувствительность. Такое изменение могло возникнуть в результате снижения прозрачности стеклянного фильтра из-за загрязнения его поверхности пылью или другими мелкими частицами.

Относительно малая величина изменения чувствительности позволила учесть ее во время обработки измерений радиометра. Для оценки изменения чувствительности подходят безоблачные участки земной поверхности. В качестве подобного тестового участка был выбран район в пустыне Сахара. В результате анализа величин альbedo для этого участка был выявлен линейный тренд, который был учтен при дальнейших расчетах [1].

Как уже отмечалось ранее, с 2014 г. и по сей день на борту ИСЗ «Метеор-М» № 2 работает измеритель ИКОР-М, аналогичный запущенному в 2009 г. Он функционирует уже примерно пять лет, в течение которых не возникло никаких существенных проблем с регистрацией потоков отраженной коротковолновой солнечной радиации. Информация со спутника передается в штатном режиме и оперативно пополняет базы данных о составляющих РБЗ.

Радиометры ИКОР-М, установленные на гидрометеорологических спутниках серии «Метеор-М», идентичны. Оба прибора являются надирными, со скоростью регистрации потоков отраженной коротковолновой радиации 1 раз в секунду. Так как оба измерителя были установлены на гелиосинхронных спутниках с похожими параметрами орбиты, то алгоритм и методика обработки результатов у них одинаковы.

В августе 2014 г. «Метеор-М» № 1 и 2 работали совместно, что позволило установить соответствие шкал исследуемых приборов. В результате сравнения данных был рассчитан коэффициент для приведения величин потоков отраженной коротковолновой радиации и значений альbedo, полученных по измерениям ИКОР-М первого спутника, к шкале измерителя второго. Таким образом, непрерывные наблюдения составляющих РБЗ длятся уже примерно 10 лет. Это самый продолжительный ряд спутниковых наблюдений за указанными характеристиками в России, и один из самых продолжительных в мире.

Основной результат обработки данных наблюдений представлен в виде глобальных карт распределения альbedo, потоков отраженной и поглощенной солнечной радиации. В качестве примера, приведена карта распределения альbedo в марте 2014 г. (рис. 1).

Изучение составляющих РБЗ в тропической части Тихого океана, позволяет производить мониторинг событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья), которые хорошо проявляются в поле величин альbedo и ПСР [7].

Анализ карт среднемесячных распределений величин альbedo на верхней границе атмосферы обнаруживает резкий контраст между значениями альbedo в высоких и средних широтах северного и южного полушарий. Например, в тропиках наиболее высокие значения альbedo наблюдаются над пустынями, такими как Сахара и Аравийская (30-40 %). В зонах конвективной облачности над акваториями океанов, например, во внутритропической зоне конвергенции, величины альbedo также велики. Так, в восточной части Тихого океана севернее экватора альbedo 25-35 %. В южном полушарии наблюдается зональный ход распределения альbedo вследствие преобладания здесь океана. Наиболее высокие значения альbedo находятся в полярных широтах северного и южного полушарий, где расположены снежные и ледяные поля. Наибольшие значения альbedo в тропической зоне в летнее время наблюдаются над регионом Юго-Восточной Азии, где они достигают 50 %. Эта область характеризуется постоянством высоких значений альbedo в течение летних месяцев. Данный феномен можно объяснить регулярным действием Азиатского летнего муссона, во время которого развивается мощная кучево-дождевая облачность.

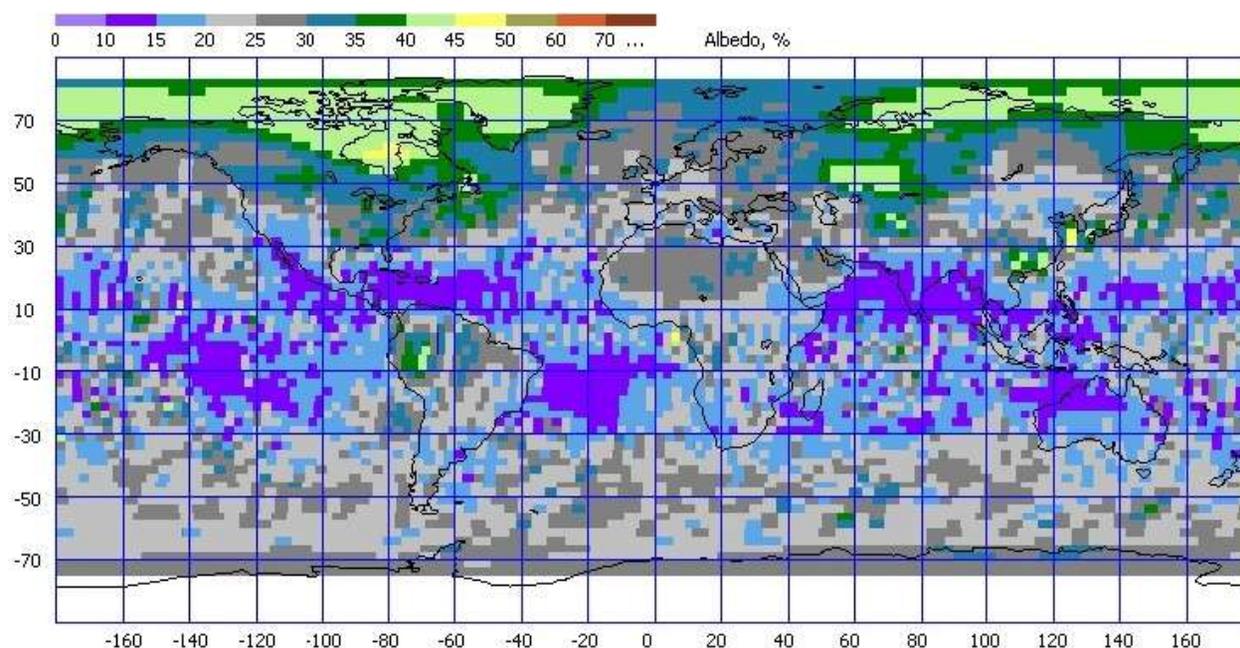


Рис. 1. Карта распределения альbedo (март 2014 г.)

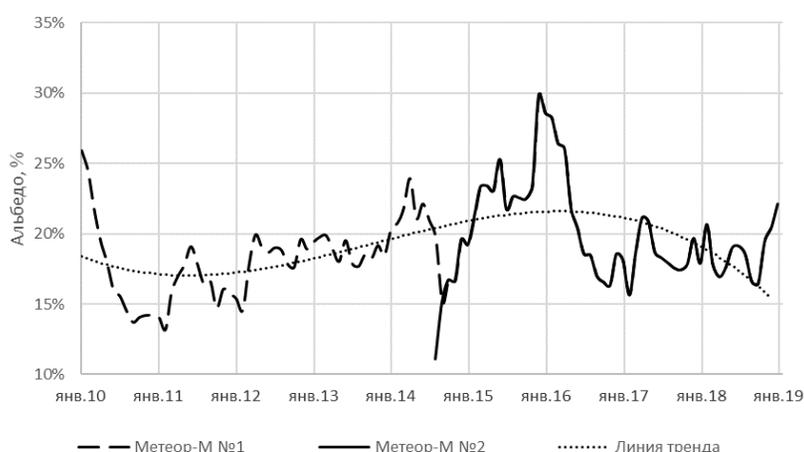


Рис. 2. Временной ход значений альbedo в регионе Niño 4 в 2010-2019 гг.

Используя данные поглощённой солнечной радиации и альbedo, полученные с помощью радиометров ИКОР-М, была оценена возможность обнаружения явления Эль-Ниньо (ЭН) в Тихом океане. Для анализа был использован ряд спутниковых данных альbedo и ПСР с января 2010 по январь 2019 гг.

Анализ имеющегося архива карт распределения среднемесячных величин альbedo выявил хорошо прослеживающийся годовой ход значений альbedo в экваториальной части Тихого океана. Зимой наблюдается повышение значений альbedo до 15-20 % – в центре Тихого океана, до 30 % – на западе, а летом прослеживается уменьшение в этих областях. На востоке океана годовой ход величины альbedo

противоположен: в январе-феврале значения понижаются до 15-20 %, летом в данном регионе наблюдаются высокие значения – до 35 %.

Для более детального анализа пространственно-временных вариаций составляющих РБЗ были рассчитаны среднемесячные величины альbedo и поглощенной солнечной радиации (ПСР) для стандартных регионов мониторинга Эль-Ниньо (Ла-Нинья), расположенных в экваториальной части Тихого океана. Обычно выделяют пять областей, для которых оценивают интенсивность этих событий, они условно называются Niño1, Niño2, Niño3, Niño4 и комбинированный регион Niño 3.4.

Для расчета среднемесячных величин по данным регионам была использована программа редактирования и анализа полей для ИКОР «IKOR Fields Editor». В случае отсутствия данных измерений производилась временная интерполяция для каждого рассматриваемого региона.

Проведенный анализ величин альbedo и ПСР для стандартных областей Nino с 2010 по 2019 гг. позволил установить наиболее показательные регионы для выявления события ЭН. Такими регионами оказались Nino 4 и Nino 3.4. В качестве примера, на рис. 2 представлена изменчивость величин альbedo за рассматриваемый период для региона Nino 4. Значения средне-

месячных величин альbedo в данном регионе во время событий ЭН достигали 25-30 %, при среднем значении 16 %.

Изменение значений поглощенной радиации для данного региона также ярко выражено. Наблюдается понижение до 314 Вт/м<sup>2</sup> в январе 2010 г., до 304 Вт/м<sup>2</sup> в июне 2015 г. и в декабре 2015 г. (при среднем значении для данной территории – 350 Вт/м<sup>2</sup>).

Исходя из проведенного анализа, можно сделать заключение о том, что среднемесячные величины альbedo и ПСР для регионов мониторинга Эль-Ниньо могут быть использованы для определения фаз развития и интенсивности таких аномалий в Тихом океане.

### Библиографический список

1. Богданов М.Б., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю. Связь шкал измерителей коротковолновой отраженной радиации ИКОР-М ИСЗ «Метеор-М» № 1 и № 2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016. Т. 13, № 4. С. 252-260.
2. Скляров Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Алгоритм обработки данных наблюдений уходящей коротковолновой радиации с ИСЗ «Метеор-М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т.9. № 3. С. 83-90.
3. Скляров Ю.А., Воробьев В.А., Котума А.И., Червяков М.Ю., Фейгин В.М. Измерения компонентов радиационного баланса Земли с ИСЗ «Метеор-М» № 1. Аппаратура ИКОР-М // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2012. Т.9. № 2. С. 173-180.
4. Скляров Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьев В.А., Котума А.И., Фейгин В.М. Некоторые результаты обработки данных поглощенной солнечной радиации и альbedo, полученных с помощью аппаратуры ИКОР-М // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле, 2013. Вып. 2. Т. 13. С. 30-33.
5. Скляров Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьев В.А., Котума А.И., Фейгин В.М. Особенности распределения поглощенной солнечной радиации в 2010 – 2012 годах по данным с ИСЗ «Метеор – М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2013. Т. 10. № 2. С. 272-283.
6. Скляров Ю.А., Червяков М.Ю., Воробьев В.А., Котума А.И., Фейгин В.М. Особенности распределения альbedo в 2010 – 2012 годах по данным с ИСЗ «Метеор – М» № 1 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2013. Т. 10. № 4. С. 107-117.
7. Червяков М. Ю., Спиряхина А. А. Мониторинг событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья) в Тихом океане по данным спутниковых радиометров ИКОР-М // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Науки о Земле, 2019. Т. 19. Вып. 1. С. 35-41.

УДК 551.515.6

В.В. Чурсин, И.В. Кужевская, skriptym@mail.ru

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

## ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ГРОЗОВЫХ ЯЧЕЕК ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В работе рассмотрена возможность использования данных микроволновой интегрированной восстанавливающей системы (MiRS) расширенных дополнительными расчетными параметрами атмосферы и алгоритма машинного обучения (XGBoost) для детектирования грозových ячеек.

*Ключевые слова:* Западная Сибирь, машинное обучение, дистанционное зондирование.

V.V. Chursin, I.V. Kuzhevskaja, skriptym@mail.ru

*National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

## DETECTING OF THUNDERSTORM CENTERS USING BY SATELLITE REMOTE SENSING

The paper considers the possibility of using MiRS data extended by additional computed atmospheric parameters and the machine learning algorithm (XGBoost) for the detection of thunderstorm cells.

*Keywords:* Western Siberia, machine learning, remote sensing.

В настоящее время отмечается растущая потребность хозяйственных подразделений в информации о различных метеоэлементах, особенно об опасных и неблагоприятных погодных явлениях (ОЯ). Интенсивное развитие в строительстве инженерных сооружений, освоение природных ресурсов, модернизации транспортных сетей и рост сельскохозяйственной активности требуют все более тщательного подхода при прогнозировании и диагнозе ОЯ, в частности зон возможного развития грозových ячеек. Согласно статистике, вероятность поражения человека молнией в течение жизни составляет 1:3000 (для территории США) [2]. Хотя вероятность и кажется достаточно малой, однако, например, на территории США в период между 1995 и 2008 гг. от удара молний погибли 648 человек. Точное диагностирование грозových ячеек в свою очередь невозможно без привлечения дистанционных методов исследования и современных методик и физико-математических алгоритмов [3].

Одним из наиболее востребованных дистанционных методов исследования атмосферы является спутниковое зондирование Земли. В настоящей работе были использованы данные микроволновой интегрированной восстанавливающей системы (MiRS) с 13 мая по 27 июня 2019 г., предоставленные Сибирским центром Научно-исследовательского центра космиче-

ской гидрометеорологии «Планета» [1].

The Microwave Integrated Retrieval System (MiRS) – это итеративный физический одномерный алгоритм восстановления (1DVAR), принцип которого заключается в минимизации функции потерь из двух источников. Эта функция состоит из отклонения моделируемых излучений от фактических измерений и отклонения найденных параметров от их соответствующих фонов. Процесс восстановления выполняется в ограниченном пространстве и ожидает несколько степеней свободы, чтобы обеспечить баланс между стабильностью матрицы и оптимальным извлечением полезной информации. Система MIRS была разработана, чтобы быть гибким инструментом восстановления / ассимиляции и поэтому подходит для применений в микроволновом зондировании, а также в других областях спектра, хотя в основном применяется только к приборам миллиметровых частот. Эти функции в сочетании с усовершенствованной моделью радиационного переноса (CRTM), используемой в качестве прямого оператора, позволяют MIRS быть передовым алгоритмом, легко применимым к текущим и будущим датчикам, как зондирующим, так и визуальным.

Метеорологические спутники способны обеспечивать наблюдения с помощью дистанционного зондирования внутри и вокруг зон развития грозových ячеек с вы-

соким горизонтальным, вертикальным и/или временным разрешением. Особый интерес для наблюдений таких ячеек и их численного прогнозирования представляют инфракрасные и микроволновые приборы. Полярно-орбитальный спутник обеспечивает глобальные измерения излучения в микроволновой и инфракрасной областях до двух раз за сутки. Инфракрасный радиометр чрезвычайно полезен для измерения отражаемости в многоканальном режиме для профилирования температуры воздуха и водяного пара с высоким вертикальным разрешением [4, 5]. Однако инфракрасные каналы не могут проникать сквозь облака, за исключением оптически тонких облаков (например, перистых), в то время как грозовые ячейки представляют из себя в основном плотные кучево-дождевые облака. Напротив, микроволновые приборы не обеспечены таким количеством каналов как инфракрасные радиометры, но могут обеспечить измерения отражаемости для профилирования атмосферной температуры и водяного пара практически во всех погодных условиях, за исключением сильных осадков [6]. Следовательно, микроволновые приборы являются незаменимыми для наблюдения за зонами развития гроз, занятыми облачностью, а инфракрасные радиометры важны для наблюдения за окружающими безоблачными зонами.

Для разработки алгоритма детектирования грозовых ячеек необходимо два массива данных. Первоначально был собран массив, включающий в себя фактические данные об метеорологических явлениях со 134 станций Западной Сибири за 8 метеорологических сроков в период с 13 мая по 27 июня 2019 г. (ВНИИГМИ-МЦД [2]) с присвоением географических координат метеорологических станций на которых наблюдались погодные явления. В итоге мы получаем массив, содержащий в себе координаты станции, дата, время и шифр явления. Из него мы отбираем только «грозы» и «грозы в окрестности» (шифр 80, 81) и присваиваем этим строкам идентификационный номер (1), всем остальным присваиваем (0).

По значениям приземного давления, температуры воздуха и удельной влажности рассчитанной системой MiRS, дополнительно нами были рассчитаны следующие величины:

- Относительная влажность на 1000гПа; 850гПа; 700гПа и 500гПа.
- Температура точки россы на

1000гПа; 850гПа; 700гПа и 500гПа.

- Дефицит точки россы на 1000гПа; 850гПа; 700гПа и 500гПа.
- Vertical Totals.
- Cross Totals.
- Total Totals.
- K index.
- Нижняя граница конвективной облачности (Среднее из 3 методов: Селзнева, Феррель, Ипполитова).
- Сумма дефицитов точки россы по 4 уровням.
- Разность температуры на 850 гПа и частицы поднятой до этого уровня по влажной адиабате с 1000гПа.
- Разность температуры на 700 гПа и частицы поднятой до этого уровня по влажной адиабате с 1000гПа.
- Разность температуры на 500 гПа и частицы поднятой до этого уровня по влажной адиабате с 1000гПа
- Среднее значение от 3 предыдущих переменных.

Затем формировался второй массив данных спутникового зондирования путем осреднения значений над каждой метеорологической станцией с радиусом 0,2° (десятичная система) за каждые 3 часа с космических аппаратов MetopB, Suomi NPP, NOAA-19. В случае перекрытия зон зондирования несколькими спутниками, отбиралось их среднее значение.

После создания вышеописанных массивов было произведено их слияние по дате, времени и географическим координатам, что позволило нам получить полноценный массив, содержащий в себе идентификационный номер наличия/отсутствия грозы и соответствующие им физические характеристики атмосферы.

Следующим шагом идет выбор алгоритмов и его обучение для возможности детектирования гроз. Было решено использовать градиентный бустинг, а именно «XGBoost classifier». В основе XGBoost лежит алгоритм градиентного бустинга деревьев решений. Градиентный бустинг – это техника машинного обучения для задач классификации и регрессии, которая строит модель предсказания в форме ансамбля слабых предсказывающих моделей, обычно деревьев решений. Обучение ансамбля проводится последовательно. На каждой итерации вычисляются отклонения предсказаний уже обученного ансамбля на обучающей выборке. Следующая модель, которая будет добавлена

в ансамбль, будет предсказывать эти отклонения. Таким образом, добавив предсказания нового дерева к предсказаниям обученного ансамбля, мы можем уменьшить среднее отклонение модели, которое является «таргетом» оптимизационной задачи. Новые деревья добавляются в ансамбль до тех пор, пока ошибка уменьшается, либо пока не выполняется одно из правил «ранней остановки» [7].

Для обучения и тестов полученных моделей диагноза грозовых ячеек было сгенерировано три набора данных для тестов.

Генерация первой выборки осуществляется путем выполнения следующей последовательности:

1. Из итогового массива выбираются строки, содержащие идентификационный номер наличия грозы (1).
2. По выбранным строкам рассчитывается среднее значение каждого параметра атмосферы и стандартное отклонение.
3. Рассчитывается нижний и верхний пороги для последующей фильтрации (среднее  $\pm$  2 стандартных отклонения).
4. Производим фильтрацию каждой переменной в соответствии с расчётным нижним и верхним пределом на оставшихся после первого пункта строках (без гроз).
5. Получаем 7229 строк, подходящих под параметры, но без фиксирования грозы и 506 строк, когда гроза была зафиксирована на станции.

6. Поскольку выбора несбалансированная, искусственно увеличиваем случаи с грозой до 7000 путем дублирования.

7. Производим слияние двух массивов (гроза/без грозы) и перемешиваем в случайном порядке.

8. Сформированный массив подаем для обучения и тестирования точности (делим выборку на обучающую и тестовую 70/30 %).

Вторая выборка составлялась путем выбора всех случаев без грозы и всех случаев с грозой без модификаций.

Третья выборка составлялась путем выявления эксклюзивных значений. (поскольку в один и тот же срок может быть записано несколько явлений, целесообразно выбрать только эксклюзивные: 1 срок – 1 явление).

Обучение производилось неклассическим способом. Производим перебор глубины дерева, количества слоев, и градиента, но точность оцениваем не по тестовой выборке из первого сгенерированного массива (30 %), а по второй (без модификаций) выборке.

Точность обнаружения грозовых ячеек достигается достаточно быстро, но количество ложных срабатываний велико на ранних этапах, поэтому целесообразно строить глубокую и сложную модель.

Из полученных путем перебора моделей выбрано три с наилучшими показателями точности и разной структурой (параметры моделей приведены в табл. 1).

Таблица 1. Оценки точности полученных моделей на сгенерированных выборках

XGBoost	Метрика	Модель 1 Глубина дерева:6 Количество деревьев: 12000	Модель 2 Глубина дерева:7 Количество деревьев: 10000	Модель 3 Глубина дерева:8 Количество деревьев: 10000
Обучение	Accuracy	0,980	0,980	0,980
	Precision	0,960	0,960	0,960
	recall	1,000	1,000	1,000
	F-мера	0,980	0,980	0,980
Тестовая	Accuracy	0,948	0,953	0,951
	Precision	0,902	0,910	0,907
	recall	1,000	1,000	1,000
	F-мера	0,948	0,953	0,951

XGBoost	Метрика	Модель 1 Глубина дерева:6 Количество деревьев: 12000	Модель 2 Глубина дерева:7 Количество деревьев: 10000	Модель 3 Глубина дерева:8 Количество деревьев: 10000
Выборка 2	Accuracy	0,992	0,991	0,992
	Precision	0,717	0,699	0,724
	recall	1,000	1,000	1,000
	F-мера	0,835	0,823	0,840
Выборка 3	Accuracy	0,995	0,996	0,995
	Precision	0,976	0,981	0,976
	recall	1,000	1,000	1,000
	F-мера	0,988	0,990	0,988

Как видно из таблицы, рассчитываемые параметры атмосферы и предложенная методика обучения моделей, применимо к MiRS, дают достаточно высокие показатели оправданности диагноза грозовых ячеек, что, в свою очередь, при

значительном пространственном и временном разрешении, может положительно сказаться на обнаружении гроз в регионах, которые не имеют аэрологического или радиолокационного обеспечения.

#### Библиографический список

1. Сибирский центр Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии «Планета» [Электронный ресурс] URL: <https://rcpod.ru/cgi-bin/prod.pl?Srcs=1366!768&r=0.13331125515261566>.
2. Специализированные массивы данных ВНИИГМИ-МЦД. [Электронный ресурс] URL: <https://http://meteo.ru/data>.
3. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. Гидрометеиздат, СПб. 2005, 489 с.
4. Chen H., Zhang D.-L. On the rapid intensification of Hurricane Wilma 2005. Part II: Convective bursts and the upper-level warmcore //J. Atmos. Sci., 2013. 70. P.146-162.
5. Chen T., Singh S., Taskar B., and Guestrin C. Efficient second-order gradient boosting for conditional random fields. //In Proceeding of 18th Artificial Intelligence and Statistics Conference (AISTATS'15), volume 1, 2015.
6. Flash Facts About Lightning // National Geographic News, June 24, 2005.
7. Hilton, F., et al. Hyperspectral Earth observation from IASI: Five years of accomplishments // Bull. Am. Meteorol. Soc., 2012. 93(3). P. 347-370.
8. Weng F., Zhao L., Ferraro R.R., Poe G., Li X., and Grody N.C. Advanced microwave sounding unit cloud and precipitation algorithms, Radio Sci., 2003. 38 (4). 8068.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ В БАРОКЛИННОЙ АТМОСФЕРЕ**

В обзорной статье представлена двумерная математическая модель, описывающая мезомасштабные процессы в терминах средней поперек слоя функции тока, вихря скорости, температуры, влажности и концентрации примеси в нижнем слое атмосферы с учетом шероховатости, температурной неоднородности и влажности подстилающей поверхности. Приводятся примеры расчетов антропогенного воздействия на движение воздуха и распространения вредных примесей.

*Ключевые слова:* пограничный слой атмосферы, метеорологические параметры, двумерная модель, численное решение, перенос примеси.

**MATHEMATICAL MODEL OF MESOSCALE IMPURITY TRANSFER  
PROCESSES IN THE BAROCLINIC ATMOSPHERE**

The review article presents a two-dimensional mathematical model describing mesoscale processes in terms of the average across the layer stream function, the velocity vortex, temperature, humidity, and impurity concentration in the lower atmosphere layer, taking into account the roughness, temperature in homogeneity and humidity of the underlying surface. Examples of calculations of anthropogenic impact on air movement and the spread of harmful impurities are given.

*Keywords:* atmospheric boundary layer, meteorological parameters, two-dimensional model, numerical solution, impurity transfer.

To describe real vortex flows in geophysical objects, it is necessary to take into account the mutual influence of movements of all excited scales. A complete solution to this problem is currently problematic, which forces us to simplify the equations of motion as much as possible. One of these approaches is two-dimensional mathematical modeling, which is successfully used to study mesoscale turbulent processes in the lower layer of the atmosphere. For these processes we believe that the characteristic horizontal scale  $L$  has the order of 10-100 km and the vertical one  $D$  is about 1000 m, the time scale is about  $10^3$ - $10^5$  s. Turbulent processes with these characteristics are the transition from small scale to large scale. Local air movement in the lower layer of the atmosphere occurs against the background of large-scale processes. On the other hand, it is determined by the heterogeneity of the underlying surface, such as roughness, soil temperature, and other small-scale factors. Usually, in mathematical modeling of a mesoscale atmosphere, small-scale processes are parameterized in equations, and large-scale processes are used as initial and boundary conditions. The interaction of the impurity with the underlying surface and the presence of pollution sources

are taken into account in a parameterized form in the same way.

As a starting point, we take the system of equations for hydrothermodynamics of mesoscale processes for a wet atmosphere in a rotating three-dimensional Cartesian coordinate system Oxyz. The system includes equations of motion, continuity, heat inflow, as well as the equation of mass transfer of water vapor and impurity transfer [1]. The initial conditions, including the velocity and direction of the geostrophic wind, the temperature and humidity of the underlying surface, as well as the boundary conditions, are described in [4]. The method for calculating temperature and humidity, heat flow, humidity flow, and impurity flow from the underlying surface is described in [5].

We derive a two-dimensional model based on the local-equilibrium approach [2] using the method described in detail in the monograph [6]. We limit ourselves to considering mesoscale processes, and assume that

$$\delta = D/L < 1, t > t_r, (1)$$

where  $D$  is the height of the layer,  $L$  is the horizontal scale of movement,  $t$  is the characteristic time of equilibrium states, and  $t_r$  is the time of relaxation of air currents to the state of equilibrium when external conditions change. Let's define a function  $Q = \theta(1 + 0,6 q)$ , where  $\theta$  is the potential temperature and  $q$  is the mass content of water vapor in the air. Let's enter a dimensionless variable  $\zeta = z/D$  and denote the average value across the layer  $\langle g \rangle = \int_0^1 g(t, x, y, \zeta) d\zeta$ .

Choose as units of measurement of length, velocity, time, temperature and humidity, respectively the length of the site  $L$ , the geostrophic wind velocity at the upper free

boundary of the atmospheric boundary layer  $c_g$ ,  $L/c_g$  and the maximum temperature difference and humidity  $\theta$  and  $\delta q$ , and also the maximum allowable concentration of impurities  $\varphi_{\text{PDK}}$ . Then in terms of the vorticity  $\omega(t, x, y)$ , the stream function  $\psi(t, x, y)$ , the average across the layer potential temperature  $\theta(t, x, y)$ , humidity  $q(t, x, y)$  and reduced to the dimension of the current function  $Q(t, x, y) = \beta D \langle Q \rangle / 2l$  ( $l$  is the Coriolis parameter,  $\beta$  is buoyancy parameter), and the average across the layer of impurity concentration of  $c(t, x, y)$  the equations of mathematical models for the description of mesoscale processes in the lower atmospheric layer in dimensionless form have the following view:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + k_1 \{\psi, \omega\} + k_3 R [\{Q, \omega\} + \{\psi, \Delta Q\}] - k_5 R^2 \{Q, \Delta Q\} = \frac{1}{R} \Delta \omega - \mu(k_7 \omega - k_8 R \Delta Q), \tag{2}$$

$$\Delta \psi = \omega, \tag{3}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \{\psi, \theta\} = \frac{1}{P} \Delta \theta - \bar{q}(\theta - \bar{\theta}_s), \tag{4}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \{\psi, q\} = \frac{1}{P} \Delta q - \bar{r}(q - \bar{q}_s), \tag{5}$$

$$Q = \theta(1 + 0,6 q). \tag{6}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \{\psi, c\} = \frac{1}{P_s} \Delta c - \bar{c} + A \sum_{j=1}^m \bar{f}_j \delta(x - x_j) \delta(y - y_j), \tag{7}$$

where  $\{\psi, \omega\} = \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial y} - \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial x}$  is

Jacobian,  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$  is Laplace operator,

$\mu = k_g/L$  is dimensionless coefficient of friction of the underlying surface,  $R = c_g L/A_M$  is the Reynolds number ( $A_M$  is constant coefficient of horizontal turbulent viscosity)

and  $R = \beta D \delta Q / 2k_g L$ ,  $\delta Q = \delta[\theta(1 + 0,6 q)]$ ,  $\bar{q} = q_1 c_g / L$  is the dimensionless ratio of cooling rates. The coefficient  $P = c_g L/A_T$  is the Peclet number ( $A_T$  is constant coefficient of horizontal turbulent thermal diffusivity),  $q_1 = \gamma_{T_1} k_T / D$  ( $k_T$  is constant coefficient of vertical turbulent thermal diffusivity,  $\gamma_{T_i}$  are coefficients of heat emission,  $i$  is rough surface type number),  $\bar{r} = r_1 c_g / L$  is the dimensionless

coefficient of moisture recovery,  $r_1 = \tilde{\alpha}_{q_i} k_q / D$  ( $k_q$  is constant coefficient of vertical turbulent transport of moisture,  $\gamma_{q_i}$  are coefficient of moisture recovery,  $i$  is rough surface type number). Coefficient  $\mathcal{P}_s = c_g L / A_p$  is the concentration Peclet number ( $A_p$  is constant coefficient of horizontal turbulent transport of impurity),  $\bar{\sigma} = \sigma + \alpha k_s / D$  is the absorption and transformation of impurities coefficient in the layer of air and the underlying surface,  $\sigma$  is coefficient taking into account the velocity of the transformation of admixtures in the atmosphere [3],  $\alpha$  is coefficient taking into account the vertical flow of contaminants,  $k_s$  is constant coefficient of vertical turbulent transport of pollution.

$$A = \left[ 1 - \frac{\alpha D}{\alpha D h(S) + S k(S)} \left( h(S) - \frac{k(S)}{S} \right) \right],$$

dimensionless parameter  $S^2 = \sigma D^2 / k_s$ ,

$\sum_{j=1}^m \bar{f}_j \delta(x - x_j) \delta(y - y_j)$  is intensity of surface

impurity sources,  $\bar{f}_j = f_j k_p L / c_g D \varphi_{\text{PDK}}$  is dimensionless powers,  $x_j, y_j$  are coordinates of sources and  $m$  is number of sources,  $f_j$  is power of the  $j$ -th impurity source.

Coefficients for nonlinear terms of equation (2) are calculated using the following formulas:

$k_1 = \Re \langle f_1 f_1 \rangle$  is the coefficient for the term that describes the normal transfer of vorticity;

$k_3 = \Re \langle f_1 f_2 \rangle$  is coefficient for a term describing the transfer of vorticity by "thermal wind with humidity" and the transfer of vorticity by "thermal wind with humidity»;

$k_5 = \Re \langle f_2 f_2 \rangle$  is coefficient for the term describing the transfer of "thermal wind with humidity vorticity" by the "thermal wind with humidity";

$$k_7 = \Re f_1'(1); \quad k_8 = \Re f_2'(1).$$

Basic functions that depend on the vertical coordinate

$$f_1(\zeta) = \frac{1}{1 - h(\lambda) / \lambda} \left[ 1 - \frac{h(\lambda) \lambda (\zeta - 1)}{h(\lambda)} \right],$$

$$f_2(\zeta) = \left[ \frac{h(\lambda) \lambda - 1}{\lambda^2 h(\lambda)} - \frac{1}{2} \right] f_1(\zeta) - \frac{h(\lambda) \lambda}{\lambda h(\lambda)} + \zeta,$$

$$\lambda = \frac{1+i}{\sqrt{2Ek}}, \quad i = \sqrt{-1}, \quad E = k_M / D^2 \text{ is the}$$

Ekman number [12],  $\Re$  is the real part of the number.

Using the mathematical model (2)-(7), calculations were performed with the help parallelized algorithms on a cluster supercomputer of Vyatka state university [13]. They showed that due to the influence of an inhomogeneous horizontal temperature gradient in the lower atmosphere, vortex movements are formed over localities. The disturbed wind field significantly affects to the nature of the impurity propagation in the vicinity of the sources.

In [7], we present the results of numerical calculations based on the derived two-dimensional model of impurity propagation from a powerful heat source (for example, oil ignition), taking into account the inhomogeneity of turbulent diffusion over and near the source. Calculations have shown that as a result of linear and nonlinear interaction of the inhomogeneous horizontal temperature gradient in the area of influence of the heat torch in the lower atmosphere, a powerful vortex motion is formed over the place of oil ignition. The generated wind field can significantly change the distribution pattern of the impurity propagation in the vicinity of the source. In [8], the transfer of an impurity in the boundary layer of the atmosphere was investigated in the presence of a powerful source of cold formed as a result of a large volume of evaporated liquid being spilled. Based on numerical experiments, it was found that when strongly cooled, vortex structures with a vertical axis of rotation are formed, the number of which varies from two to four. Turbulent diffusion of the impurity increases with increasing horizontal gradients of temperature and concentration of the contaminant.

In [9], the results of numerical modeling of the transport processes of pollutants released during peat burning in the vicinity of Krasnokamsk are presented. It is shown that the high power of the heat source bends the initial trajectory of the impurity, thereby influencing the overall direction of its movement.

In [10, 11], a two-dimensional model of the transfer of a living impurity (mold) from

a non-stationary source in the boundary layer of the atmosphere at the local level is described, taking into account the roughness, temperature inhomogeneity and humidity of the underlying surface.. The possibility of creating local monitoring systems for bioaerosols based on the developed model

is evaluated. Numerical simulation of the transport of micromycete spores was carried out with and without consideration of their reproduction, taking into account local air movement that occurs due to its temperature inhomogeneity.

### Библиографический список

1. Алоян А.Е. Динамика и кинематика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: ИВМ РАН, 2002. 201 с.
2. Аристов С.Н., Шварц К.Г. Вихревые течения в тонких слоях жидкости. Киров: ВятГУ, 2011. 207с.
3. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320с.
4. Шварц К.Г., Шварц Ю.А., Шкляев В.А. Двумерная модель мезомасштабных процессов в нижнем слое атмосферы с учетом неоднородности температуры и влажности воздуха // Вычислительная механика сплошных сред, 2015. Т. 8. № 1. С. 5-15.
5. Шварц К.Г., Шкляев В.А. Методические подходы к созданию системы локального расчетного мониторинга атмосферных биоаэрозолей // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: Сб. науч. тр. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2013. № 6. С. 56-60.
6. Шварц К.Г., Шкляев В.А. Математическое моделирование мезомасштабных и крупномасштабных процессов переноса примеси в бароклинной атмосфере / К. Г. Шварц, В. А. Шкляев; Перм.ун-т. М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015. 156 с.
7. Шкляев В.А., Шварц К.Г. Моделирование процессов переноса примеси в нижнем слое атмосферы, связанных с выбросами большой мощности при аномальном температурном нагреве // Вестник Удмуртского университета. Серия 6: Биология. Науки о Земле, 2010. Вып. 4. С. 156-159.
8. Шварц К.Г., Шкляев В.А. Особенности распространения загрязняющих веществ в атмосфере при наличии мощного источника испаряемой жидкости // Вестник Удмуртского университета. Серия 6: Биология. Науки о Земле, 2010. Вып. 4. С. 174-176.
9. Шварц К.Г., Шкляев В.А. Численное моделирование атмосферных мезомасштабных процессов переноса многокомпонентной примеси при торфяном пожаре // Вычислительная механика сплошных сред. 2012. Т. 5. № 3. С. 274-283.
10. Шварц К.Г., Шварц Ю.А., Шкляев В.А., Баландина С.Ю., Семерилов В.В. Математическое моделирование переноса биоаэрозолей в атмосфере вблизи крупного промышленного центра с учетом неоднородностей температуры и влажности // Вестник Пермского научного центра УрО РАН, 2017. № 2. С. 89-95.
11. Шварц К.Г., Шварц Ю.А., Шкляев В.А., Баландина С.Ю., Семерилов В.В. Моделирование переноса биоаэрозолей в нижнем слое атмосферы с учетом неоднородностей температуры и влажности // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. 2018. Том. 160. Книга 1. С.145-161.
12. Pedlosky J. Geophysical fluid dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 710 p.
13. Shatrov A.V. and Shvarts K.G. Numerical Modeling of Mesoscale Atmospheric Impurity Transport Processes in the Environs of the City of Kirov // Fluid Dynamics, 2011. Vol. 46. No. 2. P. 332-340.

## СОДЕРЖАНИЕ

**ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ 3**

Р.К. Абдуллин, А.В. Тарасов

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО АТЛАСА ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА УРАЛА 3**  
THE DEVELOPMENT OF THE DIGITAL ATLAS OF CLIMATE CHANGE IN THE URAL REGION

Н.Н. Алексеева, О.А. Климанова, Д.А. Третьяченко

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ МИРА НА ГИПОТЕТИЧЕСКОМ (ИДЕАЛЬНОМ) МАТЕРИКЕ 7**  
MODELING OF THE ZONAL STRUCTURE OF THE WORLD LANDSCAPES ON THE HYPOTHETIC (IDEAL) CONTINENT

Н.В. Бажукова, М.А. Кондратьева

**КАРТЫ ПОЧВЕННОЙ ТЕМАТИКИ В РЕГИОНАЛЬНЫХ АТЛАСАХ 9**  
SOIL TOPICS MAPS IN REGIONAL ATLASES

Е.А. Балдина, В.Ю. Ширшова

**ИЗОБРАЖЕНИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОВЕРХНОСТИ АРКТИЧЕСКОГО ОСТРОВА ВИЗЕ 13**  
COHERENCE IMAGES TO CHARACTERIZE THE SEASONAL VARIABILITY OF THE ARCTIC VISE ISLAND

М.С. Баранова, А.И. Кочеткова, Е.С. Брызгалина, О.А. Обьедкова, Д.А. Леонтьев

**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАЛИВОВ ВОЛГОГРАДСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 17**  
THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR RESEARCHING OF VOLGOGRAD RESERVOIR BAYS

А.П. Белоусова

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОЙ ЛИНИИ В ЦЕЛЯХ РАСПОЗНАВАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ 21**  
AUTOMATED CALCULATION OF SOIL LINE PARAMETERS IN ORDER TO IDENTIFY USE OF TILLED LAND

А.П. Белоусова, И.В. Брыжко

**ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ОБОРОТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПОДВЕРЖЕННЫХ ЗАРАСТАНИЮ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ 24**  
FEASIBILITY INVOLVEMENT OF AGRICULTURAL LAND OVERGROWING INTENSITY BY FOREST VEGETATION ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

Л.Б. Вампилова

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС- ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА ИЗМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ 27**  
APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES FOR RETROSPECTIVE ANALYSIS OF VEGETATION CHANGES

Т.В. Ватлина

**МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ 31**  
ATHEMATICAL AND CARTOGRAPHICAL MODELING OF MORBIDITY INDICATORS AT THE MUNICIPALITIES LEVEL (A CASE STUDY OF SMOLENSK REGION)

М.В. Воронина, М.В. Зимин, Н.А. Моисеева, Е.С. Перминова

**СПУТНИКОВЫЕ И ВЕБ-ГИС ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ КЛЮЧЕВЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ НУЖД ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА** **34**

SATELLITE AND WEB GIS TECHNOLOGIES AS A TOOL OF KEY COMPETENCIES FOR DIGITAL ECONOMY ON THE EXAMPLE OF AGRICULTURE

И.И. Гайнуллин, Б.М. Усманов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ОБЪЕКТОВ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ СОВРЕМЕННЫМИ МЕТОДАМИ** **38**

DETERMINING THE BOUNDARIES OF ARCHEOLOGICAL HERITAGE OBJECTS BY MODERN METHODS

Я.О. Георгиева, П.М. Мазуркин

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ГЕОМОРФОЛОГИИ МАЛОЙ РЕЧНОЙ СЕТИ** **41**

IDENTIFICATION OF REGULARITIES IN THE GEOMORPHOLOGY OF A SMALL RIVER NET

А.П. Герасимов, А.В. Наговицын

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗЕМЕЛЬНОГО НАДЗОРА** **45**

USE OF AIR LASER SCAN TECHNOLOGY TO INCREASE THE EFFICIENCY OF STATE LAND MONITORING

Е.В. Глухова, Е.И. Голубева, Н.Н. Луговой

**НАЗЕМНЫЕ И ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ТЕРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ** **49**

GROUND AND REMOTE METHODS IN THE STUDY OF VEGETATION RESTORATION ON THE TERSK COAST OF THE WHITE SEA

О.И. Государева

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ АОТ ПО ДАННЫМ VIIRS, ОПЕРАТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСПУТНИКОВ** **52**

RETRIEVAL OF AOT USING VIIRS DATA, REAL-TIME MONITORING BY MEANS OF THEMATIC PRODUCTS BASED ON DATA FROM METEOROLOGICAL SATELLITES

И.И. Григорьев, И.И. Рысин

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (КВАДРОКОПТЕРА) С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ** **54**

USING AN UNMANNED AERIAL VEHICLE (QUADROCOPTER) USING DIGITAL TECHNOLOGIES IN GEOGRAPHICAL RESEARCH

Б.О. Гуржапов, Б.З. Цыдыпов

**ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ДЕФЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В УБУР-ДЗОКОЙСКОЙ КОТЛОВИНЕ СЕЛЕНГИНСКОГО СРЕДНЕГОРЬЯ** **57**

ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF DEFLATION PROCESSES IN THE UBUR-DZOKOI HOLLOW OF THE SELENGA MIDDLE MOUNTAIN

А.Б. Елацков

**ПЛИТОЧНЫЕ КАРТОИДЫ: PRO ET CONTRA** **60**

TILE GRID MAPS: PRO ET CONTRA

О.П. Ермолаев, С.С. Мухарамова

**ЦИФРОВАЯ ГЕОГРАФИЯ РОССИИ В МОЗАИКЕ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ:  
ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ 64**

DIGITAL GEOGRAPHY OF RUSSIA IN THE MOSAIC OF RIVER BASIN: ANTHROPOGENIC IMPACT ASSESSMENT

М.А. Жарникова, Ж.Б. Алымбаева

**ОПЫТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА  
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ 66**

EXPERIENCE OF CARTOGRAPHY OF VEGETABLE COVER ON THE BASIS  
OF DATA OF REMOTE SENSING OF THE EARTH

В.В. Занозин, А.Н. Бармин, С.А. Ямашкин, А.А. Ямашкин

**КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ  
ЛАНДШАФТА ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГА 68**

GIS IN COMPLEX LANDSCAPE ANALYSIS OF THE CENTRAL PART OF THE VOLGA RIVER DELTA

А.С. Зарипов

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ  
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА 70**

APPLICATION OF UNMANNED AIRCRAFT FOR SOLVING THE TASKS OF ECOLOGICAL MONITORING

М.А. Иванов, С.С. Мухарамова, О.П. Ермолаев

**ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИЮ ПРИВОЛЖСКОГО  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА С ПРИМЕНЕНИЕМ БАССЕЙНОВОГО ПОДХОДА 73**

ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC PRESSURE ON THE VOLGA FEDERAL DISTRICT TERRITORY  
USING RIVER BASIN APPROACH

М.Н. Игнатъева

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА  
СОСТОЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ 77**

PRESENTATION OF TECHNOLOGY BASED ON REMOTE SENSING FOR FORECASTING  
AND ANALYSIS OF FOREST FIRES

М.В. Карманова, Е.В. Комиссарова

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЧС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧС И ПРОИСШЕСТВИЙ 81**

DATA FROM THE DIGITAL MAPPING SYSTEM FOR EMERGENCY RESPONSE SERVICES

А.М. Карпачевский

**СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ В КАРТОГРАФИРОВАНИИ  
УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ 84**

NETWORK ANALYSIS IN POWER GRID SUSTAINABILITY MAPPING

М.А. Кондратьева, А.Н. Чашин

**ДЕТАЛЬНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА  
ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА 86**

DETAILED MAPPING OF SOIL AND VEGETABLE COVER OF TECHNOGENIC LANDSCAPES  
OF THE KIZEL COAL BASIN

С.В. Копытов, Н.Н. Назаров

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ  
В ИЗУЧЕНИИ ДРЕВНИХ РУСЛОВЫХ СИСТЕМ 90**

THE USE OF SATELLITE DATA IN THE STUDY OF ANCIENT CHANNEL SYSTEMS

С.Е. Коркин, В.А. Исыпов

- ДИНАМИКА ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ** 94  
DYNAMICS OF EROSION PROCESSES OF THE MIDDLE OB REGION

А.В. Кошкарев

- О ЦИФРОВОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА** 97  
ABOUT DIGITAL MODELING OF GEOGRAPHICAL SPACE

Е.Н. Кулик, А.Т. Байшуаков

- ВЫЯВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОСЕВОВ С ПОМОЩЬЮ ДАННЫХ ДЗЗ** 100  
IDENTIFICATION OF REGIONAL FEATURES OF CROPS GROWTH USING REMOTE SENSING DATA

Т.И. Кутявина, В.В. Рутман, Т.Я. Ашихмина

- ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ  
ПРОЦЕССОВ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОЁМОВ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ** 104  
APPLICATION OF SPECTRAL INDICES FOR DIAGNOSTICS OF THE PROCESSES OF EUTROPHICATION  
OF RESERVOIRS OF THE KIROV REGION

В.В. Летягина, И.Р. Идрисов

- ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ** 107  
ASSESSMENT OF CHANGES IN AGRICULTURAL LANDSCAPES WITH USING GIS TECHNOLOGIES

Ф.Н. Лисецкий, А.О. Полетаев, Е.Я. Зеленская

- ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ И РЕСУРСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В  
ДРЕВНЕЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИХ РАЙОНАХ КРЫМА** 111  
GEOINFORMATION SUPPORT OF RESEARCHES OF ORGANIZATIONAL STRUCTURE AND RESOURCE  
CHARACTERISTICS IN ANCIENT AGRICULTURAL AREAS OF CRIMEA

Г.З. Мажитова, С.В. Пашков, С.В. Крыцкий

- ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
АГРОЛАНДШАФТНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ** 115  
EXPERIENCE OF UAV APPLICATION FOR GEOINFORMATION SUPPORT OF AGROLANDSHADE MAPPING

П.Г. Михайлюкова, Д.А. Петраков, О.В. Тутубалина, М.В. Зимин, Э.А. Азизов,  
Р.А. Усубалиев, Н.В. Коваленко

- АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ ЗНАЧЕНИЙ АЛЬБЕДО СНЕЖНО-ЛЕДОВОГО  
ПОКРОВА ДЛЯ РАЗНЫХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ РАЙОНОВ  
ПО ДАННЫМ SENTINEL-2/MSI** 119  
ANALYSIS OF THE SNOW-ICE COVER ALBEDO CALCULATIONS ACCURACY  
FOR DIFFERENT GEOGRAPHICAL REGIONS BASED ON SENTINEL-2/MSI DATA

К.С. Непеина

- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АНАЛИЗА  
ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ГИС GOOGLE EARTH  
НА ПРИМЕРЕ ТЯНЬ-ШАНЯ** 122  
DIGITAL MATERIALS USING FOR THE ANALYSIS OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL  
INFORMATION IN GIS GOOGLE EARTH ON TIEN SHAN

Л.А. Пластинин, В.П. Ступин, Б.Н. Олзоев

- ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО КАРТОГРАФО-КОСМИЧЕСКОГО  
МОНИТОРИНГА В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО** 125  
INTEGRATION OF THE REGIONAL CARTOGRAPHIC AND SPACE MONITORING SYSTEM  
INTO THE GEO-INFORMATION ENVIRONMENT

А.В. Погорелов, Е.Н. Киселёв

**АНАЛИЗ РОСТА ГОРОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ:  
ФЕНОМЕН КРАСНОДАРА** 129

ANALYSIS OF URBAN SPRAWL FROM SATALLITE IMAGERY: THE PHENOMENON OF KRASNODAR CITY

Я.Р. Полякова

**СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ  
КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ДИЗАЙНА** 133

MODERN TRENDS OF MAP DESIGN

А.И. Пономарчук, Л.Н. Шабанова, А.А. Галанова

**ВЕБ-КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ГИС ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТОВ ГОРОДА ПЕРМИ** 137

WEB MAPPING OF ECOLOGICAL OBJECTS OF THE CITY OF PERM

Я.Г. Пошивайло

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФОВ ДОСТУПНОСТИ  
ПРИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ НАСЕЛЕННОГО ПУНКТА** 141

CONSTRUCTION PRINCIPLES OF ACCESSIBILITY GRAPHS WHEN GEOINFORMATION MAPPING OF A SETTLEMENT INFRASTRUCTURE

С.В. Пьянков, Р.К. Абдуллин

**КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ ОПАСНЫХ  
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В БАССЕЙНЕ Р. КАМЫ** 145

A GIS DATABASE OF HAZARDOUS HYDROLOGICAL EVENTS IN THE KAMA RIVER BASIN

А.В. Пяткова, А.А. Светличный

**МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННО НЕОДНОРОДНЫХ ВЕЛИЧИН** 150

THE METHODOLOGY OF GIS-MODELLING OF SPATIALLY VARIABLE VALUES

Е.А. Рублева, И.И. Рысин

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДОВ  
И ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ  
(НА ПРИМЕРЕ УДМУРТИИ)** 154

USING GEOINFORMATION METHODS AND DIGITAL TECHNOLOGIES  
IN GEOGRAPHICAL RESEARCH (ON THE EXAMPLE OF UDMURTIA)

И.А. Самофалова, Т.А. Трифонова, П.С. Шутов

**ПОЧВЕННО-ЛАНДШАФТНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ  
ТЕРРИТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «БАСЕГИ» НА ОСНОВЕ ДАННЫХ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ** 158

SOIL-LANDSCAPE ZONING TERRITORIES OF THE BASEGI RESERVE  
BASED ON THE EARTH REMOTE SENSING DATA

Д.А. Семанов, Г.Н. Булатова, Л.П. Лашкова

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕВЫХ ТЕМАТИЧЕСКИХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ БАЗ  
ДАННЫХ ЧЕРЕЗ ИНТЕРНЕТ НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН** 163

EXPERIENCE OF APPLICATION OF NETWORK THEMATIC GEOINFORMATION DATABASES THROUGH  
THE INTERNET ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Б.А. Середовских, Н.А. Неволин

- ИССЛЕДОВАНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ДЕФОРМАЦИЙ  
БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ РЕКИ КОНДЫ НА ОСНОВЕ СОПОСТАВЛЕНИЯ  
РАЗНОВРЕМЕННОГО КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА** 166  
RESEARCH OF CHANNEL PROCESSES AND DEFORMATIONS OF THE KONDA RIVER SHORELINE  
ON THE BASIS OF COMPARISON OF DIFFERENT-TIME CARTOGRAPHIC MATERIAL

Г.И. Скрипка, О.В. Ивлиева, Л.А. Беспалова, Л.В. Сердюк

- ОПЫТ ОЦЕНКИ ГУСТОТЫ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ ВОДООХРАННОЙ ЗОНЫ  
ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ОСНОВАНИИ МАТЕРИАЛОВ  
ДИСТАНЦИОННЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ** 170  
EXPERIENCE OF ASSESSING THE DENSITY OF THE EROSION NETWORK OF THE WATER-PROTECTED  
ZONE OF THE TSIMLYAN RESERVOIR ON THE BASIS OF REMOTE SURVEY MATERIALS

Б.В. Содномов, А.А. Аюржанаев

- ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ И  
СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ** 173  
INFORMATION AND TECHNICAL SUPPORT FOR EVALUATING THE DYNAMICS  
AND STATE OF FOREST VEGETATION

А.Г. Супруненко, А.А. Аюржанаев, Б.В. Содномов, Б.З. Цыдыпов

- ОЦЕНКА СМЫВА ПОЧВЫ В ОЗ. ГУСИНОЕ С ОТВАЛОВ ГОРНЫХ ПОРОД  
ХОЛБОЛЬДЖИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)** 175  
ASSESSMENT OF SOIL LOSSES IN LAKE GUSINOE FROM MINE ROCK'S DUMPS  
OF THE KHOLBOLZHINSKY COAL MINE (REPUBLIC OF BURYATIA)

А.В. Тарасов

- ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ  
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ** 177  
EXPERIENCE OF APPLICATION MACHINE LEARNING BASED METHODS FOR CLOUD DETECTION

Б.М. Усманов, И.И. Гайнуллин, Д.Р. Шарипова

- МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА РАЗРУШЕНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ  
ПАМЯТНИКОВ НА БЕРЕГУ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА** 181  
MONITORING AND ASSESSING OF ARCHAEOLOGICAL SITES DESTRUCTION  
ON THE KUIBYSHEV RESERVOIR SHORE

И.В. Флоринский, Т.Н. Скрыпицына, Д.П. Бляхарский, О.Т. Ишалина, А.С. Киселева

- ЦИФРОВОЙ МИКРОРЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕДНИКОВ ПО ДАННЫМ  
БЕСПИЛОТНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ** 185  
DIGITAL MICROTOPOGRAPHY OF GLACIERS FROM UNMANNED AERIAL SURVEY DATA:  
STATEMENT OF THE PROBLEM

В.В. Хлюстова

- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ  
ДЛЯ АНАЛИЗА ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЮЖНОЙ ЧАСТИ  
О. КУНАШИР** 189  
REMOTE SENSING DATA USING FOR ANALYSIS OF SOIL AND PLANT COVER  
OF THE KUNASHIR ISLAND SOUTH PART

В.В. Хромых

- ЦИФРОВАЯ ГЕОГРАФИЯ В ТОМСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ:  
25-ЛЕТНИЙ ОПЫТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ И НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ** 193  
DIGITAL GEOGRAPHY AT TOMSK STATE UNIVERSITY: 25 YEARS EXPERIENCE  
IN EDUCATIONAL AND RESEARCH ACTIVITY

В.В. Хромых, О.В. Хромых

**ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЪЁМОК С БПЛА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ  
(ПРИЛОЖЕНИЕ «ПАВОДОК» ГЕОПОРТАЛА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)** 197

EXPERIENCE OF THE UAV SURVEY FOR MODELING OF FLOODING ZONES  
(APPLICATION "FLOOD" OF THE TOMSK REGION GEOPORTAL)

А.Н. Чащин, В.Ю. Гилёв

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПЛОДОРОДНОГО  
СЛОЯ ПОЧВ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ УЧАСТКОВ** 201

STUDY OF SPATIAL HETEROGENEITY OF THE FERTILIZED SOIL LAYER  
OF TECHNOGENICALLY DISTURBED SECTIONS

А.А. Черкасов, А.Н. Панин

**ГИС-МОНИТОРИНГ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭТНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ  
НАСЕЛЕНИЯ В НАЦИОНАЛЬНЫХ РЕГИОНАХ РОССИИ  
(НА ПРИМЕРЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ И КАЛМЫКИИ)** 204

GIS-MONITORING OF TRANSFORMATION OF ETHNIC POPULATION STRUCTURE  
IN THE NATIONAL REGIONS OF RUSSIA (ON THE EXAMPLE OF KABARDINO-BALKARIA AND KALMYKIA)

В.Н. Черных, Б.З. Цыдыпов

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ  
ПРИ ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ  
В СЕЛЕНГИНСКОМ СРЕДНЕГОРЬЕ** 208

USING OF REMOTE SENSING METHODS IN THE ASSESSMENT OF THE INTENSITY  
OF EROSION PROCESSES IN THE SELENGA MIDDLE MOUNTAIN

А.Н. Шихов, А.П. Герасимов, А.И. Пономарчук, Е.С. Перминова

**РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ ПО ТЕМАТИЧЕСКОМУ  
ДЕШИФРИРОВАНИЮ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ СРЕДНЕГО  
И ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ** 211

DEVELOPMENT OF THE MANUAL ON THE THEMATIC INTERPRETATION  
OF SATELLITE IMAGES OF MEDIUM- AND HIGH SPATIAL RESOLUTION

А.А. Ямашкин, С.А. Ямашкин

**РАЗВИТИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДОВ  
И АЛГОРИТМОВ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ДЗЗ** 214

DEVELOPMENT OF GEOINFORMATION METHODS AND ALGORITHMS  
FOR INTEGRATED INTERPRETATION OF ERS DATA

**ЦИФРОВЫЕ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ**

У.А. Андропова, Р.А. Соколов

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
ПРИ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ЛЕСОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ** 218

APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN REPRODUCTION OF FORESTS IN PERM REGION

Д.Ю. Беляев, А.Н. Бармин, М.В. Валов

**СОСТАВ И ВЛИЯНИЕ АКУСТИКО-ЗВУКОВОГО ЛАНДШАФТА ГОРОДА  
НА ЖИТЕЛЕЙ** 220

STRUCTURE AND INFLUENCE OF THE ACOUSTIC-SOUND LANDSCAPE OF THE CITY ON RESIDENTS

С.А. Бузмаков

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ПОЛЕ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
«ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»** 224THE INFORMATION FIELD HAS A RELEASING DEPARTMENT IN THE SPECIALTY  
«ECOLOGY AND MANAGEMENT OF NATURAL RESOURCES»

А.С. Бурмистрова, В.В. Клименко, М.С. Середа

**ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА  
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ТАГАНАЙ»** 228

ENVIRONMENTAL AND GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF THE TAGANAY NATIONAL PARK

К.Н. Валеева, Ю.В. Петров

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
РЕСУРСОБЕСПЕЧЕННОСТИ ВИКУЛОВСКОГО РАЙОНА  
ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ** 232THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGY TO ASSESS THE RESOURCE SUPPLY  
OF THE VIKULOVSKY DISTRICT OF THE TYUMEN REGION

Е.Л. Гатина

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ ООПТ ПЕРМСКОГО КРАЯ:  
БОТАНИЧЕСКИЙ АСПЕКТ** 235GEOINFORMATION DATABASE OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS SPECIES  
OF THE PERM REGION: BOTANICAL ASPECT

М.А. Голубкова, С.М. Костарев

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКОМОНИТОРИНГА ПРИ НЕФТЕДОБЫЧЕ  
(НА ПРИМЕРЕ АПТУГАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ)** 237VISUALIZATION OF THE RESULTS OF ECOLOGICAL MONITORING AT OIL PRODUCTION  
(FOR EXAMPLE OPTOVIKOV OIL FIELD)

Ю.А. Гулянов

**ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ» ТРАНСФОРМАЦИИ  
СТЕПНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ** 239PRACTICAL METHODS OF «INTELLECTUAL» TRANSFORMATION  
OF STEPPE AGRICULTURE BASED ON DIGITAL AGRICULTURAL TECHNOLOGIES

Е.А. Дзюба, Д.Е. Сивков

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ  
ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛАНДШАФТНОГО  
ЗАКАЗНИКА «ПРЕДУРАЛЬЕ»)** 243APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF THE GEOCHEMICAL FEATURES  
OF THE TERRITORY (ON THE EXAMPLE OF THE LANDSCAPE RESERVE «PREDURALE»)

Д.О. Егорова

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ – КАК ОСНОВА ВЫБОРА  
ТЕРРИТОРИИ, ДЛЯ ПОИСКА АКТИВНЫХ АГЕНТОВ БИОРЕМЕДИАЦИИ  
ПХБ-ЗАГРЯЗНЕННЫХ САЙТОВ** 248INFORMATION ANALYSIS - AS A BASIS FOR SELECTING A TERRITORY FOR SEARCHING  
THE ACTIVE BIOREMEDIATION AGENTS OF PCB-CONTAMINATED SITES

А.А. Елтышев

**ПРИМЕНЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
ООПТ ПРИРОДНЫЙ ПАРК «ПЕРМСКИЙ»** 251APPLICATION OF DATABASE IN THE ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY  
OF A PROTECTED AREA NATURAL PARK «PERMSKY»

И.А. Жданова

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ОЦЕНКЕ ПРУДА  
НА РЕКЕ ТОЛЫЧ Г. БЕРЕЗНИКИ** 253

THE USE OF GIS TECHNOLOGIES IN ASSESSMENT OF THE POND ON THE RIVER TOLYCH BEREZNIKI

А.А. Зайцев, К.К. Кичева

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПОУЗЕРОВ: ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
СЦЕНАРИЕВ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ** 255

THE USE OF DISPOSEOF: DIGITAL SIMULATION OF TREATMENT PLANT SCENARIOS

В.Н. Ильин, И.В. Никонова

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ОБРАЖНОЙ  
СЕТИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНОВ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ** 257

APPLICATION OF GIS-TECHNOLOGIES IN THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GULLY NETWORK  
OF SHEBOKSARY AND KOZLOVSKY DISTRICTS OF THE CHUVASH REPUBLIC

Н.Г. Кадетов, А.Е. Гнеденко

**РАЗРАБОТКА КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПРОЙДЕННУЮ ПОЖАРОМ ЧАСТЬ  
КЕРЖЕНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА** 261

DEVELOPMENT OF VEGETATION MAP FOR AFFECTED BE THE FIRE PART OF KERZHENSKY RESERVE

В.О. Козьминых

**БАЗЫ ДАННЫХ ПО НАЗЕМНЫМ БЕСПОЗВОНОЧНЫМ (ARTHROPODA) ПЕРМСКОГО  
КРАЯ: ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МАТРИЧНАЯ ЦИФРОВИЗАЦИЯ** 263

DATABASES ON TERRESTRIAL INVERTEBRATES (ARTHROPODA) OF THE PERM AREA:  
GEOGRAPHICAL ASPECTS WITH DIGITAL MATRICES

И.А. Кувшинский

**ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АНАЛИЗЕ  
ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ** 267

USE OF GEINFORMATION TECHNOLOGIES IN ANALYSIS OF LANDSCAPE STRUCTURE  
OF SPECIALLY PROTECTED AREAS

В.А. Кулигина, В.О. Козьминых

**МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ НАЗЕМНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ  
ООПТ «ПЛОТБИЩЕ» (ПЕРМСКИЙ КРАЙ, ЧАЙКОВСКИЙ РАЙОН)** 271

MONITORING OF POPULATION STATE OF TERRESTRIAL INVERTEBRATES  
ON THE PROTECTED NATURAL TERRITORY «PLOTBISHCHE» (PERM AREA, CHAIKOVSKIY DISTRICT)

С.А. Куролап, О.В. Клепиков, Т.И. Прожорина, П.М. Виноградов

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОЦЕНКЕ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ  
НАСЕЛЕНИЯ, СВЯЗАННОГО С СОСТОЯНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ** 274

INFORMATION TECHNOLOGIES IN RISK ASSESSMENT FOR HEALTH OF POPULATION RELATED  
TO THE CONDITION OF THE ENVIRONMENT

М.А. Маньковский

**РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ В КАРСТОВОМ РАЙОНЕ** 278

DEVELOPMENT OF A DATABASE FOR STUDYING OIL FIELD POLLUTION IN THE KARST REGION

А.В. Михайленко, Ю.А. Федоров, И.В. Доценко

**КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РТУТИ  
В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТА АЗОВСКОГО МОРЯ** 281

MAPPING THE SPATIAL DISTRIBUTION OF MERCURY IN COMPONENTS OF THE AZOV SEA LANDSCAPE

М.А. Мясникова

- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ АУДИТЕ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ** 284  
 USE OF GIS TECHNOLOGIES IN THE ENVIRONMENTAL AUDIT OF WASTE DISPOSAL SITES IN OIL FIELDS

А.В. Назаров

- ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ПРОДУЦИРОВАТЬ ОСМОПРОТЕКТОРЫ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ЗАСОЛЕНИИ ПОЧВЫ** 288  
 STUDY ABILITY OF SOIL BACTERIAL COMMUNITIES TO PRODUCE OSMOPROTECTORS IN TECHNOGENIC SALINIZATION OF THE SOIL

М.Г. Опекунова, А.Ю. Опекунов, С.Ю. Кукушкин

- ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ** 290  
 APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL RESEARCH

Т.С. Ощепкова, С.А. Кулакова

- БАЗА ДАННЫХ МЕСТ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ПО ГОРОДУ ПЕРМЬ** 294  
 DATABASE OF MUNICIPAL SOLID WASTE ACCUMULATION SITES IN PERM

Е.Н. Патрушева

- ПРИРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ КАРКАС ТЕРРИТОРИИ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ МОДЕЛЬ СОХРАНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ** 298  
 NATURAL AND ECONOMIC FRAMEWORK OF THE TERRITORY AS A PROMISING MODEL FOR THE CONSERVATION OF NATURAL COMPLEXES

Е.А. Пешков

- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ** 302  
 USE OF GIS TECHNOLOGIES IN THE ANALYSIS OF THE RADIATION SITUATION ON THE TERRITORY OF THE PERM REGION

А.С. Порозова

- ВЛИЯНИЕ СЖИГАНИЯ ПОПУТНОГО ГАЗА НА ДРЕВОСТОЙ: ОБЗОР ИМЕЮЩЕГОСЯ ОПЫТА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРИКАМЬЕ** 305  
 THE IMPACT OF OIL-ASSOCIATED GAS FLARING ON FOREST STAND: REVIEW OF EXPERIENCE AND RESEARCH PROSPECTS IN PERM REGION

С.А. Кулакова, А.М. Роготнева

- ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДА** 309  
 GIS-TECHNOLOGY IN THE MONITORING OF GREEN SPACES OF THE CITY

Е.П. Самойлова, Т.Н. Осипова

- ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА КОЛИЧЕСТВО АКТИВНЫХ КЛЕЩЕЙ IXODES PERSULCATUS SCH. НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ** 312  
 LONG-TERM CHANGES OF METEOROLOGICAL INDICATORS AND THEIR IMPACT ON THE NUMBER OF ACTIVE TICKS IXODES PERSULCATUS SCH. ON THE TERRITORY OF ST. PETERSBURG AND LENINGRAD REGION

И.А. Самофалова

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ  
В ПРОЦЕССЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ  
ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ХРЕБТА БАСЕГИ** 316

USE OF GEOSTATISTIC INSTRUMENTS IN THE PROCESS  
OF SPATIAL ANALYSIS ORGANIC CARBON CONTENT IN SOILS OF THE BASEGI RIDGE

П.Ю. Санников, В.О. Козьминых

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ИЗУЧЕННОСТИ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ  
НАСЕКОМЫХ (INSECTA: COLEOPTERA) ЗАПОВЕДНИКА «БАСЕГИ»** 320

GEOINFORMATIONAL EVALUATION OF KNOWLEDGE FOR BEETLES (INSECTA: COLEOPTERA)  
AT THE «BASEGI» RESERVE

П.Ю. Санников, М.Л. Перескоков, П.С. Козьякова, В.В. Мингалев

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ «ПОСЕЛЕНИЯ АНАНЫНСКОЙ  
И ГЛЯДЕНОВСКОЙ КУЛЬТУР В ГРАНИЦАХ БАСЕЙНА Р. ТУЛВЫ»** 324

GEOINFORMATION DATABASE «ANANYINO AND GLYADENOV CULTURE'S SETTLEMENTS  
IN THE BASIN OF TULVA RIVER»

Д.Н. Слащёв

**ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ВЫБОРА РЕЗЕРВАТОВ  
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ  
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ** 329

RESERVES SELECTION ALGORITHMS APPLICATION FOR DEVELOPMENT PRIORITIES IDENTIFICATION  
OF THE REGIONAL NETWORK OF PROTECTED NATURAL AREAS

В.С. Сметанина

**КАРТИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СРЕД  
НА НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ УЧАСТКАХ** 333

MAPPING OF ENVIRONMENTAL POLLUTION IN THE OIL FIELDS

Р.А. Соколов, С.П. Стенно

**ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ ООПТ «ЧЕРНЯЕВСКИЙ ЛЕС»** 336

FOREST PLANTATIONS OF THE PROTECTED AREA «CHERNYAEVSKY FOREST»

В.И. Стурман, А.Н. Логиновская

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ** 340

GEOINFORMATION AND CARTOGRAPHIC ASPECTS OF STUDYING  
TECHNOGENIC ELECTROMAGNETIC FIELDS

Ю.А. Федоров, Л.Ю. Дмитрик, И.В. Доценко

**КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА  
В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТА АЗОВСКОГО МОРЯ** 342

MAPPING THE DISTRIBUTION OF IRON IN THE COMPONENTS OF THE AZOV SEA LANDSCAPE

Н.М. Хаванская

**АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ  
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ УЧАСТКА ДОНСКОЙ ПОЙМЫ  
ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ** 345

ANALYSIS OF THE SPATIAL STRUCTURE OF LAND USE OF THE DON FLOODPLAIN  
LANDSCAPES ACCORDING TO DATA OF EARTH REMOTE SENSING

Е.А. Шелунцова

**ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ** 347

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ANALYSIS OF FOREST PLANTS

## ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРОГНОЗАХ

С.М. Авдеев

- КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОПАСНЫЕ ДЛЯ СУДОХОДСТВА  
В РАЙОНЕ ГОРОДА-ГЕРОЯ НОВОРОССИЙСК** 352  
CLIMATIC FACTORS DANGEROUS FOR NAVIGATION IN THE AREA  
OF THE HERO CITY OF NOVOROSIYSK

А.А. Алексеева, В.М. Лосев, В.М. Бухаров

- ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОЗА ПАРАМЕТРОВ КОНВЕКЦИИ И ОПАСНЫХ  
КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ ПО ИНФОРМАЦИИ ДМРЛ-С** 356  
A DIGITAL TECHNOLOGY FOR THE DIAGNOSIS OF CONVECTION PARAMETERS  
AND HAZARDOUS CONVECTIVE WEATHER EVENTS BASED ON DMRL-C DATA

В.Н. Аптуков, В.Ю. Митин

- СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ  
АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА И ОСАДКОВ В Г. ПЕРМИ** 359  
STATISTICAL MODEL FOR FORECASTING AVERAGE MONTHLY TEMPERATURE  
AND PRECIPITATION ANOMALIES IN PERM

М.А. Волкова, Е.М. Болтушкина, О.Е. Нечепуренко, В.В. Чурсин

- ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОН ОБЛЕДЕНЕНИЯ  
НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ** 362  
ASSESSMENT OF ICING IN-FLIGHT CONDITIONS OVER THE SOUTH-EASTERN PART OF WESTERN SIBERIA

В.П. Горбатенко, К.Н. Пустовалов, Д.А. Константинова

- ГРОЗОВАЯ АКТИВНОСТЬ НАД БОЛОТНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ЛЕТОМ 2016 ГОДА** 366  
THUNDERSTORM ACTIVITY OVER SWAMP COMPLEXES OF WEST SIBERIA IN SUMMER 2016

Е.В. Завьялова, С.В. Морозова

- ИССЛЕДОВАНИЕ ГОДОВОГО ХОДА ТЕМПЕРАТУРЫ  
И ОБЩЕЙ ОБЛАЧНОСТИ ПО М/С ПЕРМЬ И ОРЕНБУРГ** 370  
RESEARCH OF THE ANNUAL PROGRESS OF TEMPERATURE AND GENERAL CLOUD  
IN PERM AND ORENBURG

В.А. Задворных, О.В. Трофимова

- РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ  
НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)** 374  
REGIONAL ASSESSMENT OF SOLAR ENERGY RESOURCES ON THE EXAMPLE  
OF THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

М.В. Захарова

- ВНУТРИГОДОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТОКА Р. ОКИ В СТВОРЕ Г. КАЛУГИ** 377  
ANNUAL DISTRIBUTION OF STREAM FLOW OF OKA RIVER IN THE HYDROLOGIC STATION OF KALUGA

Н.В. Исмагилов, А.А. Николаев, Г.Н. Мухаева

- ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН** 382  
WIND REGIME OF THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

А.Б. Китаев, А.А. Батальцева

**БИОЛОГИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА В ВОДЕ  
ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ПРОШЛОГО  
И НАЧАЛА НЫНЕШНЕГО СТОЛЕТИЙ) 384**

BIOLOGICAL CONSUMPTION OF OXYGEN IN THE WATER OF THE VOTKIN RESERVOIR  
(ANALYSIS OF MATERIALS OF THE PAST AND THE BEGINNING OF THE CENTURY CENTURIES)

Д.Е. Клименко, Д.Н. Полин

**РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ  
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПЛЮВИОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ  
НАД ЛИВНЕВЫМИ ОСАДКАМИ RAINSTAT 387**

DEVELOPMENT OF A COMPUTER PROGRAM FOR AUTOMATED PROCESSING OF DATA  
OF PLEVIORAPHIC OBSERVATIONS ABOUT RAINSTAT RAIN SEDIMENTS

А.Д. Крючков

**ВЕРИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА  
ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA-INTERIM И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ  
ПЕРМСКОГО КРАЯ ЗА 1978-2018 ГГ. 390**

VERIFICATION OF SNOW COVER CHARACTERISTICS ACCORDING TO DATA  
OF ERA-INTERIM REANALYSIS AND METEOROLOGICAL STATIONS OF PERM REGION FOR 1978-2018

И.В. Кужевская, В.А. Жукова, Т.С. Кошикова, К.Н. Пустовалов, В.В. Чурсин

**МЕЗОМАСШТАБНЫЕ КОНВЕКТИВНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 394**  
MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEMS OVER WESTERN SIBERIA

А.П. Лепихин, А.В. Богомолов, А.В. Белобородов, Ю.С. Ляхин, А.А. Тиунов

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ  
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ 398**

MODERN TECHNOLOGIES FOR ESTIMATION AND MODELLING OF BOTTOM SEDIMENTS  
OF SURFACE WATER BODIES

В.А. Лобанов, С.А. Маммедов, Ж.К. Наурызбаева

**МЕТОДЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОБОБЩЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА 402**

METHODS OF SPATIAL GENERALIZATION AND MODELING IN THE STUDY OF CLIMATE CHANGE

И.Л. Лукин

**ГЕНЕРАЦИЯ ДОСТУПНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ  
ВСЛЕДСТВИЕ ПРИТОКА КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ  
В АТМОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA-5 406**

GENERATION OF AVAILABLE POTENTIAL ENERGY DUE TO THE SHORT-WAVE RADIATION INFLUX  
IN THE ATMOSPHERE ACCORDING TO ERA-5 REANALYSIS

Е.Л. Макаренко, А.П. Софронов

**РОЛЬ ЛЕСНЫХ ГЕОСИСТЕМ В РЕГУЛИРОВАНИИ ВОДНОГО СТОКА  
(НА ПРИМЕРЕ ТУЛУНСКОГО РАЙОНА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ) 408**

THE ROLE OF FOREST GEOSYSTEMS IN THE REGULATION OF A WATER DRAIN  
(ON THE EXAMPLE OF TULUN DISTRICT OF IRKUTSK REGION)

С.В. Морозова, М.А. Алимпиева

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА К ОЦЕНКЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ СТРУКТУРАМИ 412**

APPLICATION OF DISPERSION ANALYSIS METHODS TO EVALUATING THE INTERACTION  
OF CIRCULATION STRUCTURES

И.П. Опутина

- ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ  
МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В МАГНИТОГОРСКЕ** 416  
OPPORTUNITIES OF OPTIMIZATION OF THE ATMOSPHERIC AIR MONITORING SYSTEM  
IN MAGNITOGORSK

И.П. Опутина, В.А.Шкляев

- ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА В МУРМАНСКЕ И ЕГО СВЯЗЬ  
С ПОГОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ** 419  
MURMANSK AIR POLLUTION AND ITS COMMUNICATION WITH WEATHER CONDITIONS

Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, Б.Г. Шерстюков, В.В. Гурьянов, Т.Р. Аухадеев

- СОВРЕМЕННЫЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА  
АНТРОПОГЕННОГО И ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ** 423  
MODERN GLOBAL AND REGIONAL CHANGES IN THE CLIMATE  
OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL ORIGIN

Е.В. Пищальникова, Н.А. Калинин, Е.М. Свизов

- ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫЕ ОСАДКИ В ПЕРМСКОМ КРАЕ** 426  
FREEZING PRECIPITATION IN THE PERM REGION

Д.Н. Полин

- ПРИВЛЕЧЕНИЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЕРМСКОГО КРАЯ** 429  
USING REANALYSIS DATA TO ASSESS THE THERMAL REGIME OF THE PERM REGION

Д.Н. Полин, В.А. Шкляев

- СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ  
НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ** 433  
STATISTICAL ESTIMATES OF EXTREME PRECIPITATION OF THE PERM REGION

А.А. Поморцева

- ПЕРЕОХЛАЖДЕННЫЕ ОСАДКИ ПО ДАННЫМ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЕТИ** 437  
SUPERCOOLED PRECIPITATION BY DATA METEOROLOGICAL RADAR NETWORK

Б.А. Сивков

- ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ АТМОСФЕРЫ КАК ФАКТОР ОБРАЗОВАНИЯ  
СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ В ПЕРМСКОМ КРАЕ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА** 438  
VERTICAL MOTIONS OF THE ATMOSPHERE AS A FACTOR IN THE FORMATION  
OF HEAVY PRECIPITATION IN PERM REGION DURING THE WARM SEASON

Е.Л. Тунаев, В.П. Горбатенко

- РОЛЬ МЕСТНЫХ ФАКТОРОВ В ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА  
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ** 442  
THE ROLE OF LOCAL FACTORS IN THE WARMING CLIMATE OF WESTERN SIBERIA

Д. В. Фасолько, Е. М. Акентьева, М.В. Ключева, А.А. Пикалева, Г. Б. Пигольцина, В.А. Задворных

- ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА  
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ  
ВОДООТВЕДЕНИЯ И ВОДООЧИСТКИ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ** 446  
ASSESSMENT OF THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGES ON THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF WATER  
DISPOSAL AND WATER CLEANUP SYSTEMS IN ST. PETERSBURG

М.Ю. Червяков

**СПУТНИКОВЫЙ МОНИТРОИНГ СОСТАВЛЯЮЩИХ РАДИАЦИОННОГО  
БАЛАНСА ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ РАДИОМЕТРА ИКОР-М**

451

SATELLITE MONITORING OF THE EARTH'S RADIATION BALANCE ACCORDING TO THE IKOR-M  
RADIOMETER

В.В. Чурсин, И.В. Кужевская

**ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ГРОЗОВЫХ ЯЧЕЕК  
ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

455

DETECTING OF THUNDERSTORM CENTERS USING BY SATELLITE REMOTE SENSING

К.Г. Шварц

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕЗОМАСШТАБНЫХ  
ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ В БАРОКЛИННОЙ АТМОСФЕРЕ**

459

MATHEMATICAL MODEL OF MESOSCALE IMPURITY TRANSFER PROCESSES  
IN THE BAROCLINIC ATMOSPHERE

Научное издание

**ЦИФРОВАЯ ГЕОГРАФИЯ**

Материалы Всероссийской научно-практической  
конференции с международным участием  
(16 – 18 сентября 2020 г., г. Пермь)

Том I

Цифровые и геоинформационные технологии  
в изучении природных процессов, экологии,  
природопользовании и гидрометеорологии

Издается в авторской редакции

Компьютерная вёрстка: А. Н. Ташкинова

Ответственность за аутентичность и точность  
цитат, имен, названий и иных сведений, а также  
за соблюдение законов об интеллектуальной  
собственности несут авторы публикуемых  
материалов.

Подписано в печать 14.08.2020. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 27,73. Тираж 200 экз. Заказ 189 985

Издательский центр Пермского государственного  
национального исследовательского университета.  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Отпечатано в типографии  
Группа предприятий «АСТЕР»  
614064, г. Пермь, ул. Усольская, 15, оф. 200.