

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ

Российской академии наук



основан в 1918 году



# ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

Сборник материалов

*XVI всероссийской молодежной научной школы-конференции*

**«Меридиан»**

МНОЦ МГУ, г. Пушкино

*16–19 октября 2024 г.*

---

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РАН

*Москва ~ 2024*

УДК [910+911](082)  
ББК 26.8я431  
Г35

Печатается по решению  
Ученого совета Института географии РАН

*Статьи публикуются в авторской редакции*

Рецензенты:

к.г.н. *А.Л. Гуринов*  
к.г.н. *А.А. Еланская*

***Программный комитет:***

д.г.н., член-корр. РАН *О.Н. Соломина* (председатель), к.г.н. *А.И. Крылов*,  
к.г.н. *А.Л. Захаров*, к.г.н. *Л.С. Паршина*, к.г.н. *Н.В. Сычев*, к.г.н. *А.В. Шелудков*,  
к.г.н. *В.Ю. Украинцев*, *А.И. Рудинская*, *Ю.А. Карпова*, *А.Е. Гнеденко*, *Л.В. Шашерина*,  
*А.Г. Шматова*, *А.П. Яковлева*

***Оргкомитет:***

*А.И. Рудинская* (председатель), *А.Е. Гнеденко*, к.г.н. *А. Л. Захаров*, *Ю.А. Карпова*,  
к.г.н. *Н.В. Сычев*, к.г.н. *В.Ю. Украинцев*, *Л.В. Шашерина*, к.г.н. *А.В. Шелудков*,  
*А.Г. Шматова*, *А.П. Яковлева*.

**Географические исследования в контексте глобальных изменений:**

сб. мат. XVI всерос. молодежной науч. школы-конференции «МЕРИДИАН» / отв.  
ред. Л.С. Паршина, Н.В. Сычев [и др.]. — М.: ИГ РАН, 2024. — 139 с., ил. —  
ISBN 978-5-89658-076-8 — DOI 10.15356/Meridian2024

Ежегодная всероссийская XVI молодежная научная школа-конференция «МЕРИДИАН: географические исследования в контексте глобальных изменений» посвящена широкому спектру вопросов современной географии - существующим подходам к реконструкциям динамики и эволюции природной среды, изучению локальных, региональных и глобальных изменений социально-экономических процессов, полевым, дистанционным и междисциплинарным методам в географии и современным тенденциям физико-географических исследований. Сборник будет интересен как специалистам, так и представителям смежных дисциплин.

**Geographis Studies in the Context of Global Changings:** col. works from 16th  
All.-Russ. young scientists conference "MERIDIAN" / ed. L.S. Parshina [et al.] —  
M.: IG RAS, 2024. — 139 p., il. — ISBN ..... — DOI 10.15356/Meridian2024

The annual XVI Youth Scientific Conference "MERIDIAN: Geographical Research in the context of global change" is devoted to a wide range of issues of modern geography - existing approaches to the dynamics and evolution of the natural environment reconstructions, the study of local, regional and global changes in socio-economic processes, field, remote and interdisciplinary methods in geography and current trends in physical geographical research. The book will be interesting for both specialists and representatives of related disciplines.

ISBN 978-5-89658-076-8  
DOI 10.15356 /Meridian2024

© Авторы статей, 2024  
© Институт географии РАН, 2024

## Содержание

<b>Агафонова З.П., Никитин С.А., Носенко Г.А.</b> Современные тенденции изменения ледников Кавказа .....	6
<b>Андреев Р.А.</b> Методы оценки качества реконструкций климатических характеристик и лесистости Средней Сибири в голоцене .....	7
<b>Бухмастов Е.В.</b> Изменение географии автомобильной промышленности Чехии в первые два десятилетия XXI века .....	12
<b>Васильев А.П.</b> Особенности изменения этнического состава населения Каринтии в XX – начале XXI веков .....	15
<b>Васильева А.Н., [Галанин А.А.], Курбанов Р.Н., Анойкин А.А., Лыткин В.М.</b> Строение, возраст и условия формирования четвертичных отложений табакгинской террасы р. Лена (по материалам стоянки Дириг-Юрях) .....	19
<b>Вульвач В.Н., Каргашин П.Е.</b> Технология создания легенды ландшафтной карты по литературным источникам и данным дистанционного зондирования .....	23
<b>Гнеденко А.Е.</b> Подходы к картографированию динамики лесов с использованием спутниковых снимков .....	28
<b>Ефремова В.А.</b> Демографическая динамика и структура домохозяйств в сжимающихся городах Урала .....	30
<b>Жарнова С.О., Каширо М.А.</b> Динамика сезонно-талого слоя Приуральского района Ямало-Ненецкого автономного округа (по данным сети CALM) .....	32
<b>Журавлёва Е.М.</b> Делимитация границ Орловской городской агломерации ...	38
<b>Захаров А.Л., Шоркунов И.Г., Гаранкина Е.В., Шухвостов Р.С., Юрченко А.П., Константинов Е.А.</b> Строение котловины Сарского болота (Ярославская область) .....	43
<b>Захаров И.А.</b> Роль внекультовой деятельности в пространственной экспансии религиозных организаций в Южном Омо (Эфиопия): по материалам полевого исследования .....	44
<b>Зыков Г.С.</b> Классификация территорий по уровню урбанизации на основе методологии ОЭСР: пример Краснодарского края и Республики Адыгея .....	47
<b>Иванов В.А., Чалов С.Р.</b> Русловые и эрозионные процессы на водосборах криолитозоны России .....	51
<b>Казбанова Ю.Н.</b> Моделирование формирования и развития подледниковых водоёмов в Арктике .....	53
<b>Карпова Ю.О., Бронникова М.А., Лебедева М.П., Аржанцева И.А., Харке Г.</b> Микроморфологическое строение и процессы формирования культурного слоя раннесредневекового городища Джанкент (Восточное Приаралье, Казахстан) .....	57
<b>Кисляк У.А., Костенков Н.А., Петраков Д.А.</b> Методика исследования лавин при помощи снимков Sentinel-1 .....	60

<b>Котенков А.В., Харченко С.В., Лебедева Е.В.</b> Первый опыт оценки предрасположенности территории с газогидротермальными проявлениями к развитию оползней (на примере долины р. Гейзерной, Восточная Камчатка).	66
<b>Макарова Е.А., Мазей Н.Г., Новенко Е.Ю.</b> Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры северо-запада плато Путорана и их применение в палеоэкологических реконструкциях	70
<b>Малышев В.В., Кудреватых И.Ю., Калинин П.И.</b> Анализ гранулометрического состава лессовых отложений как важный инструмент в оценке транспортировки и источников оловопыли	73
<b>Никитина А.Д.</b> Применение Mask R-CNN для автоматической сегментации крон деревьев в сосновых лесах	76
<b>Новиков А.С.</b> Пространственное моделирование ареала <i>Vaccinium myrtillus</i> на примере Московского региона с учётом климатических показателей	79
<b>Опарин Р.Д.</b> Границы Камской агломерации и ее структурные элементы	83
<b>Перов М.С.</b> Изменчивость звукового функционирования Гусевско-Куршинского долинно-зандрового ландшафта на разных высотных уровнях	86
<b>Петров О.Г.</b> Анализ пространственно-временных характеристик естественного постпирогенного лесовосстановления с использованием мультимасштабных данных ДЗЗ	91
<b>Платонов И.А., Сысолятин Р.Г.</b> Проведение мониторинга температурного режима мерзлых пород вдоль трассы Р504 «Колыма»	94
<b>Пономарева А.И.</b> Крупномасштабное картографирование вулканических куполов на основе данных БПЛА	101
<b>Рудинская А.И., Константинов Е.А., Шухвостов Р.С., Кузьменкова Н.В.</b> Опыт расчета темпов осадконакопления в акватории озера Плещеева для последних 3500 лет	104
<b>Семеняк Н.С., Бичурин Р.Р.</b> Откуда шрамы на деревьях: дендрохронологическое расследование геоморфологических процессов	106
<b>Смирнова В.В., Беляев Ю.Р., Гаранкина Е.В., Кочубей К.А., Полетаева Ю.А., Тихонова Т.И., Иоч М.Э., Рудинская А.И., Мишурицкий Д.В.</b> Опыт лихенометрических исследований на селевом конусе в Хибинах	110
<b>Степанова К.Г., Юрченко А.П., Тарасова М.А., Бричёва С.С.</b> Изучение песчаных гряд Приокско-Террасного заповедника геофизическими методами	116
<b>Сычев Н.В., Константинов Е.А.</b> Лёссы Предкавказья – ключ к исследованию экстрааридных эпох плейстоцена	118
<b>Украинцев В.Ю.</b> Генерации больших палеорусел Ростовской котловины	121
<b>Шатунов А.Е., Новенко Е.Ю.</b> Реконструкция периодичности пожарных событий и их особенностей по данным изучения макрочастиц угля в торфе в голоцене на современной территории национального парка «Бузулукский бор»	123

<b>Шерстенникова С.Р.</b> Опыт применения климатических сценариев для моделирования процессов развития многолетней мерзлоты в районе г. Салехард, ЯНАО.....	128
<b>Юрченко А.П., Бричёва С.С., Палёнов А.Ю., Ахметгалеева Н.Б.</b> Исследования погребённого рельефа позднепалеолитических поселений геофизическими методами .....	132
<b>Яковлева А.П., Репкина Т.Ю.</b> Развитие рельефа и антропогенное освоение берегов левобережья р. Варзуга (Терский берег Белого моря) в голоцене	135

## **Современные тенденции изменения ледников Кавказа**

З.П. Агафонова\*, С.А. Никитин\*\*, Г.А. Носенко\*\*\*

Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

\*zpagafonova@edu.hse.ru, \*\*nikitin@igras.ru, \*\*\*gnosenko@gmail.com

Исследование процессов глобального потепления приобрело большое значение особенно в настоящее время, когда одним из наиболее заметных проявлений изменения климата является таяние ледников и связанные с этим негативные последствия. Результаты оценок скорости изменений размеров ледников Кавказа, выполненных в работах предыдущих исследователей, показывают постепенный рост скорости сокращения площади ледников на протяжении последних десятилетий. Цель данной работы – подтвердить устойчивость этой тенденции на примере ледников Кавказа, оценить величину скорости сокращения их площади с момента проведения инвентаризации ледников Кавказа в 2000 г. до настоящего времени (2023 г.), и определить тенденции изменения ледников в XXI веке.

Для исследования произошедших изменений использовались космические снимки Sentinel-2, полученные в конце периода абляции 2023 года. Границы ледников дешифрировались ручным методом в программной среде ArcGIS и сравнивались с данными Каталога ледников России за 2018 г. и с данными инвентаризации ледников Кавказа за 2000 и 2022 г. Кроме этого, в работе был проведён комплексный анализ пространственных изменений ледников с использованием цифровой модели рельефа ASTER GDEM Version 003. Однородность использовавшихся массивов данных и методов их обработки обеспечивала сопоставимость полученных результатов. Оценка величины погрешности дешифрирования проводилась буферным методом.

Выполненное исследование позволило оценить величину изменения площади ледников Кавказа с 2000 по 2023 г. Площадь 1978 ледников составила  $1003.76 \pm 35.1 \text{ км}^2$ , сокращение за 23 года (2000–2023 гг.) составило  $383.4 \text{ км}^2 \pm 35.1 \text{ км}^2$ , что эквивалентно  $27.6 \pm 3.50 \%$ , и составляет  $1.20 \%$  год<sup>-1</sup>. Сравнение полученных результатов с данными предыдущих инвентаризаций позволяет сделать вывод об увеличении скорости сокращения ледников на Кавказе за последние 23 года. В период с 2020 по 2023 г. скорость сокращения ледников Кавказа возросла на  $0.04\%$  год<sup>-1</sup>.

Полученные результаты свидетельствуют о продолжающемся сокращении площади ледников Кавказа, об увеличении скорости сокращения ледников с 2000 по 2023 г., а также о необходимости проведения повторных инвентаризаций с более коротким периодом, чем предыдущие, чтобы не пропустить момент исчезновения ледников и быть готовым к возможным последствиям этого события.

## **Методы оценки качества реконструкций климатических характеристик и лесистости Средней Сибири в голоцене**

Р.А. Андреев

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119234,

Москва, Россия

dorionio40@gmail.com

В условиях климатических изменений исследования колебаний климата в голоцене приобретает все большую актуальность. Увеличение точности реконструкций и их пространственного охвата – одни из главных задач при восстановлении палеоклиматических характеристик [1]. Средняя Сибирь, расположенная в криолитозоне и наиболее уязвимая при потеплении климата, остаётся малоизученным регионом страны в контексте динамики палеоклимата. Данная работа посвящена оценке достоверности количественных реконструкций климатических характеристик (средние температуры января и июля, среднегодовая температура, среднегодовые осадки), а также лесистости в радиусе 20 км. Климатические характеристики реконструированы по палинологическим данным на основе сопоставления современных и ископаемых спорово-пыльцевых спектров.

Исследуемые параметры реконструированы с использованием следующих методов: метод лучших аналогов (modern analogue technique, MAT), трансферные функции – взвешенное осреднение (weighted averaging, WA) и взвешенное осреднение методом наименьших частичных квадратов (weighted averaging partial least squares, WAPLS), а также с помощью метода случайного леса (Random Forest, RF). Источником данных о современных спорово-пыльцевых спектрах выступает база данных поверхностных проб Средней Сибири (севернее 60 с.ш.) с 176 спектрами. Современная лесопокрытая площадь подсчитана по данным ландшафтного покрова WorldCover. Достоверность оценена на примере реконструкции разреза болотных отложений Горное (Тура, Красноярский край) [5].

Для оценки достоверности реконструкций использованы следующие методики: сравнение сходства современных и ископаемых спорово-пыльцевых спектров [8] и оценка статистической значимости с помощью методики, предложенной в [9]. Реконструкции и оценка их достоверности реализованы в программной среде R версии 4.3.3 [6], для метода MAT использован пакет analogue [7], для WA и WAPLS, а также сравнения современных и ископаемых спектров – rioja [2], RF – randomForest [4] и caret [3]. Статистическая значимость реконструкций проанализована в пакете palaeoSig [10].

Первый этап – оценка возможности достоверной реконструкции для конкретного разреза. Данная оценка проводится путём сравнения сходства ископаемых спектров в разрезе и современных спектров. Считается, что ископаемый спектр имеет хороший аналог (или аналоги), если расстояние по

хорде до ближайшего современного спектра-аналога меньше, чем 95% расстояний между современными спектрами. Если расстояние меньше 90%, то образец имеет удовлетворительный аналог [8]. Результат сравнения приведен на рис. 1.

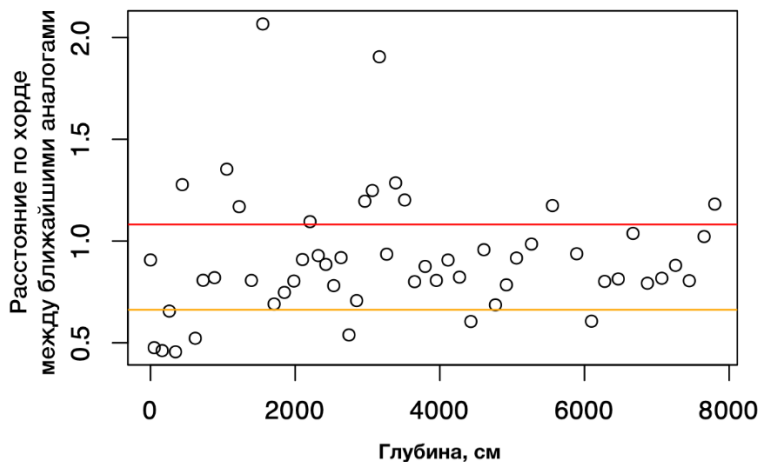


Рис. 1. Расстояния по хорде от ископаемых спектров разреза Горное до ближайших аналогов среди субрецентных спектров. Образцы с расстояниями меньше указанной жёлтой линией имеют хорошие аналоги, меньше красной линии – имеют удовлетворительные аналоги. Точки выше красной линии указывают на образцы с отсутствием аналогов.

Показано, что ближайшие аналоги 77% ископаемых спектров разреза Горное – хорошие либо удовлетворительные аналоги. 15% ископаемой выборки – хорошие аналоги, их больше в верхней части, 62% – удовлетворительные аналоги, 23% спектров не имеют близких аналогов. Таким образом, большая часть ископаемых спектров имеет схожие субрецентные спектры, что позволяет провести относительно достоверные реконструкции.

Второй этап – оценка статистической значимости. Она рассчитывается на основе симуляции реконструкций тем же методом. Реконструкции генерируются путём вычисления случайных параметров (в данной работе – 999) на основе используемых в модели современных и ископаемых спорово-пыльцевых спектров. Реконструкция считается статистически значимой, если она имеет большую долю объяснённой дисперсии, чем случайные реконструкции при заданном уровне значимости. В результате вычисляется р-значение, если оно равно или меньше, чем уровень значимости, следовательно, реконструкция статистически значима [9].



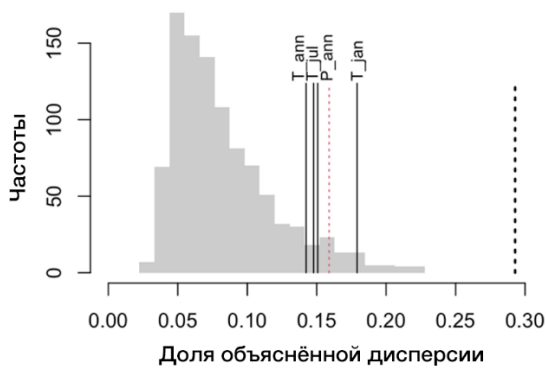


Рис. 2. Оценка статистической значимости для трансферной функции WA (взвешенное осреднение). По оси Y – частота, по оси X – доля объяснённой реконструкцией дисперсии. T\_ann – реконструкция среднегодовой температуры, T\_jul – средней температуры июля, P\_ann – годовых осадков, T\_jan – средней температуры января. Красным пунктиром обозначен 0.05-ый квантиль распределения, чёрным пунктиром – максимально возможная доля объяснённой дисперсии.

В данной работе был выбран уровень значимости 0.1. Это обусловлено малым количеством ископаемых данных, что даёт обоснование повысить вероятность получения ошибки I рода, но считать приемлемыми большее количество реконструкций. Рассмотрим оценку значимости на примере трансферной функции WA. На рис. 2 показано соотношение случайных реконструкций и реконструкций климатических параметров. Можно наблюдать, что больше объяснённой дисперсии, чем у 95% случайных реконструкций получено у реконструкции T<sub>ср. янв.</sub> Остальные реконструкции объясняют больше дисперсии, чем 90% случайных, поэтому, согласно выбранному уровню значимости в 0.1, все реконструкции можно считать статистически значимыми. Результаты оценки статистической значимости реконструкций показаны в таблице 2.

Таблица 2. *p*-значения реконструкций климатических характеристик и климата. Значимые результаты при *p* < 0.1 помечены **полужирным**.<sup>a</sup> Обратная коррекция весов (inverse deshrinking), без снижения весов у таксонов с широкой нишей (tolerance downweighting).

Модели		MAT	WA	WAPLS	RF
Искомые показатели	Параметры и <i>p</i> -значения				
T <sub>январь</sub> , °C	Параметры	8 аналогов	inv.tol <sup>a</sup>	3 компонента	m <sub>try</sub> = 13, maxnodes = 10, n <sub>tree</sub> = 250
	Статистическая значимость	0.23	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>	<b>0.06</b>

<b>T<sub>июль</sub>, °C</b>	Параметры	4 аналога	inv.tol <sup>a</sup>	3 компонента	m <sub>try</sub> = 10, maxnodes = 19, n <sub>tree</sub> = 350
	Статистическая значимость	0.11	0.08	0.41	0.20
<b>T<sub>год</sub>, °C</b>	Параметры	4 аналога	inv.tol <sup>a</sup>	3 компонента	m <sub>try</sub> = 15, maxnodes = 11, n <sub>tree</sub> = 250
	Статистическая значимость	0.30	<b>0.10</b>	<b>0.02</b>	0.18
<b>P, мм/год</b>	Параметры	9 аналогов	inv.tol <sup>a</sup>	3 компонента	m <sub>try</sub> = 9, maxnodes = 10, n <sub>tree</sub> = 400
	Статистическая значимость	0.43	<b>0.08</b>	<b>0.02</b>	0.13
<b>Лесистость в радиусе 20 км, доля</b>	Параметры	4 аналога	inv.tol <sup>a</sup>	3 компонента	m <sub>try</sub> = 9, maxnodes = 25, n <sub>tree</sub> = 250
	Статистическая значимость	0.16	0.06	0.33	0.09

Оценка значимости показывает, что все реконструкции методом лучших аналогов (MAT) не являются статистически значимыми (*p*-значения варьируют от 0.11 до 0.43). Методом WA все реконструкции оказались статистически значимыми (*p*-значения от 0.03 до 0.1), трансферная функция WAPLS показала не значимый результат для средней температуры июля (*p*=0.41) и лесистости (*p* = 0.33). Реконструкции средней температуры января (*p*=0.06) и лесистости (*p* = 0.09) методом RF оказались значимыми, остальные – нет (*p*-значения варьируют от 0.13 до 0.2).

Таким образом, проведена оценка достоверности реконструкции климатических показателей и лесистости для разреза болота Горное по палинологическим данным. Оценка возможности реконструкции данных параметров показала удовлетворительный результат. Согласно оценке статистической значимости реконструкций, более значимый результат показан трансферными функциями WA и WAPLS.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Univ. Press, 2023. P. 287–422.
2. Juggins S. rioja: Analysis of Quaternary Science Data. R package version 1.0-7.
3. Kuhn M. Building Predictive Models in R Using the caret Package // J. Stat. Soft. Vol. 28(5). P. 1-26.
4. Liaw A., Wiener M. Classification and Regression by randomForest // R News. 2002. Vol. 2/3. P. 18-22.

5. Novenko E.Y., Andreev R.A. Quantitative methods for reconstruction of the Holocene paleoclimatic characteristics and vegetation changes based on palynological data from lake and peat sediments // *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. № 4. P. 544–549.
6. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2024. 3917 p.
7. Simpson G.L. Analogue Methods in Palaeoecology: Using the analogue Package // *J. Stat. Soft.* 2007. Vol. 22. № 2. P.1–29.
8. Simpson G.L. Analogue Methods in Palaeolimnology // *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments* / ed. Birks H.J.B. et al. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. Vol. 5. P. 495–522.
9. Telford R.J., Birks H.J.B. A novel method for assessing the statistical significance of quantitative reconstructions inferred from biotic assemblages // *Quaternary Science Reviews*. 2011. Vol. 30. № 9–10. P. 1272–1278.
10. Telford R.J., Trachsel M. PalaeoSig: Significance Tests of Quantitative Palaeoenvironmental Reconstructions. // R package version 2.1-3.

## Изменение географии автомобильной промышленности Чехии в первые два десятилетия XXI века

Е.В. Бухмастов  
Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия  
buegvl@yandex.ru

Автомобильная промышленность является одной из важных ресурсо- и трудоемких отраслей экономики. Большинство производителей автомобилей имеют в своем распоряжении сразу несколько заводов, на которых производится их продукция. Начиная со второй половины XX века, значительно расширилась география автомобильной промышленности в мире.

Одним из регионов, где с начала XXI века стала активно развиваться автомобильная промышленность, является Центрально-Восточная Европа, которая после падения коммунистических режимов стала активно включаться в мировую экономику [2]. Наибольший толчок в развитии автомобильной промышленности в регионе получила Чехия, которая смогла максимально реализовать свои конкурентные преимущества и привлечь сразу нескольких крупных автопроизводителей, что сделало ее одной из ведущих стран по производству автомобилей не только в Европе, но и во всем мире, значительно увеличив количество производимых в ней автомобилей (табл. 1) [3].

Таблица 1. Общее количество произведенных автомобилей в Чехии в 2000 – 2020 годах (шт.) [1, 4].

2000	2005	2010	2015	2020
455481	604930	1076384	1303603	1159151

*Volkswagen.* После покупки заводов Škoda группой Volkswagen в начале 1990-х годов, на них произошла серьезная модернизация, которая с одной стороны позволила остаться им на плаву в тяжелые годы, а с другой – остаться единственным крупным автопроизводителем в стране к началу нулевых годов. С приходом других производителей в последующие десятилетия Volkswagen сохранил за собой лидерские позиции; во все годы производил более половины авто в стране [4].

*Toyota – Peugeot – Citroën.* Не самый удачный проект в истории страны. Основанный как совместное предприятие трех автопроизводителей, завод вышел на свою плановую мощность к 2008 году, после чего количество произведенных автомобилей неуклонно снижалось. Однако производство японских авто на этом заводе было достаточно стабильно, а снижение происходило в основном за счет сокращения производства автомобилей европейских брендов. В данный момент завод полностью перешел под контроль Toyota [1].

*Hyundai*. Корейская компания открыла свой завод в Ношовице в 2008 году, и уже в 2010 г. завод выпустил более 200 тыс. автомобилей, а в 2015 году на заводе было выпущено почти 350 тыс. автомобилей [1].

Автомобильная промышленность Чехии с начала XXI века благодаря стечению разных факторов, в том числе выгодного географического положения, политики властей, направленной на привлечение иностранных инвесторов и наличию квалифицированной рабочей силы, смогла за 20 лет увеличить количество произведенных на ее территории автомобилей почти в три раза (табл. 1). География автомобильной промышленности Чехии претерпела значительные изменения. Если в начале века в стране было лишь два крупных автозавода в Среднечешском и Краловеградском краях, производивших *Škoda*, то спустя два десятилетия автомобильная промышленность пришла и в Моравосилезский край, а в Среднечешском появился еще один завод.

Стоит отметить, что доля Среднечешского края в производстве автомобилей в стране, в котором расположены два из четырех заводов: Volkswagen в Млада-Болеславе и Toyota – Peugeot – Citroën в Колине, постоянно снижалась за последние двадцать лет, в то время как доли нестоличных Краловеградского и Моравосилезского краев росли с каждым годом.

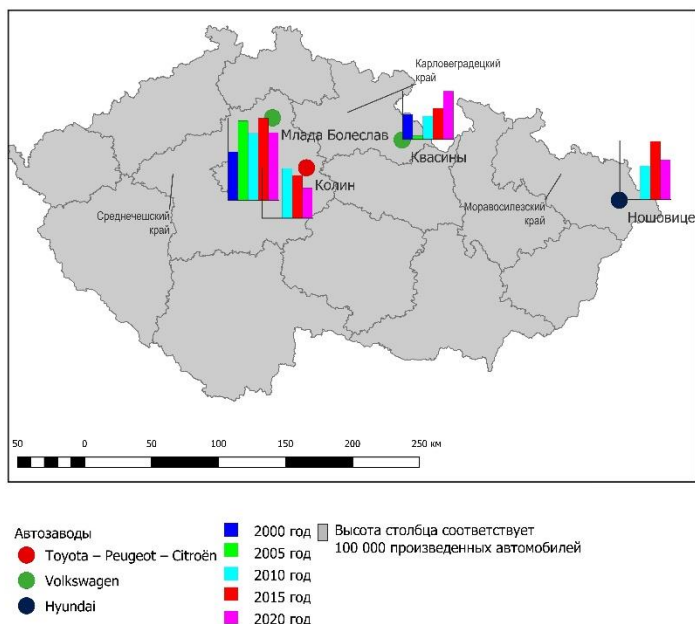


Рис. 1. Количество произведенных автомобилей в Чехии в 2000–2020 гг.  
Составлено автором по: [1, 3].

Подводя итог, можно отметить, что автомобильная промышленность Чехии прошла большой путь трансформации, благодаря которому она смогла не только сохранить мощности, но и увеличить количество автомобилей, которое производится в стране ежегодно, привлечь иностранных инвесторов и запустить несколько новых производств, что вывело Чехию на одно из первых мест по производству (табл. 2).

Таблица 2. Рейтинг стран ЕС по количеству произведенных автомобилей в 2020 году [1].

№	Страна	Количество произведенных авто, шт.
1	Германия	3 713 147
2	Испания	2 266 777
3	Франция	1 327 727
4	Чехия	1 020 213
5	Великобритания	986 765
6	Словакия	819 188
7	Италия	735 665
8	Венгрия	440 067
9	Румыния	438 207
10	Польша	389 857

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильный журнал «Auto.VERcity» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://auto.vercity.ru>.
2. Возмилова С.С., Волгина Н.А. Автомобилестроение в странах Центральной и Восточной Европы: современные тенденции развития // Грузовик. 2015. № 12. С. 34-42.
3. Свиридова М.В. Чехия и Словакия: экономическое развитие после разделения // Социально-экономическая география: теория, методология и практика преподавания: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Москва, 24–25 сентября 2020 года / Под общей редакцией Д.В. Зайца. М.: Общество с ограниченной ответственностью «ПТ-Принт». 2020. С. 73-78.
4. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.oica.net>.

## **Особенности изменения этнического состава населения Каринтии в XX – начале XXI века**

А.П. Васильев

Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

avasilyev100@gmail.com

В самоидентификации этноса или народа важнейшими характеристиками являются не только этническая общность с близкими по языку народностями, но культурная и социально-экономическая. Культура понимается в самом широком смысле как взаимопереплетенный комплекс языка, религии, ценностных норм и обычаев, в котором совместно участвуют члены большой социальной группы. Социально-экономическая общность понимается как взаимосвязанная сеть социальных и экономических связей, устоявшихся в течение долгого времени. Такое определение позволяет понять, почему далеко не всегда народы, составляющие единый языковой ареал, стремятся слиться в одно политическое образование.

В этой статье анализируются особенности изменения этнического состава населения Каринтии в XX – начале XXI века. Здесь рассматриваются только автохтонные народы земли – немцы (австрийцы) и словенцы – и не изучаются аллохтонные – мигранты из других стран и их потомки. Каринтия – это южная земля Австрии, граничащая со Словенией и Италией. Через землю с запада на восток и параллельно государственной границе протекают река Драва (Драу) и её крупный приток – Гайль, в месте слияния которых находится второй по величине город Филлах. К северу от Дравы и к востоку от Филлаха расположена столица земли – Клагенфурт-ам-Вёртерзее.

К началу XX века население состояло преимущественно из двух народов: немцев (78.9% населения) и словенцев (21.1%). Словенцы проживали главным образом в южной части земли: в нижней долине Гайля, в долине Дравы от Филлаха до Драубурга (Дравограда) и к югу от нее. При этом все крупные города были немецкоязычными, а словенцы населяли сельскую, лесистую и горную местность [5].

В конце Первой мировой войны было образовано королевство Сербов, Хорватов и Словенцев (КСХС), к которому отошла юго-восточная часть Каринтии – долина реки Межа и город Дравоград. В 1920 г. был проведен плебисцит с целью определения территориальной принадлежности оставшейся словенской части Каринтии к Австрии или КСХС. В зону референдума вошли долина Дравы и некоторые территории к югу и к северу, но не были включены города Филлах и Клагенфурт. В ареале голосования словенскоязычное население составляло около 69%, а немецкоязычное – 31%. В итоге, 59% голосов было отдано за то, чтобы остаться в составе Австрии. Все немцы и 40% словенцев (в основном жители пригородов) проголосовали за сохранение единой Каринтии. При этом население отдаленных лесистых и горных общин

проголосовало за присоединение к КСХС, однако, границы не были изменены. Основными причинами этого результата стали как экономические: словенцы не захотели терять крупные рынки сбыта своей сельскохозяйственной продукции в немецкоязычных городах – так и социокультурные: общекаринтийское национальное сознание во многом перевесило тяготение к единой югославянской общности. Также в преддверии референдума правительство Каринтии заверило, что будет поддерживать и способствовать сохранению словенской культуры [3].

Сохранение южной Каринтии в составе Австрии привело к постепенной и долговременной ассимиляции словенцев, которые имели права меньшинства до аннексии Австрии Германским Рейхом в 1938 г. Первоначально существовали двуязычные школы, приходы, газеты, клубы, банки, и действовали политические представители в общинах и в парламенте земли. Однако впоследствии все чаще проводилось различие между «немецкими» и «национальными» словенцами, активно германизировались школьное образование и общественная жизнь. В годы Второй мировой войны словенский язык был запрещен, а многие словенцы были депортированы [1].

В 1955 г. был подписан Австрийский государственный договор, статья 7 которого регулирует права словенского и хорватского меньшинств в Австрии. Несмотря на расширение прав словенцев, включая двуязычное образование и предоставление социальных услуг, ассимиляция продолжилась, достигнув пика в 1970-х гг., когда немецкий язык снова во многом вытеснил словенский из школьной и общественной жизни. В настоящее время предпринимаются меры по сохранению словенского языка и культуры, в частности становится более доступным школьное образование на этом языке, и были установлены двуязычные указатели в общинах, где не менее 10% жителей говорят на словенском. Тем не менее, в 2017 г. единственным государственным языком Каринтии был признан немецкий, что было раскритиковано в министерстве иностранных дел Словении [1, 2].

Вследствие ассимиляции наблюдается значительное сокращение числа словенцев и ареала их компактного проживания в Каринтии. Если в 1910 г. в земле насчитывалось 66,5 тыс. словенцев на территории около 2.0 тыс. км<sup>2</sup>, то в 2011 г. – 14.0 тыс. на 0.5 тыс. км<sup>2</sup> (табл. 1). Доля словенцев в населении земли упала с 19% до 2.5%. В настоящее время преимущественно они проживают в лесистых и горных общинах (Целль, Айзенкаппель, Глобасниц и др.) вдоль границы со Словенией.

Постепенная успешная ассимиляция словенцев во многом объясняется складыванием такого этнокультурного феномена как винд (виндиш). В предшествующие столетия вследствие преобладания немецкого языка в общественно-политической сфере и в крупных городах многие словенцы постепенно перенимали немецкую культуру и образ жизни, и их стали называть виндами, в отличие от других словенцев, менее подверженных этому влиянию.



Винды, считая себя словенцами с лингвистической точки зрения, не признавали словенскую политическую и частично культурную общность. Именно голоса виндов стали решающими на референдуме 1920 г. В 1920-1930-х гг. многими политиками принимались попытки разделить виндов и словенцев и представить первых как отдельный этнос. Однако они являлись и являются переходной группой в процессе ассимиляции, при котором словенцы сначала со сменой поколений становятся виндами, а затем – немцами. Винды постоянно фигурировали в переписях населения (19% всех словенцев 1971 г., 14% в 1981 г. и т.д.). По мнению профессора Клагенфуртского университета Хайнца-Дитера Поля «винд предстает как социологически и лингвистически трудное для понимания временное состояние, которое связано с индивидами или отдельными семьями (находящимися в статусе ассимиляции), но не с группами, этнически принадлежащими друг другу» [3].

Таблица 1. Изменение численности населения словенцев в Каринтии

Год	Население Каринтии (тыс. чел.)	Число словенцев (чел.)	Доля словенцев (%)
1910	около 350.0	66 463	19.0
1939	449.7	43 179	9.6
1951	472.0	42 095	8.9
1961	496.4	24 911	5.0
1971	527.3	20 972	4.0
1981	536.6	16 552	3.1
2001	559.7	12 586	2.2
2011	556.4	14 000	2.5

Составлено по [2, 4].

Таким образом, в Каринтии, сохранившей свое территориальное единство, проживают две этнические группы: немцы и словенцы, при этом число словенцев, объединяемых по языковому принципу, выше числа тех, которых определяют по национальному и культурному. Существует промежуточная группа, или «переходная этническая принадлежность», определяемая во многом самим индивидом или отдельными семьями. В рамках этой группы происходит постепенная ассимиляция словенцев, а их доля в населении постоянно снижается. Тем не менее, Каринтия сегодня по-прежнему двуязычна, поскольку словенское меньшинство составляет одну из основ этнолингвистического ландшафта и сохраняет ареал компактного проживания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Novak G. 100 Jahre Kärntner Volksabstimmung: Eine Volksgruppe verschwindet // DerStandart, 2020 [Электронный ресурс].

Режим доступа: <https://www.derstandard.at/story/2000120424527/100-jahre-kaerntner-volksabstimmung-eine-volksgruppe-verschwindet>.

2. Pohl H.D. Das gemeinsame Kärnten – 100 Jahre nach der Volksabstimmung // Kärntner Jahrbuch für Politik. 2020. Hermagoras/Mohorjeva, 2020. S. 186-209.
3. Pohl H.D. Die ethnisch-sprachlichen Voraussetzungen der Volksabstimmung // Die Kärntner Volksabstimmung 1920 und die Geschichtsforschung. Leistungen, Defizite, Perspektiven. Internationale wissenschaftliche Tagung, 6./7. Oktober 2000 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://members.chello.at/heinz.pohl/Volksabstimmung.htm>.
4. Statistik Austria [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.statistik.at/>.
5. Verteilung der Bevölkerung Kärntens nach der Umgangssprache auf Grund der Volkszählung von 1910 (ohne Militär) // University of Illinois Library // Digital Collections [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://digital.library.illinois.edu/items/f01594d0-17c7-0137-6b56-02d0d7bfd6e4-9#?c=0&m=0&s=0&cv=0&r=0&xywh=-2496%2C0%2C8990%2C2947>.

## **Строение, возраст и условия формирования четвертичных отложений табагинской террасы р. Лена (по материалам стоянки Дири́нг-Юря́х)**

А.Н. Васильева<sup>1,2\*</sup>, **А.А. Галинин**, Р.Н. Курбанов<sup>1,3</sup>, А.А. Анойкин<sup>4</sup>,  
В.М. Лыткин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск,  
Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991,  
Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт археологии и этнографии СО РАН, 630090, Новосибирск,  
Россия

\*angievasilieva@gmail.com

В настоящее время вопрос распространения, строения, возраста и морфологии комплекса террас р. Лена изучен недостаточно: плохо определены геоморфологические позиции отдельных террас; недостаточно обосновано строение формирующих террасы отложений; отсутствуют надежные геохронологические данные об этапах их формирования. Исключительный интерес представляет табагинская терраса в связи с ее геоморфологическим положением, древним возрастом, а также с тем, что в ее отложениях была обнаружена самая северная из известных в настоящее время стоянок раннего палеолита – Дири́нг-Юря́х, вопрос о хронологии которой окончательно не решен [2, 4, 8].

В 2019 – 2024 гг. с целью характеристики строения четвертичных отложений табагинской террасы и реконструкции этапов ее формирования проведены комплексные исследования в пределах ранее изученной площади археологической стоянки Дири́нг-Юря́х (61.204199° с.ш.; 128.482205° в.д.), расположенной на правом берегу р. Лена в 140 км выше г. Якутск на мысовом участке 105 – 165-метровой (VIII) террасы. Рельеф в районе стоянки ступенчатый – на протяжении 1 км от бровки террасы относительные отметки повышаются от 105 до 165 м, образуя несколько пологонаклонных террасовидных ступеней 105-120 м, 125-135 м и 140-165 м [2]. Работы включали в себя геоморфологическое обследование, поиск, зачистку и описание обнажений, изучение литологии и текстурных особенностей, отбор проб для абсолютного датирования.

В ходе исследований установлено, что в четвертичных отложениях стоянки Дири́нг-Юря́х, приуроченной к 105–165-метровой (табагинской) надпойменной террасе р. Лена, снизу-вверх вскрываются:

1) пачка I (0–105 м) – цоколь из кембрийских известняков [4, 8]. Верхние 10–15 см являются элювием, состоящим из белесой глины со щебнем. В цоколе обнаружены многочисленные карстовые воронки;

2) пачка II (105–120 м) – русловая фация аллювия, представленная песками крупно-, среднезернистыми, сильно ожелезненными. Верхние 20–30 см отложений красного цвета, ниже – переслаивание красных и оранжевых слоев. В нижней части пачки выделяется базальный галечник русловой фации аллювия, мощностью 0.5–1.2 м, состоящий из гравия округлой формы, гальки и мелких валунов;

3) пачка III (115–120 м) – первично-песчаные жилы, заполненные серым разнозернистым хорошо сортированным песком с вертикальной слоистостью. Верхняя часть жил срезана последующей дефляцией, ширина жил – до 5 м, глубина – до 4 м. На контакте с жилами серии слоев русловых песков слоя 3 пачки II смятые и воздымаются вверх, создавая вертикальную слоистость;

4) пачка IV (120–121 м) – гравийно-галечно-валунный дефляционный слой с хорошо сортированным светлым песчаным заполнителем. Гравий и гальки состоят из кремнистых пород (65–70%), кварцитов (20%) и жильного кварца (10 %). Основная часть крупных галек и все валуны состоят из кварцитов. На всем обломочном материале наблюдаются следы эоловой коррозии, полировки и пустынный загар;

5) пачка V (121–155 м) – чередование песков разнозернистых от серовато-оранжевого до оранжевого цвета, супесей и суглинков от голубого до сизоватого цвета. Залегание горизонтальное и горизонтально-волнистое, наиболее отчетливо слоистость просматривается в нижней части пачки. Наблюдаются мерзлотные сингенетические жилы, а также псевдоморфозы по ледяным клиньям. Выявлены следы почвообразования и солифлюкции;

6) пачка VI (155–160 м) – песок мелко- и среднезернистый светло-желтовато-серого цвета, хорошо сортированный, с тонкими прослоями суглинков и супесей, мощностью 0.5–2 см. Горизонтальная и горизонтально-волнистая слоистость. Установлены мерзлотные жилы и почвенные слои. Пачка отнесена к дьолкуминской свите.

Характеристика строения отложений разрезов стоянки Диринг-Юрях и новые данные об абсолютном возрасте отложений [2], [6] позволили уточнить хронологию этапов формирования отложений табагинской террасы. Выделена серия этапов ее развития.

1) поздний плиоцен (конец палеомагнитной эпохи Гаусс > 2.6 млн л.н.; из пачки II на глубинах 145, 200 и 260 см от поверхности были получены 3 запредельные даты по кварцу и по КППШ – по сигналу ИКСЛ50, 290 возраст пачки > 215, > 247 и > 273 тыс. л. н.). В этот этап р. Лена была выше современного уровня на 105 м и размывала известняковые кембрийские породы (пачка I). Грубый состав отложений в нижней части пачки II указывает на интенсивные эрозионные процессы, которые происходили во время образования террасы [1]. Особенности залегания и состав табагинских галечников свидетельствуют о том, что долина средней и нижней Лены имела

асимметричное строение за счет мощного развития левых притоков и слабого развития правых;

2) средний плейстоцен (из пачки III на глубинах 160 и 230 см от поверхности были получены 2 запредельные даты –  $> 314$  и  $> 216$  тыс. л.н.). Образование первично-песчаных жил (пачка III). После понижения уровня р. Лена, во время похолодания, аллювиальные отложения пачки II стали растрескиваться, и песок, переносимый ветром, начал заполнять эти трещины. Жилы достигли больших размеров в результате того, что процесс был многократным. Вероятно, единичный гравий был занесен в жилы ветром из пачки II;

3) средний плейстоцен – активизация эоловых процессов. Дефляции подверглись аллювиальные отложения (пачка II) и верхняя часть песчаных жил (пачка III). Ветер выдувал с аллювиальных отложений весь тонкодисперсный материал, а гравий, гальку и валуны скатывал на общую поверхность, образуя гравийный слой. На всем обломочном материале видны следы эоловой корразии, полировки и пустынного загара;

4) средний плейстоцен (для пачки V на глубинах 240 и 320 см от поверхности были отобраны 2 образца, которые оказались запредельными как по кварцу, так и по КПШ – по сигналу ИКСЛ50, 290 возраст отложений оказался древнее 248 и 237 тыс. л.н.). Дефляционный горизонт с ветрогранниками и каменными орудиями был перекрыт мощной толщей эоловых песков, супесей и суглинков (пачка V). Предполагается, что в то время было похолодание и пачка песков была заморожена, а затем деформирована в процессе солифлюкции. Вероятно, в этот период была сформирована мавринская свита в пределах обнажения Усть-Буотама IV надпойменной бестяхской террасы [2, 7];

5) поздний плейстоцен (для отложений пачки VI на глубинах 30, 90, 130, 140, 150, 160, 180, 200 и 220 см от поверхности получено 10 ОСЛ дат:  $21.1 \pm 1.8$  (208229),  $15.1 \pm 1.4$  (218241),  $14.9 \pm 0.9$  (218237),  $14.6 \pm 0.5$  (208230),  $14.1 \pm 1.2$  (218240),  $12.6 \pm 1.1$  (218236),  $12.2 \pm 1.3$  (218239),  $11.9 \pm 0.8$  (218235),  $11.7 \pm 1.2$  (218238) и  $9.9 \pm 0.7$  (218234) тыс. л.н.). Возобновление процесса эоловой аккумуляции, который совпадает с глобальным термическим минимумом (21 – 18 тыс. л.н.). Принесенный ветром песок в западной части террасы перекрывает каменные орудия дюктайской культуры, а в восточной части – более древние эоловые отложения (пачка V). Также на отложения пачки VI повлияли криогенные процессы. Полученные данные указывают на то, что эоловые отложения в пределах стоянки коррелируют с регионально развитой субэаральной дьолкуминской свитой [3, 5]. Время формирования отложений свиты характеризуется широким развитием эоловых процессов и криогенеза, эоловое рельефообразование достигло наиболее существенных масштабов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев М.Н., Куприна Н.П., Медянцев А.Н., Хорева И.М. Стратиграфия и корреляция неогеновых и четвертичных отложений северо-восточной части Сибирской платформы и ее восточного складчатого обрамления. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. 127 с.
2. Галанин А.А., Курбанов Р.Н., Лыткин В.М., Васильева А.Н., Шапошников Г. И. Новые данные о строении и возрасте нижнепалеолитической стоянки Диринг (Центральная Якутия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции. Якутск: СВФУ, 2021. С. 23—26.
3. Камалетдинов В.А., Минюк П.С. Строение и характеристика отложений бестяхской террасы Средней Лены // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода АН СССР. № 60. М.: Наука, 1991. С. 68-78.
4. Мочанов Ю.А. Древнейший палеолит Диринга и проблема внетропической прародины человечества. Новосибирск: Наука, 1992. 253 с.
5. Правкин С.А., Большианов Д.Ю., Поморцев О.А., Савельева Л.А., Молодьков А.Н., Григорьев М.Н., Арсланов Х.А. Рельеф, строение и возраст четвертичных отложений долины р. Лены в Якутской излучине // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. № 63 (2). С. 209-229.
6. Lukyanycheva M., Kurbanov R., Taratunina N., Vasilieva, A., Lytkin V., Panin A., Anoikin A., Stevens T., Murray A., Buylaert J.-P., Knudsen, M. Dating post LGM aeolian sedimentation and the Late Palaeolithic in Central Yakutia (Northeastern Siberia). // Quat. Geochronology. 2024. Vol. 83. P. 101563. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2024.101563>.
7. Vasilieva A.N., Murray A.S., Taratunina N.A., Buylaert J.-P., Lytkin V.M., Shaposhnikov G.I., Stevens T., Ujvari G., Kertész T.G., Kurbanov R.N. Absolute dating of sediments forming the Lena river terraces (Northeastern Siberia) // Quaternary Geochronology. 2024. Vol. 83. P. 101592. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2024.101592>
8. Waters M.R., Forman S.L., Pierson J.M. Diring Yuriakh: A Lower Paleolithic site in central Siberia. // Science. 1997. № 275. P.1281–1284. <https://doi.org/10.1126/science.275.5304.1281>

## **Технология создания легенды ландшафтной карты по литературным источникам и данным дистанционного зондирования**

В.Н. Вульвач\*, П.Е. Каргашин\*\*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Россия

\*vulvach.msu@mail.ru, \*\*p.e.kargashin@mail.ru

Создание ландшафтной карты представляет собой комплексный процесс, включающий сбор, обработку и картографическое отображение данных о природных территориальных комплексах (ПТК). Ландшафтные карты отражают пространственное распределение и взаимосвязи природных компонентов (рельеф, почвы, растительность и др.), а также антропогенные преобразования. Отдельно стоит остановиться на создании легенды к ландшафтной карте, так как это сложная научно-практическая задача, требующая детальной интерпретации результатов полевых описаний или данных, полученных с помощью дистанционных методов, и обобщения полученных знаний в единой классификации [2].

Технология разработки легенды и создания ландшафтных карт на основе данных дистанционного зондирования (ДДЗ) является важным инструментом для анализа природных территориальных комплексов в труднодоступных и уязвимых регионах, таких как Арктика. В частности, при исследовании Заполярного газового месторождения эта технология позволяет проводить мониторинг изменений ландшафтов, обусловленных как естественными факторами, так и антропогенным воздействием, техногенной нагрузкой.

Современные ландшафтные карты не содержат в названии ПТК возраст и геологические характеристики, за редким исключением может быть указано несколько типов отложений. Однако стоит подчеркнуть, что с развитием индикационного ландшафтоведения фокус сместился в сторону интерпретации состава и свойств растительного покрова, как следствие и почвенного.

ПТК в пределах лицензионного участка Заполярного месторождения можно подразделить на три глобальных типа: приуроченные современным флювиальным процессам, овражно-балочной сети и выровненным водораздельным поверхностям. Главным рельефообразующим фактором в рамках микроформ является река, так как она преобразовывала видимый облик территории не только в период голоцена, но и на конечных стадиях оледенения. По открытым данным цифровой модели рельефа (ArcticDEM с пространственным разрешением 32 м) можно однозначно определить следующие основные геоморфологические элементы рельефа Пур-Тазовского междуречья: плоские и слабонаклонные зандровые равнины (плакор); слабонаклонные и наклонные равнины, приуроченные к овражно-балочной сети; озерно-ледниковая равнина, приуроченная к болотам; озерно-ледниковая

равнина, приуроченная к рекам; вторая надпойменная аллювиальная терраса, первая надпойменная аллювиальная терраса; пойма; балки и овраги.

На предварительном этапе изучения территории Заполярного месторождения был рассмотрен не только рельеф и история развития, но и типичные ландшафты, характерные для лицензионного участка. Растительность была разделена на два класса: зональные сообщества и интразональные, которые представлены болотными ассоциациями. В наиболее общем виде можно выделить луга, тундру, темнохвойную растительность, болота и слабо развитый растительный покров, приуроченный к местам добычи песка в пойме реки. Луга в данной работе не дифференцированы по видам, сформировав единый тип разнотравно-злаковых и злаковых. Доминантные виды темнохвойных лесов представлены лиственницей и елью. Тундра подразделяется на мохово-лишайниковую с елью, мохово-лишайниковую и лишайниково-зеленомошную. Болота, в зависимости от положения в ландшафте, подразделяются на плоскобугристые мерзлые торфяные болота с кустарниково-мохово-лишайниковым покровом, плоскобугристые мерзлые торфяные болота с травяно-моховым покровом и кочковатые мерзлые кустарничково-лишайниково-моховые. В итоговый вариант легенды вошли следующие растительные ассоциации: слабо развитый растительный, разнотравно-злаковые и злаковые луга, елово-лиственничные зеленомошные леса, мохово-лишайниковая тундра с елками, мохово-лишайниковая тундра, лишайниково-зеленомошная и травяно-кустарниковая тундра, плоскобугристые мерзлые торфяные болота с кустарниково-мохово-лишайниковым покровом, плоскобугристые мерзлые торфяные болота с травяно-моховым покровом, кочковатые мерзлые кустарничково-лишайниково-моховые болота [1].

Полное название ПТК при составлении ландшафтных карт отражает информацию не только о растительном, но и почвенном покрове определенного выдела. Основная сложность исследования заключается в том, что по ДДЗ невозможно определить тип почв. В связи с этим, основные типы почв, которые могут быть распространены в пределах лицензионного участка, были взяты из информационной системы Почвенно-географическая база данных России [3] и сопоставлены с опознанными видами растительности. По данным интернет-портала были отобраны следующие почвы: слабоподзолистые иллювиально-железистые, тундровые остаточные-иллювиально-гумусовые глееватые и почвы пятен, пойменные дерновые глееватые (слоистые), тундровые глеевые торфянисто-перегонные и почвы пятен, торфяные болотные переходные и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся), торфянисто- и торфяно-глеевые болотные, тундровые глеевые торфянистые и торфяные почвы мерзлотных трещин.



Ввиду того, что данные по почвенному покрову не имеют полевых подтверждений, для внедрения типизации в легенду карты названия были значительно преобразованы:

- слабоподзолистые иллювиальное железистые – слабоподзолистые иллювиальные железистые;
- тундровые остаточно-иллювиально-гумусовые глееватые почвы пятен – тундровые глееватые;
- пойменные дерновые глееватые (слоистые) – пойменные глееватые;
- тундровые глеевые торфянисто-перегнойные и почвы пятен – тундровые глеевые;
- торфяные болотные переходные и торфяные болотные деградирующие (минерализующиеся) – торфяные болотные;
- торфянисто- и торфяно-глеевые болотные, тундровые глеевые торфянистые и торфяные и почвы мерзлотных трещин – торфянисто- и торфяно-глеевые болотные.

При создании ландшафтной карты по ДДЗ два основных параметра – это растительность и рельеф. В легенде необходимо было отразить 15 типов растительных сообществ и приуроченность к 9 формам рельефа, тем самым столбцы отражали растительность, а строки – рельеф. Определение форм рельефа проводилось по ЦМР, для растительности были установлены диапазоны значений NDVI и NDWI для почв, которые фактически подразделяли растительный покров на типы по уровню влажности. Расчет индексных изображений проводился по космическим снимкам Landsat-5 и Landsat-8. Например, для луговой растительности на пойменных почвах характерны значения от 0.05 до 0.2 по NDVI и от 0.6 до 0.8 по NDWI.

При создании ландшафтных карт важно не только показать пространственное распределение ПТК и их приуроченность к формам рельефа, но и сформировать понимание закономерностей и связей между геоморфологией и растительностью. Поэтому при разработке легенды был использован матричный подход и уникальная система кодировки:

- индекс ПТК, кроме приуроченных к балкам и оврагам, представлен в виде числа с тремя разрядами: 101, 516, 803 и т.д.
- первый и второй десяток числа включают в себя тип растительного покрова: 01 – слаборазвитый растительный покров с проективным покрытием на слабоподзолистых иллювиально-железистых почвах, 02 – разнотравно-злаковые и злаковые луга на тундровых глееватых почвах, 03 – разнотравно-злаковые и злаковые луга на слабоподзолистых иллювиально-железистых почвах, 04 – разнотравнозлаковые и злаковые луга на пойменных глееватых почвах, 05 – елово-лиственничные леса на слабоподзолистых иллювиально-железистых почвах, 06 – елово-лиственничные леса на пойменных глееватых почвах, 07 – мохово-лишайниковая тундра с елью на тундровых глееватых почвах, 08 – мохово-лишайниковая тундра с елью на тундровых глеевых почвах,

09 – лишайниково-зеленомошная и травяно-кустарниковая тундра на тундровых глееватых почвах, 10 – лишайниково-зеленомошная и травяно-кустарниковая тундра на тундровых глеевых почвах, 11 – плоскобугристые мерзлые торфяные болота с кустарниково-мохово-лишайниковым покровом на торфяных болотных почвах, 12 – плоскобугристые мерзлые торфяные болота с кустарниково-мохово-лишайниковым покровом на торфянисто- и торфяноглеевых болотных почвах, 13 – плоскобугристые мерзлые болота с травяно-моховым покровом на торфянисто- и торфяноглеевых болотных почвах, 14 – кочковатые мерзлые кустарниково-лишайниково-моховые болота на торфяных болотах, 15 – кочковатые мерзлые кустарниково-лишайниково-моховые болота на торфянисто- и торфяноглеевых болотных почвах.

- третий разряд числа предопределяет форму рельефа: 1 – плоские слабонаклонные зандровые равнины (плакор), 2 – слабонаклонные и наклонные равнины, приуроченные к овражно-балочной сети, 3 – озерно-ледниковая равнина, приуроченная к болотам, 4 – озерно-ледниковая равнина, приуроченная к рекам, 5 – вторая надпойменная аллювиальная терраса, 6 – первая надпойменная аллювиальная терраса, 7 – пойма.
- индексы ПТК, сформированные в балках, пронумерованы от 1 до 15 (напоминает нумерацию, которая соблюдается в типах растительности)
- индексы ПТК, сформированные в оврагах, пронумерованы от 21 до 35, что также позволяет интуитивно воспринимать растительный покров и влажность почв.

Для оформления легенды и однозначных различий в представленных ПТК были использованы цвет, штриховка и нумерация индексов. Цветовая гамма была разработана на основе ассоциаций растительных сообществ: луга – зеленый, тундра серая и оливковая (в зависимости от преобладания мха и лишайника), темнохвойные леса – голубые, болота – розово-фиолетовые и темно-зеленые. Оттенок подбирался на основе влагосодержания в почве: чем насыщеннее цвет, тем более влажная почва. Штриховка назначалась отдельным формам рельефа для отражения различий геоморфологической приуроченности. Отмычка цвета была использована для овражно-балочной сети, чтобы отразить не только структурную единицу рельефа, но и передать современность процесса.

[illegible]

Рис. 1 Фрагмент разработанной матричной легенды для ландшафтных карт месторождения. Составлено автором

При создании картографического изображения необходимо проводить интерпретацию и верификацию распознаваемых объектов и их характеристик, опираясь не только на разработанную легенду, но и естественный рисунок местности. С помощью ГИС-инструментов создавались вспомогательные картографические материалы, на которых были выделены различные типы ландшафтов, такие как тундра, леса, водные объекты и антропогенные территории. Особое внимание уделено выявлению изменений ландшафтов, связанных с техногенным воздействием. В условиях арктических газовых месторождений эти изменения могут включать угнетение растительности, эрозию почв, а также образование новых техногенных форм рельефа.

Таким образом, использование данных ДЗЗ для создания ландшафтных карт позволяет проводить детализированный и комплексный анализ состояния природных территориальных комплексов, а также обобщать максимум информации о состоянии и трансформации природных территориальных комплексов на одной карте. Эта технология играет важную роль в экологическом мониторинге арктических регионов, где традиционные методы исследования часто затруднены из-за удаленности и экстремальных климатических условий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Тюменской области. Вып. 1. М.; Тюмень: Главное управление геодезии и картографии Совета министров СССР. 1971. 27 с.
2. Звонкова Т.В., Семенова Л.А., Семенова Г.С. Географическое обоснование экологических экспертиз. М.: МГУ. 1985. 207 с.
3. Почвенно-географическая база данных России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://soil-db.ru/map/fridland>.

## **Подходы к картографированию динамики лесов с использованием спутниковых снимков**

А.Е. Гнеденко

Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

gnedenko.a.e@igras.ru

Изучение изменчивости площадных характеристик лесов и их состава неразрывно связано с задачами рационального управления ресурсами и адаптации к глобальным климатическим изменениям [3]. Один из ключевых источников данных для этого – спутниковые снимки, позволяющие исследовать лесной покров на различных пространственных уровнях и за широкий временной промежуток, охватывающий несколько десятилетий [2].

Как правило, картографирование состава лесов проводится с использованием эколого-фитоценотического (доминантного) подхода на уровне формаций или групп ассоциаций. Среди его преимуществ можно отметить простоту обработки полевых данных и интерпретации результатов дешифрирования, что обосновывается использованием информации о доминантах растительных ярусов в качестве основной характеристики. В качестве альтернативного подхода при картографировании состава лесов используется эколого-флористическая классификация, которая, как правило, считается менее подходящей из-за сложности обработки полевых данных и более низкой точности результатов дешифрирования. В представленной работе проведено сравнение этих подходов для картографирования динамики лесов на примере севера Московской области.

В качестве исходных материалов использовались полные геоботанические описания, спутниковые снимки Landsat-5 и Landsat-8 и цифровая модель рельефа. В результате были подготовлены карты на 2021 и 1986 гг. с использованием эколого-фитоценотического и эколого-флористических подходов на уровне групп ассоциаций. Для модельного участка более точные результаты классификации снимков получены с использованием эколого-флористического подхода на оба временных среза (72% для э.-фит. и 84% для э.-флор.). Хотя этот подход считается менее точным при картографировании лесов с использованием данных дистанционного зондирования, модельный регион отличается высокой антропогенной нарушенностью. Это приводит к высокой полидоминантности состава лесов, в результате чего и древесный, и травяно-кустарничковый ярусы зачастую не имеют ярко выраженных преобладающих видов, а пространственная структура растительного покрова очень мозаичная.

Результаты дешифрирования динамики лесов модельного региона показывают более высокую точность эколого-флористической классификации по сравнению с более общепринятым подходом. Поскольку она широко применяется для рудеральной растительности [1], то данный подход имеет

перспективу использования для картографирования динамики лесов, подвергающихся постоянному и значительному антропогенному воздействию.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИГ РАН FMWS-2024-0007(1021051703468-8) «Биотические, географогидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Метод классификации растительности по Браун-Бланке в России // Журнал общей биологии. 2009. Т. 70. № 1. С. 66-77.
2. Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. Vol. 342 (6160). P. 850-853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
3. Nguyen H.T., Soto-Berelov M., Jones S.D., Haywood A., Hislop S. Mapping Forest disturbance and recovery for forest dynamics over large areas using Landsat time-series remote sensing // Proc. SPIE 10421, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology. 2017. <https://doi.org/10.1117/12.2276913>

## **Демографическая динамика и структура домохозяйств в сжимающихся городах Урала**

В.А. Ефремова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г.  
Москва, территория Ленинские горы, 1  
vaebremova@gmail.com

Современный этап городского развития отмечен появлением значительного числа сжимающихся городов – городов с выраженной убылью населения. Сокращение населения городов за счет сочетания естественной убыли и миграционного оттока связано с проявлением на локальном уровне демографических, социально-экономических, расселенческих факторов. Естественная убыль обусловлена низкой рождаемостью и повышенной смертностью в связи с высокой долей лиц старших возрастных групп. Значимое влияние на динамику населения и трансформацию возрастной структуры оказывает миграционный отток по причине ограниченных возможностей получения образования и трудоустройства, низкого качества городской среды, иногда в сочетании с удаленностью города от крупных центров и неблагоприятными природными условиями.

Для сжимающихся городов характерны специфичные проблемы городского планирования, связанные с необходимостью адаптации жилищного фонда и инфраструктуры к изменившейся численности и структуре населения. В большинстве исследований при анализе городов используются показатели общей численности населения, однако для детального понимания демографических процессов и оценки их влияния на ситуацию в жилищной сфере актуально рассмотрение динамики числа домохозяйств.

В данной статье рассматривается демографическая динамика и изменения в структуре домохозяйств в сжимающихся городах Урала (Республики Башкортостан, Удмуртской Республики, Пермского края, Курганской, Оренбургской, Свердловской и Челябинской областей). Выбор этого региона обусловлен выраженностью тенденции убыли населения и актуальностью реновации городской среды. Значительное разнообразие городов по природным условиям и транспортно-географическому положению, времени основания, экономическим функциям и их современной динамике, территориальной структуре позволяет сравнить их между собой, выявить типы по особенностям социально-экономического развития.

В качестве материала для анализа использовались данные о численности населения и числе домохозяйств городов Урала из публикаций итогов Всероссийских переписей населения 2002, 2010 и 2020 годов на официальных сайтах территориальных органов Федеральной службы государственной статистики (Росстата) по Республике Башкортостан, Удмуртской Республике,

Оренбургской области, Пермскому краю, Свердловской и Курганской областям, Челябинской области.

Общей тенденцией, характерной для многих городов мира является рост числа домохозяйств, уменьшение среднего размера домохозяйства и увеличение доли домохозяйств, состоящих из одного человека [2, 3]. Сходные процессы характерны и для России, по данным переписи 2020 года значительно вырос удельный вес домохозяйств из одного человека, причем впервые среди них стали преобладать лица трудоспособного возраста [1].

Анализ результатов переписей населения в городах Урала показывает, что, несмотря на общее сокращение численности населения, в большинстве из них наблюдается рост числа домохозяйств. Это связано с уменьшением среднего размера домохозяйств и увеличением доли одиночных домохозяйств, особенно среди людей в возрасте 25–35 лет и старше 60 лет. Наибольшее несоответствие между динамикой численности населения и количеством домохозяйств наблюдается в региональных центрах, которые привлекают молодое население, создающее одиночные домохозяйства. Повышенная доля домохозяйств, состоящих из одного человека, также характерна для периферийных малых и средних городов.

Анализ демографической динамики городов с использованием показателей общей численности населения, отдельных возрастных групп и числа домохозяйств помогает глубже понять разнообразие тенденций, причин и последствий сокращения населения. Учет этих процессов важен для управленческой практики, особенно в контексте реновации жилищного фонда и городской среды.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьева Л.М., Корчагина И.И. Демографическая структура семей и домохозяйств в России, её динамика по данным переписей населения // Демографическое обозрение. 2023. Т. 10. №. 2. С. 4–17.
2. Buzar S., Ogden P. E., Hall R. Households matter: the quiet demography of urban transformation // Progress in Human Geography. 2005. Vol. 29. № 4. P. 413–436.
3. Hartt M., Hackworth J. Shrinking cities, shrinking households, or both? // International Journal of Urban and Regional Research. 2020. Vol. 44. № 6. P. 1083–1095.

## **Динамика сезонно-талого слоя Приуральского района Ямало-Ненецкого автономного округа (по данным сети CALM)**

С.О. Жарнова, М.А. Каширо

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
634050, Томск, Россия  
zharnova\_sofya@mail.ru

Для Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) изучение мерзлотных процессов, их мониторинг и выявление закономерностей развития являются актуальными направлениями исследований, поскольку присутствие мерзлоты в грунтах значительно изменяет ход строительства сооружений и их дальнейшего функционирования. Для изучения развития деятельного слоя в пределах лесотундровой зоны ЯНАО автором были проведены полевые исследования в составе ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» [2], построены карты глубин протаивания для полигонов CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring) и проведен анализ зависимости глубин сезонного протаивания от условий окружающей среды для территории Приуральского района ЯНАО. Исследования проводились в рамках Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации [4] с использованием данных Международной программы CALM, задачами которой являются изучение широкомасштабных изменений глубины деятельного слоя и его воздействия на ландшафтные процессы в полярных и приполярных широтах путём проведения ежегодного мониторинга на отведённых площадках [5].

Деятельный слой включает в себя сезонно-талый слой (СТС) и сезонно-мёрзлый слой (СМС), существенным отличием которых является вертикальное строение: для СМС характерно прерывистое залегание верхнего замерзающего грунта и многолетнемёрзлых пород (ММП) – наличие таликов, в то время как для СТС характерно слияние подошвы с кровлей ММП [3].

Исследование деятельного слоя проводилось на четырёх площадках: Лабитнанги и Октябрьский, где мониторинг осуществлялся с 2013 по 2021 г., Салехард и Горноknязевск, где мониторинг был начат в 2021 г. Все полигоны приурочены к участкам тундры в области лесотундры. Площадки Салехард, Горноknязевск, Лабитнанги находятся на плоском торфянике с широко развитым хасырейным комплексом, растительные ассоциации кустарниковые (Салехард) и кустарниково-лишайниково-моховые (Горноknязевск, Лабитнанги). Мощность торфа на площадках Салехард и Горноknязевск составляет 25-30 см, в пределах площадки Лабитнанги около 15 см. Площадка Октябрьский характеризуется повышенной влажностью и мощностью торфа менее 5 см, растительность представлена кустарниково-осоково-моховыми сообществами.



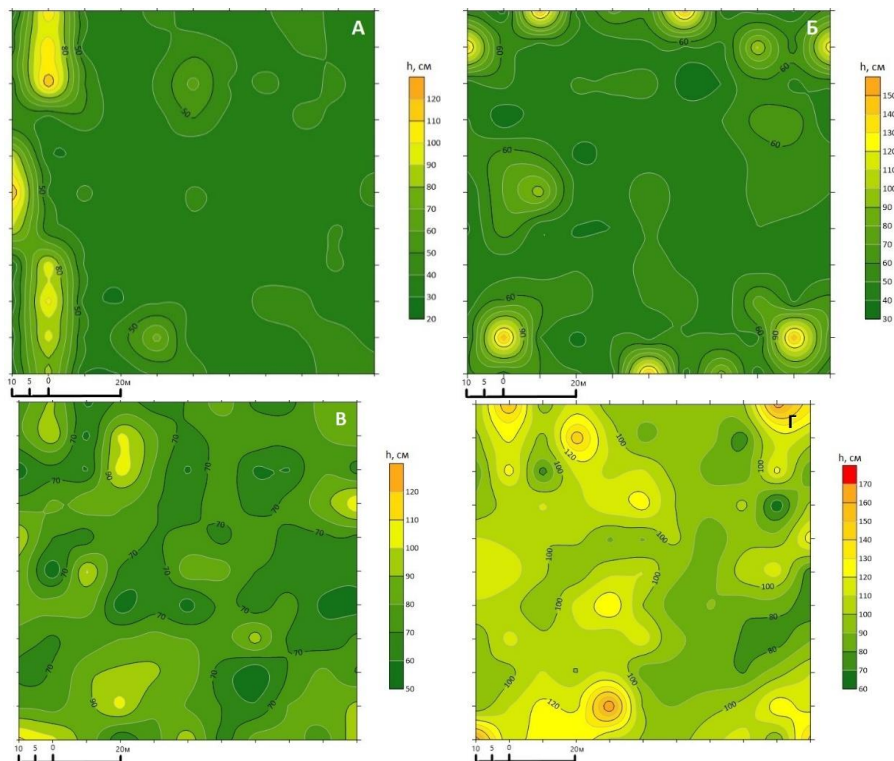


Рис. 1. Карты глубины сезонного протаивания на площадке Лабитнанги в 2013 г. (А), в 2021 г. (Б); на площадке Октябрьский в 2013 г. (В), в 2021 г. (Г)

Полевые исследования на полигонах Салехард, Горноknязевск и Лабитнанги показали, что наибольшей глубиной протаивания характеризуются озёрные котловины и прилегающие к ним территории вследствие тепляющего воздействия вод и рано протаивающих илистых грунтов, торфяник протаивает слабо, при этом отдельно наблюдается вспучивание. На полигонах Лабитнанги и Октябрьский наблюдаются миграционные бугры пучения – пальсы, в результате миграции внутригрунтовой влаги в деятельном слое. Если сравнивать эти полигоны между собой, вероятно, значительное увеличение мощности сезонного протаивания на полигоне Октябрьский за период с 2013 по 2021 г. связано с его высокой обводнённостью и небольшой мощностью торфа.

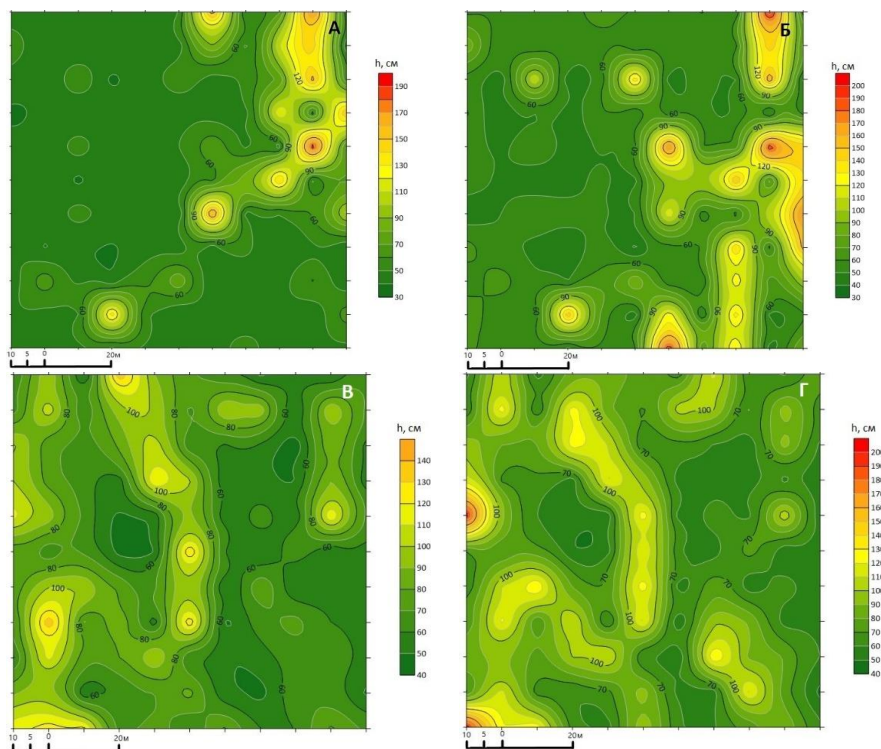


Рис. 2. Карты глубины сезонного протаивания на площадке Салехард в 2021 г. (А), в 2023 г. (Б); на площадке Горноknязевск в 2021 г. (В), в 2023 г. (Г)

На основании базы данных для полигонов CALM при помощи программного обеспечения Golden Software Surfer для исследуемых площадок нами были построены карты глубины сезонного протаивания (рис. 1, рис. 2), которые показывают повсеместное увеличение глубины протаивания грунтов. Наиболее интенсивно процесс протаивания наблюдается на площадке Октябрьский (рис. 1Г).

В табл. 1 представлены минимальные и максимальные значения глубины деятельного слоя по данным полевого профилирования, а также медианные значения на основе проведённой интерполяции. Согласно данным, полученным на изучаемых площадках, наблюдается тенденция к увеличению мощности СТС с течением времени.

Таблица 1. Минимальные, максимальные и медианные значения глубины сезонного протаивания на площадках мониторинга

Площадка	Минимальная, см	Максимальная, см	Медианная, см
Салехард, 2021 г.	35	185	59
Салехард, 2023 г.	37	192	72
Горноknязевск, 2021 г.	43	192	74
Горноknязевск, 2023 г.	47	197	82
Лабьтнанги, 2013 г.	29	120	120
Лабьтнанги, 2021 г.	33	147	150
Октябрьский, 2013 г.	49	113	75
Октябрьский, 2021 г.	60	173	101

Наиболее важными характеристиками окружающей среды, влияющими на протаивание мёрзлых пород, являются радиационный баланс, среднегодовые температуры воздуха и высота снежного покрова [3].

На основе представленных в реанализах NASA POWER данных по месяцам (альбеде, длинноволновая нисходящая энергия, коротковолновая нисходящая энергия, длинноволновый радиационный поток поверхности) были рассчитаны годовые значения радиационного баланса для изучаемой территории за период 2004–2022 гг. [6]. Также был построен график радиационного баланса (рис. 3).

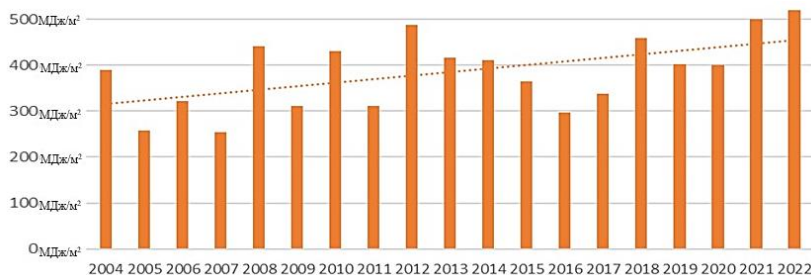


Рис. 3: График радиационного баланса и линия тренда для полигонов Салехард, Горноknязевск, Лабьтнанги и Октябрьский, за период 2004–2022 гг.

По данным архивов Государственного фонда данных о состоянии природной среды были составлены графики среднегодовых температур воздуха и высоты снежного покрова [1] (рис. 5).

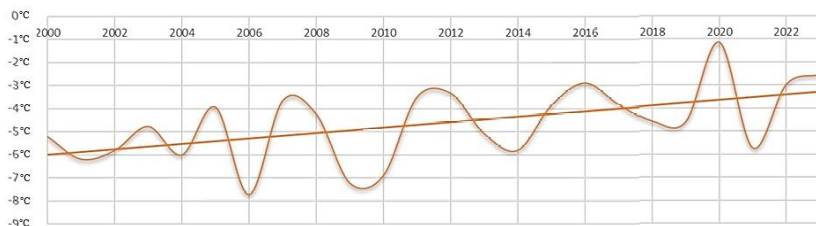


Рис. 4. График средних годовых температур воздуха и линия тренда для полигонов Салехард, Горноknязевск, Лабитнанги и Октябрьский за период 2000–2022 гг.

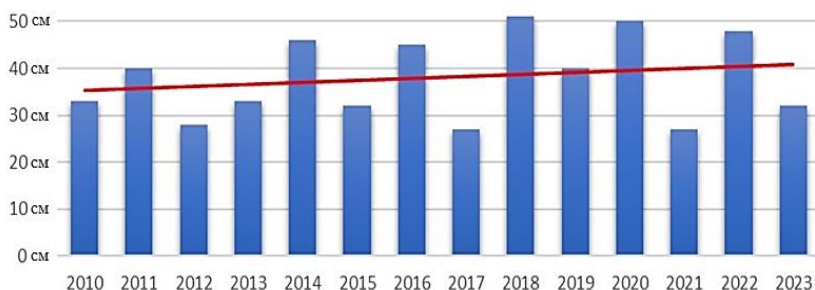


Рис. 5. График высоты снежного покрова и линия тренда для полигонов Салехард, Горноknязевск, Лабитнанги и Октябрьский за период 2010–2023 гг.

Проведенные исследования показывают, что в условиях современных климатических изменений осуществляется переход СТС в СМС, который непосредственно регистрируется на площадках мониторинга. Наиболее активно увеличиваются глубины деятельного слоя на участках, приуроченных к озёрным котловинам и к заболоченным участкам. На участках с высокой мощностью органического слоя (торфа) сезонное протаивание увеличивается медленней, а иногда наблюдается вспучивание грунта. Изменения рассмотренных метеорологических параметров и расчёты радиационного баланса благоприятны для увеличения мощности деятельного слоя. Интенсивность развития мерзлоты несливающегося горизонтального профиля зависит от типа отложений, которыми сложена поверхность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архивы Государственного фонда данных о состоянии природной среды (Госфонд) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aisori-m.meteo.ru/>.
2. ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arctic.yanao.ru/>.

3. Ершов Э. Д. Общая геокриология. М.: Изд-во МГУ. 2002. 682 с.
4. Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 – 2030 годы). Утверждена распоряжением Правительства РФ от 31.12.2020 г. №3684-р.
5. Circumpolar Active Layer Monitoring Network [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www2.gwu.edu/>.
6. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://power.larc.nasa.gov/>.

## **Делимитация границ Орловской городской агломерации**

Е.М. Журавлёва

Воронежский государственный университет, 394068, Воронеж, Россия  
zhe6760@yandex.ru

Уже в 70-е гг. XX века Ю.Л. Пивоваров отмечал, что необходимо мыслить качественно новыми пространственными формами размещения населения и хозяйства. Таковыми являются городские агломерации, идея которых развивается в настоящее время в России довольно активно [2]. И если о крупнейших и крупных агломерациях написано много работ, разработаны стратегии их развития, то работы по менее крупным агломерациям встречаются разрозненно. В условиях сохранения тенденции концентрации населения в городах, бесспорно актуально изучение также более мелких городских агломераций. Одной из таких является Орловская городская агломерация.

Цель работы заключается в делимитации Орловской городской агломерации (ОГА) по методике Института географии РАН [3], дополненной критериями:

- ежедневных маятниковых миграций;
- дачных поездок жителей с учетом расположения садово-дачных участков и сезонных дачных маршрутов;
- свободных связей между населенными пунктами ОГА по географии подписчиков сообществ социальной сети «ВКонтакте»;
- радиуса влияния города Орла как ядра агломерации по формуле Ю.Л. Пивоварова [2].

В результате представлен вариант делимитации ОГА и ее структуры, исходя из совмещения на одной картосхеме полученных по каждому критерию ареалов. В целях практического использования и управления представлен вариант делимитации ОГА с учетом административно-территориального деления.

Впервые о наличии ОГА было упомянуто в статье московских географов Г.М. Лаппо, П.М. Поляна, Т.И. Селивановой в 2010 г. [1]. Ими было установлено, что ОГА удовлетворяет критерию минимальной пороговой людности города-ядра (326 тыс. чел.). Рассчитанный ими коэффициент развитости Орловской агломерации ( $K_{\text{разв}} = 0.92$ ), позволил отнести ее к потенциальным. В статье не рассматривался критерий транспортной доступности и спутниковой зоны. На основании статистики по численности населения в 2023 г. [4] нами были обновлены данные по критериям методики Института географии РАН (табл. 1). Также были определены зоны транспортной доступности ОГА 30, 60, 90 минут (рис. 1), построенные методом изохрон в программах QGIS и GRASS GIS с учетом передвижения на автомобиле [5].

Таблица 1. Делимитация ОГА по методике Института географии РАН

<b>Критерий</b>	<b>Орловская агломерация</b>
Численность населения города-ядра	296 633 чел.
Временная доступность города-ядра, определяемая с помощью метода изохрон транспортной доступности	Получасовая, часовая и полуторачасовая изохроны, рассчитываемые от города-ядра Орла
Спутниковая зона	14 городских населенных пунктов, численность населения 107 174 чел.
Уровень развития агломерации	$K_{разв}=2.54$

Наиболее точно установить границы агломерации позволяют ареалы ежедневных маятниковых миграций [3]. С помощью социологического опроса населения выявлено, что доля ежедневных поездок невелика (около 15%). Цели ежедневных поездок – учеба, работа, посещение магазинов. По крайним населенным пунктам, в которых заканчиваются поездки, был выделен ареал ежедневных маятниковых миграций (белый контур на рис. 1), расходящийся по федеральным трассам М-2 «Крым», Р-119, Р-92, Р-120. В территорию ежедневных поездок входят 4 пгт: Нарышкино, Знаменка, Кромы, Змиёвка.

При проведении социологического опроса были выявлены доли жителей, совершающих дачные поездки ежедневно и раз в неделю / в выходные дни (5% и 16% опрошенных соответственно). Для выявления ареала дачных поездок жителей ОГА на карте были обозначены участки садово-дачных товариществ и сезонные маршруты дачных автобусов (ареалы в пределах голубого контура на рис. 1). Около ядра агломерации Орла было выделено 2 ареала: один – на основании расположения садово-дачных участков (здесь наиболее активны и часты дачные поездки жителей), второй – по разрозненным садово-дачным участкам и конечным точкам сезонных дачных автобусных маршрутов (частота дачных поездок ослабевает). Предполагается, что в обозначенных границах дачных поездок может наблюдаться сезонная пульсация границ ядра агломерации – города Орла.

Методика делимитации ОГА была дополнена еще одним критерием – выявлением свободных связей между населенными пунктами посредством использования «Больших данных» социальной сети «ВКонтакте». Для этого на предмет географии подписчиков были проанализированы несколько крупных сообществ города Орла: «Город Орел! Орловчане ВКонтакте», «ЧП и ДТП Орёл», «Доска объявлений город Орел», «ТМК ГРИНН Орёл», «Аренда квартир город Орел». Подписчики сообществ могут получать оперативную информацию по интересующим их сферам: работа, актуальная информация на дорогах региона, быт и отдых и т.п. Все данные использованы в обезличенном варианте в соответствии с законом №152-ФЗ «О персональных данных».

При анализе географии пользователей за 100% принято число подписчиков, которые указали город. Были выявлены доли подписчиков из города-ядра Орла и из других населенных пунктов в пределах Орловской

области. По преобладающим местам проживания подписчиков сообществ установлены населенные пункты, которые тесно взаимодействуют с городом Орлом.

Преобладающая доля подписчиков сообществ приходится на ядро агломерации – город Орёл (от 63% до 77%), что можно рассматривать как выполнение им роли центрального места в ОГА. Доля подписчиков вне ядра агломерации колеблется от 5,4% до 8,6%. Наибольшее взаимодействие прослеживается между городами Мценск, Ливны, Болхов по всем сообществам. Наиболее высокие доли – в сообществах «Город Орёл! Орловчане ВКонтакте», «ТМК ГРИНН Орёл», «ЧП и ДТП Орёл», что косвенно свидетельствует о наличии тесных культурно-бытовых, рекреационных, транспортных связей между указанными городами и ядром-агломерации. Схематично взаимосвязи между населенными пунктами можно представить двумя контурами. Один из них соединяет городские населенные пункты, с наиболее интенсивными связями (красный контур на рис. 1), другой – с менее интенсивными связями (желтый контур на рис. 1).

Радиус влияния города Орла, рассчитанный по формуле Ю.Л. Пивоварова [2], составил 42 км (синий контур на рис. 1).

В результате совмещения всех ареалов была получена следующая картосхема (рис. 1). При делимитации ОГА можно выделить следующие структурные элементы.

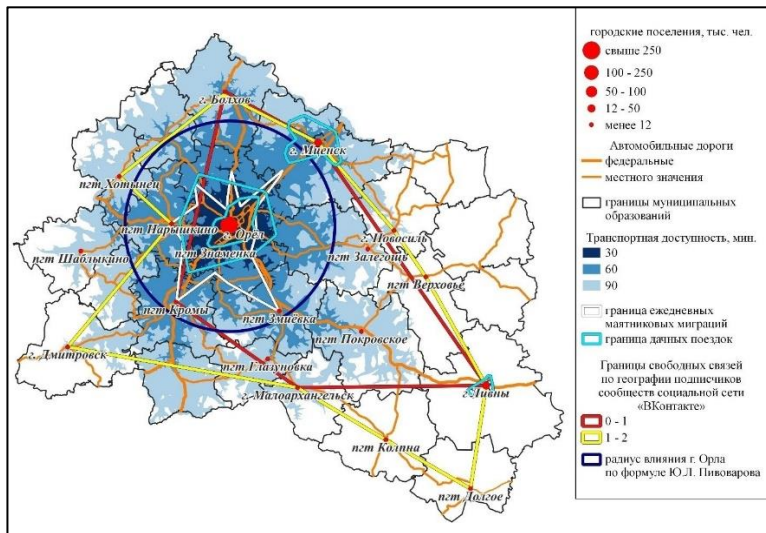


Рис. 1. Совмещение границ делимитации ОГА по различным критериям



Ядро – город Орёл в пределах границы дачных поездок населения, прилегающей к его административной границе.

Пригородная зона – по границе ежедневных маятниковых миграций и дачных поездок меньшей интенсивности (внешний голубой контур). В состав входят 2 пгт: Знаменка и Нарышкино. Пригород досягаем в пределах получаса.

Внутренняя периферия – по радиусу влияния города Орла. В состав входят: г. Мценск, пгт Змиёвка и Кромы. Транспортная доступность зоны – в пределах часа.

Внешняя периферия – по ареалам свободных связей, установленных при анализе географии подписчиков соцсети «ВКонтакте». В составе: 4 города (Болхов, Новосиль, Малоархангельск, Дмитровск) и 6 пгт (Хотынец, Шаблыкино, Глазуновка, Покровское, Верховье, Залегощь).

Отдельным спутниками можно рассматривать г. Ливны и пгт Колпна (дискуссионный вопрос).

С учетом АТД (рис. 2) структурные зоны ОГА выделены по муниципальным районам и городским округам.

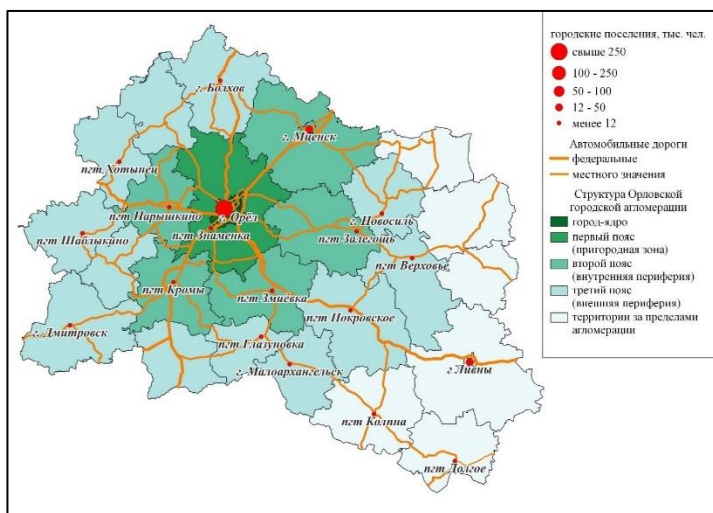


Рис. 2. Структура ОГА с учетом административно-территориального деления

Ядро – город Орёл в административных границах.

Пригородная зона – Орловский муниципальный округ, включая пгт Знаменка.

Внутренняя периферия – 6 единиц АТД (Урицкий, Кромской, Свердловский, Залегощенский, Мценский районы, а также городской округ г. Мценск), с учетом 4 пгт (Нарышкино, Кромы, Змиёвка, Залегощь).

Внешняя периферия – 12 районов (Болховский, Знаменский, Хотынецкий, Шаблыкинский, Сосковский, Дмитровский, Троснянский, Глазуновский, Малоархангельский, Покровский, Верховский, Новосильский) и 1 городской округ г. Ливны, с учетом 4 городов (Болхов, Дмитровск, Малоархангельск, Новосиль) и 5 пгт (Хотынец, Шаблыкино, Глазуновка, Покровское, Верховье).

В результате применения методики Института географии РАН, дополненной другими критериями, выделена ОГА с крупным городом-ядром Орлом (296,6 тыс. чел.). В структуре агломерации насчитывается 5 малых городов и 10 пгт. Общая численность ОГА составляет 403 807 чел. Рассчитанный  $K_{разв}$  (2.54) позволяет отнести ОГА к слабо развитым. Установлены зоны транспортной доступности от полу- до полутора часов. Благодаря относительно равномерному расположению городских населенных пунктов в регионе и центрального положения г. Орла, пригород и периферия отдалены от ядра в сторону границ региона. Город-ядро Орёл имеет шансы развития пригородной территории, распространения своего влияния на периферию в рамках агломерации. Выделение в регионах России небольших агломераций, подобных ОГА, может быть выгодно с точки зрения привлечения федерального финансирования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаппо Г.М., Полян П.М., Селиванова Т.И. Новые и «бывшие» городские агломерации // Демоскоп weekly. 2010. № 407-408 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://demoscope.ru/weekly/2010/0407/tema04.php>.
2. Пивоваров Ю.Л. Современная урбанизация. Основные тенденции расселения. М.: Статистика, 1976. 191 с.
3. Полян П.М. Территориальные структуры – урбанизация – расселение: теоретические подходы и методы изучения. М.: Новый хронограф, 2014. 782 с.
4. Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2023 года (с учетом итогов ВПН-2020) // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rosstat.gov.ru>.
5. Широкова Е. М., Рогозина Р. Е. Транспортная доступность как один из критериев определения границ агломерации (на примере формирующейся Орловской агломерации) // Пространственная организация общества: теория, методология, практика: сборник материалов I Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием (7–11 нояб. 2023 г., ПГНИУ) / под ред. Е.В. Конышева. Пермь: ПГНИУ: 2023. С. 28–33.

## **Строение котловины Сарского болота (Ярославская область)**

А.Л. Захаров<sup>1\*</sup>, И.Г. Шоркунов<sup>1</sup>, Е.В. Гаранкина<sup>2</sup>, Р.С. Шухвостов<sup>1,2</sup>,  
А.П. Юрченко<sup>1</sup>, Е.А. Константинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119991,  
Москва, Россия

\*zaanleo@gmail.com

Изучение озерно-болотных палеоархивов в зоне московского оледенения (MIS 6) в настоящее время имеет большую актуальность, так как для Восточно-Европейской равнины требуется стратотип последнего ледниково-межледникового цикла – опорный разрез, в котором будут запечатлены как региональные, так и глобальные палеоклиматические сигналы. Ранее полученные колонки, хотя и охватывали период позднего неоплейстоцена, чаще были подвержены искажениям и перерывам, вызванным локальными флуктуациями геосистем. Часто водосборные бассейны озёр значительно превышают площадь самих водоемов, и те играют роль транзитного или приемного резервуара, отражая скорее локальную флювиальную историю. Таким примером может быть озеро Неро. Керны Сарского палеоозера будут являться первыми наиболее полными архивами позднего неоплейстоцена, так как его положение удачно сочетает в себе небольшой водосбор (10.5 км<sup>2</sup>) при относительно большой площади котловины (3.2 км<sup>2</sup>) и расположение в вершинной части Борисоглебской возвышенности в отдалении от крупных флювиальных систем.

В центральной части болота пробурена разведочная скважина GAT6A (глубиной 19.45 м), дающая представления о типе отложений и скоростях осадконакопления на завершающем этапе последнего оледенения. В лаборатории палеоархивов природной среды Института географии РАН проведен детальный анализ данных образцов. После проведено электромографическое исследование котловины Сарского болота. Построены два радиальных профиля, которые охватывают нижние части северного и восточного склонов котловины и пересекают разведочные скважины – благодаря чему стало возможным дать обоснованную интерпретацию.

В итоге установлено, что расположение скважины GAT6A гарантирует не более 30 метров озерных осадков. Найдены области с мощностью искомым отложений более 60 м, что позволит в будущем правильно выбрать место для извлечения керна с палеоархивом на весь поздний неоплейстоцен.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 23–77–10063 «Реконструкция природных событий по высокоразрешающим седиментационным палеоархивам центра Восточно-Европейской равнины за последние 25 тысяч лет».

**Роль внекультовой деятельности в пространственной экспансии религиозных организаций в Южном Омо (Эфиопия): по материалам полевого исследования**

И.А. Захаров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт Африки РАН, 123001, Москва, Россия  
vanszax@yandex.ru

Важным направлением работы религиозных организаций в Эфиопии является внекультовая деятельность, в ходе которой они предоставляют образовательные, медицинские услуги, реализуют социально-экономические, инфраструктурные и иные проекты. Особое значение такая деятельность имеет для периферийных регионов, где местная администрация сталкивается с проблемой нехватки финансирования и кадров. В данной статье с опорой на материалы полевого исследования рассматривается роль внекультовой деятельности в пространственной экспансии религиозных организаций на примере Южного Омо (регион Южной Эфиопии). В рамках исследования были опрошены представители 16 христианских конгрегаций и 2 мечетей, расположенных прежде всего в г. Турми и Демека – ключевых городах вореды Хамар.

Опрошенные религиозные лидеры согласны, что внекультовая деятельность крайне важна для развития Южного Омо и Эфиопии в целом. Тем не менее наибольшую активность в этой сфере проявляют протестанты и католики – Эфиопская католическая церковь, Эфиопская церковь Кале Хейвот, Эфиопская евангелическая церковь Мекане Йесус. Эти христианские церкви воспринимают внекультовую работу как необходимый фундамент для дальнейшего распространения религии. Более того, один из опрошенных миссионеров подчеркнул, что на первых порах работа евангелистов ограничивается практически только внекультовой работой, так как местные народы крайне настороженно реагируют на попытки обращения в христианство. При этом опрошенные религиозные лидеры концептуализируют понятия «развитие» и «прогресс» как элемент учения церкви, позиционируя их как одну из важнейших целей распространения христианства в Южном Омо. Тем не менее не все согласны с таким подходом. Эфиопская православная церковь, крупнейшая религиозная организация страны, а также мусульмане, воспринимают его несколько скептически и убеждены, что внекультовая работа является лишь дополнением к их духовной миссии; это тем не менее не означает, что они не вовлечены в реализацию социально значимых проектов. Другие охваченные нами организации Южного Омо такой работы практически не ведут.

Выявлено более 30 направлений внекультовой деятельности религиозных организаций в Южном Омо, однако наибольшее значение из них имеют

образовательные проекты, а также борьба с «вредными» традиционными практиками (см. подробнее: [6]). Несмотря на свою трудоемкость, проекты в этих сферах дают наибольший эффект в долгосрочной перспективе, который проявляется в увеличении числа последователей и расширении геопространства соответствующих религий. Этот тезис подтверждается историко-географическими сведениями о распространении мировых религий в Южном Омо [4], конфессиональной статистикой [5] и результатами полевого исследования. До последней четверти XX века присутствие христианства и ислама в этой части страны было ограничено, а в конфессиональной структуре населения абсолютно доминировали этнорелигии. Активизация миссионерской деятельности в 1980-х и особенно в 1990-х гг. запустила трансформацию конфессионального пространства Южного Омо. Согласно последней переписи 2007 г., доля протестантов в населении зоны выросла до 30.4%, этнорелигий – сократилась до 50.9%, православных – увеличилась до 12.2%. Наибольших успехов христианство, прежде всего протестантизм, достигло в северных и северо-восточных воредах Южного Омо, особенно в Семен Ари, Дебуб Ари (Бако Газер), Ньянгатом, Селамаго, Маале и др. (табл. 1). К сожалению, более свежей конфессиональной статистики пока нет, однако, судя по нашим наблюдениям, с момента проведения последней переписи христианство, особенно протестантизм, смогло существенно продвинуться в юго-восточном направлении и закрепиться в городах, и начать экспансию в прилегающие деревни.

Таблица 1. Конфессиональная структура населения зоны Южного Омо, 2007 г.

Вореда	христиане, в т.ч.:	православные	протестанты	католики	мусульмане	этнорелигии	другие
Дасенеч (Кураз)	70.9	23.2	47.0	0.7	1.7	23.9	3.4
Дебуб Ари (Бако Газер)	60.4	7.2	51.7	1.5	0.1	45.4	11.2
Хамар	43.3	12.4	30.5	0.4	0.1	45.4	11.2
Маале	43.2	12.2	30.4	0.6	1.3	50.9	4.6
Ньянгатом	34.2	1.2	33.0	0.0	0.1	59.0	6.7
Селамаго	23.2	3.9	19.0	0.3	0.9	68.8	7.1
Бена Цемай	19.1	7.7	10.9	0.5	0.4	74.5	6.0
Семен Ари	12.6	6.8	5.7	0.1	3.1	81.9	2.3
Зона Южного Омо	5.4	3.0	2.4	0.0	2.1	91.3	1.1

Составлено автором по: [5].

Результаты исследования свидетельствуют о том, что внекультовая деятельность, особенно в сфере образования и борьбы с «вредными» традиционными практиками, позволяет религиозным организациям увеличивать число своих последователей и расширять свое присутствие в периферийных регионах. Выявленные механизмы позволяют углубить существующие представления о механизмах пространственной экспансии религий [1], а также о драйверах трансформации конфессионального пространства Эфиопии [2, 3]. Перспективным направлением дальнейших исследований представляется количественная оценка вклада внекультовой деятельности в увеличение численности религиозных общин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горохов С.А., Дмитриев Р.В. Глобальная миссионерская деятельность христианских церквей в XX - начале XXI в.: пространственный аспект // Вестник Томского государственного университета. 2019. № 446. С. 111–117.
2. Захаров И.А. Динамика конфессионального пространства Эфиопии в условиях демократических преобразований // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023. № 5. С. 690–700.
3. Захаров И.А. Реакция конфессионального пространства Эфиопии на изменение религиозной политики в середине XIX – начале XXI веков // Восток. Афро-азиатские общества: история и современность. 2023. № 4. С. 198–210.
4. Цыпкин Г.В., Ягья В.С. История Эфиопии в новое и новейшее время. М.: Наука, 1989. 405 с.
5. Ethiopia Statistics Service. Population and Housing Census SNNPR, 2007 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.statsethiopia.gov.et>.
6. Strecker I. The Temptations of War and the Struggle for Peace among the Hamar of Southern Ethiopia // In «Sociologus Sonderband: Dynamics of Violence - Processes of Escalation and De-Escalation in Violent Group Conflicts» / G. Elwert, S. Feuchtwang, D. Neubert (Eds.). Berlin: Duncker & Humblot, 1999. S. 219–252.

## **Классификация территорий по уровню урбанизации на основе методологии ОЭСР: пример Краснодарского края и Республики Адыгея**

Г.С. Зыков

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
109028, Москва, Россия  
gszykov@edu.hse.ru

Одна из проблем, связанных со статистическим учетом, в мире – отсутствие единой методологии выделения территориальных статистических единиц и классификации территорий. В большинстве стран доминирует т. н. административный подход, при котором границы статистических округов и критерии отнесения территорий к тому или иному типу следуют исторически сложившимся практикам территориально-административного деления и управления. Принципы статистического учета отличаются от страны к стране, что делает крайне сложными любые попытки международных сравнений даже по такому базовому показателю как степень урбанизированности территорий [1].

Цель работы – создание алгоритма по классификации территорий России на сельские, промежуточные и городские на основе подхода, предложенного ОЭСР.

Результаты – составлена база данных по плотности населения на основе открытых картографических продуктов, проведена классификация территорий в регионах-ключках по степени урбанизированности территории в соответствии с международно признанными методиками, составлены карты регионов-ключей по степени урбанизированности.

### *Методы и данные*

В первую очередь были выбраны данные с максимально качественной пространственной информацией, поэтому для лучшего анализа были взяты данные глобального уровня населенных пунктов (GHS-POP) разрешением 1 кв. км [6]. Эти данные примечательны тем, что для оценки численности населения использовалась информация о плотности жилой застройки, полученная методами дистанционного зондирования Земли вкупе с данными местных переписей населения, что позволило унифицировать наблюдаемые значения для разных регионов и снизить число неактуальных наблюдений. Данные использовались за 2020 год, т.е. для их создания были взяты результаты переписи 2010 года.

Перед началом работы мы провели перепривязку растрового слоя плотности населения в проекцию Альберса для проведения корректных расчетов и лучшей визуализации. После этого осуществлена обрезка раstra по границам Краснодарского края и Адыгеи. Данная территория была выбрана для апробации работы алгоритма из-за своего географического разнообразия, которое привело к формированию сети населенных пунктов, отличающихся

между собой не только количеством населения, но и расположением в разных природно-климатических зонах и типах рельефов. Как пример можно выделить: 1) равнинную зону расселения (северо-центр Краснодарского края и вся Адыгея), 2) прибрежную зону расселения вдоль берега Черного моря, 3) предгорную зону расселения (юг Краснодарского края, примыкающий к Кавказскому хребту), 4) агломерацию Краснодара как отдельный тип расселения.

Разработанный алгоритм классификации делит растровые ячейки на три класса: городские центры, городские кластеры и сельскую местность. Классификация осуществляется на основе плотности населения в ячейках, их смежности, а также совокупной численности населения в выделенных городских ядрах и кластерах. Определение городских центров осуществляется посредством алгоритма, включающего идентификацию кластеров пикселей с плотностью населения не менее 1500 человек на км<sup>2</sup>, анализ групп пикселей, оценку общего числа жителей, заполнение пробелов и сглаживание границ. Полугородские территории определяются по плотности населения не менее 300 человек на км<sup>2</sup>, а сельские — как пиксели, не входящие в городские центры или полугородские кластеры [3].

Алгоритм для классификации реализован в программной среде R (с использованием библиотек: terra, sf, и tidyverse) [2, 4, 5].

### *Результаты*

Конфигурация выделенных ареалов трех типов отражает существующую систему расселения в регионах (рис. 1). По итогам классификации выделено 15 городских центров. Крупнейшие центры: Краснодар, Новороссийск, Армавир, Сочи и Майкоп. Промежуточные территории (urban cluster) расположены вокруг центров либо формируют отдельные ядра.

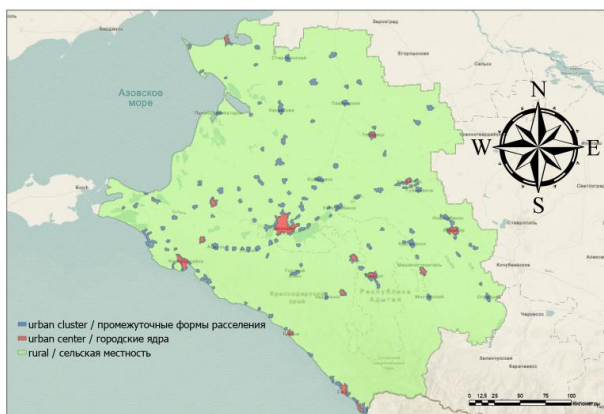


Рис. 1. Классификация территории Краснодарского края и Республики Адыгея по степени урбанизированности в соответствии с методологией ОЭСР



Мы оценили работу алгоритма, сопоставив полученные результаты с данными переписи 2010 года по численности общего, городского и сельского населения в Краснодарском крае и Республике Адыгея (табл. 1).

По результатам территории Краснодарского края и Республики Адыгея по методологии ОЭСР было выяснено, что традиционное деление на городские и сельские территории плохо отражает многообразие существующих форм расселения. Официальные границы муниципальных образований не учитывают реальное положение городских, сельских и промежуточных территорий.

Таблица 1. Сравнение показателей, полученных в ходе работы алгоритма и данных Росстата.

Регион: тип населения		Численность населения по данным Росстат 2010 (чел.)	Численность населения по работе алгоритма (чел.)	Разница (чел.)	Разница (% от Росстат)	По данным Росстат (% от Общего)	По работе алгоритма (% от Общего)
Краснодарский край	Общее	5 226 647	5 411 435	-184 788	-3.54%		
	Городское	2 765 435	1 864 142	901 293	32.59%	52.9	34.45%
	Сельское	2 461 212	1 243 972	1 217 240	49.46%	47.1	22.99%
	Промежуточное		2 303 321				42.56%
Республика Адыгея	Общее	439 996	475 931	-35 935	-8.17%		
	Городское	223 895	165 292	58 603	26.17%	50.9	34.73%
	Сельское	216 101	140 453	75 648	35.01%	49.1	29.51%
	Промежуточное		170 186				35.76%

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dijkstra L. et al. Applying the degree of urbanisation to the globe: A new harmonised definition reveals a different picture of global urbanisation // Journal of Urban Economics. 2021. V. 125. P. 103312.
2. Hijmans R. terra: Spatial Data Analysis\_.R package version 1.7-78. 2024 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://CRAN.R-project.org/package=terra>.

3. OECD. Applying the Degree of Urbanisation: A Methodological Manual to Define Cities, Towns and Rural Areas for International Comparisons. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. 102 p. <https://doi.org/10.1787/4bc1c502-en>
4. Pebesma, E., Bivand, R. Spatial Data Science: With Applications in R. New York: Chapman and Hall/CRC. 2023. 314 p. <https://doi.org/10.1201/9780429459016>
5. R Core Team. *\_R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.R-project.org>.
6. Schiavina M., et. al. GHS-POP R2023A - GHS population grid multitemporal (1975-2030). European Commission, Joint Research Centre (JRC), 2023. [Dataset]. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://data.europa.eu/89h/2ff68a52-5b5b-4a22-8f40-c41da8332cfe>.

## **Русловые и эрозионные процессы на водосборах криолитозоны России**

В.А. Иванов\*, С.Р. Чалов\*\*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г.  
Москва, Россия

\*viktoro.1998@yandex.ru, \*\*hydroserg@mail.ru

Русловая эрозия в криолитозоне связана с механическим разрушением берега за счет течения воды и абразией, разрушением берега за счет энергии волн. Сам процесс разрушения берега состоит в формировании карнизов нависания абразионных ниш с последующим постепенным блоковым обрушением берегового уступа. В то же время, в речных долинах криолитозоны многолетняя мерзлота залегает в том числе и под поймами рек, поэтому обнажения мерзлых берегов поймы подвергается также и термическому разрушению при контакте с водой. Процесс термического разъедания грунта потоком можно обозначить как термоэрозию и термоабразию соответственно [2]. Вскрытия русловой эрозией высокольдистых отложений, залежеобразующих льдов приводит к формированию термоэрозионных циркуобразных углублений в береговых уступах, сложенных рыхлыми льдистыми многолетнемерзлыми породами, что вызывает формирование криогенных оползней [1].

Водный поток создает тепляющее воздействие на многолетнемерзлые породы, что определяет существование таликов под руслами рек. При быстром отступании берега вследствие горизонтальных деформаций значительная площадь русла может быть занята мерзлыми породами. Поэтому наравне с механической эрозией для рек криолитозоны могут наблюдаться термические процессы, которые приводят к увеличению отметок глубин. Формирование и спуск ледовых заторов на северных реках могут приводить к изменению скоростного режима, формированию водоворотов и переуглублению русел.

В данной работе оценивается вклад термической составляющей в русловую эрозию. Оценка влияния мерзлоты на горизонтальные деформации была рассмотрена на примере нижних течений р. Колыма и Лена. Для решения данной задачи была проведена работа по оцифровке данных архивных аэрофотоснимков KeyHole CORONA за 60-е и 80-е годы, а также данные спутниковых снимков Landsat, что позволило восстановить очертания берегов за 80-летний период, а также оценить объемы и динамику русловых деформаций.

Оценка вертикальных русловых деформаций была проведена на участке длиной 20 км р. Колыма у пос. Черский. На данном участке были выявлены переуглубления русел, «ямы» глубиной более 15 м и с отвесными стенками. Для оценки механизма формирования данных форм было использовано гидродинамическое моделирование в программном комплексе MIKE 21C.

Результаты получены при финансовой поддержке проекта Министерства высшего образования и науки № 075-15-2024-614 «Потоки потенциально токсичных элементов и соединений в речных бассейнах: технологии изучения, количественная оценка и прогноз».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кизяков А.И., Лейбман М.О. Рельефообразующие криогенные процессы: обзор литературы за 2010-2015 годы // Криосфера Земли. 2016. Т. 4. С. 45– 58.
2. Tananaev N., Lotsari E. Defrosting northern catchments: Fluvial effects of permafrost degradation // Earth-Science Reviews. 2022. Т. 228. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103996>.

## **Моделирование формирования и развития подледниковых водоёмов в Арктике**

Ю.Н. Казбанова

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,  
199178, г. Санкт-Петербург, Россия  
kaz\_ul\_03@mail.ru

Математическое моделирование не ново для естественных наук: оно широко применяется для изучения и прогнозирования гидрологических процессов в изолированной субгляциальной среде, изучение которых напрямую затруднительно, например, для Антарктического и Гренландского ледниковых щитов [2, 4, 8]. Этот инструмент не так часто применяется для архипелагов, так как ввиду маленькой площади островов не сформировывается достаточная для образования подледникового водоёма мощность ледника. Однако метеорологические наблюдения последних десятков лет свидетельствуют о потеплении климата, и арктический регион, пожалуй, в наибольшей степени отражает наблюдаемый тренд [9]. Математическое моделирование даёт возможность для прогноза не только изменений очертаний ледников Арктики, но и гидрологических процессов в их толще при новых климатических условиях, что также является актуальной проблемой гляциологии и климатологии [2, 9].

Ввиду вышеизложенного, целью представленной работы является выяснение возможности формирования и развития подледниковых водоёмов в Арктике. В качестве примера рассматривались ледники островов архипелага Земля Франца-Иосифа. Основой построений является математическое моделирование, основанное на решении одномерной многофазной задачи Стефана с учётом аккумуляции снега, и его фирнизации с течением времени. В модели используется граничное условие теплообмена с атмосферой. Таким образом, описывается перемещение фазовой границы в зависимости от моделируемого параметра. В рамках модели рассматривается концептуальная схема, в которой подледниковый водоем формируется в отрицательных формах скального основания в результате донного таяния ледника, с учётом его вертикальной динамики, образования снежно-фирновой толщи на поверхности и постепенного накопления тепла в течение теплого сезона в толще ледника. Некоторые модели проверяют вероятность протекания определённого процесса в текущих условиях [7], где важен факт таковой физической возможности. Текущая модель имеет схожий принцип, моделируя в будущее гипотетическое протекание процесса с текущим трендом изменения условий. Для его расчёта применяются различные метеорологические параметры (скорость ветра, облачность, температура и влажность воздуха и пр.), полученные с ГМС им. Э. Кренкеля (о. Хейса). Данные о геологическом строении, важные для учёта теплового потока и теплофизических свойств подледниковых пород получены

по материалам геофизических исследований также на острове Хейса [1, 5]. В качестве условия на нижней границе использовалась постоянная величина геотермического потока, равная  $60 \text{ мВт/м}^2$  [1]. Важное влияние на значение геотермического потока оказывают подстилающие ледник скальные породы, представленные в параметрических колонках в ходе геофизических изысканий на о. Хейса, например, интрузии габбро-диоритов [1]. Значения теплофизических параметров приведены в базе данных [6]. Подробное описание модели представлено в работе [12]. Расчёты проводились с использованием компьютерной программы FrozenSoil [3].

В качестве примера на рис. 1 представлено температурное распределение в толще ледника на 100 лет. Моделирование осуществлялось при условии постепенного повышения среднегодовой температуры на  $4^\circ\text{C}$  за сто лет, что соответствует климатическому сценарию SSP3-7.0, утверждённому в отчёте AR6 Synthesis Report of Climate Change 2023, IPCC.

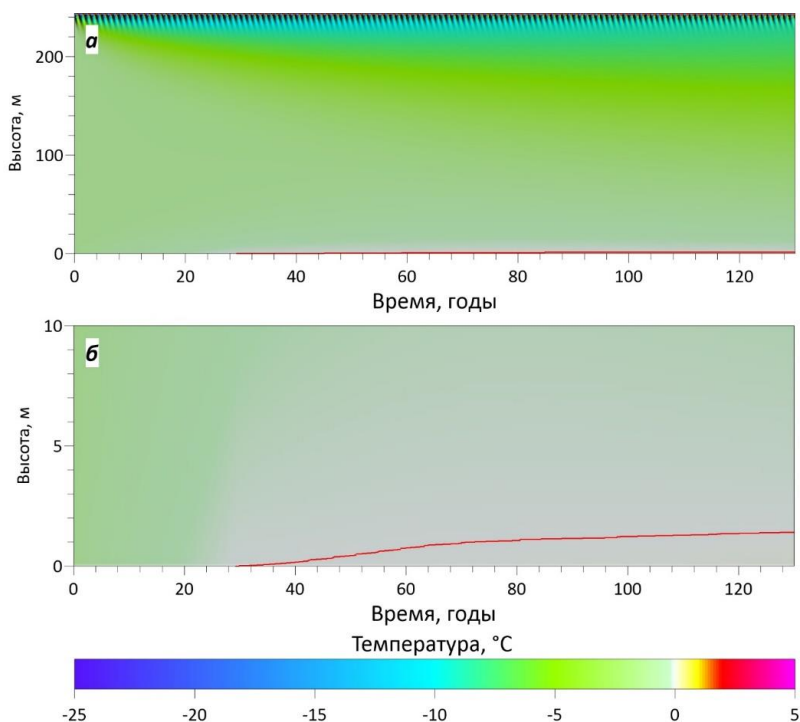


Рис. 1. Распределение температуры в леднике на глубине 242 м (а) и на ложе ледника до 10 м (б) на 100 лет вперёд. Красной линией показана граница фазового перехода.

Из полученных расчётов следует, что в придонной части ледника примерно через 30 лет (т.е. в наши дни) начинается донное таяние с перспективой постепенного формирования подледниковых водоемов путем заполнения талыми водами отрицательных форм подлёдного рельефа. В этом случае появление талой воды изменит граничные условия на скальном основании, добавив тепловой поток за счет более теплой чем ледник температуры воды, что, в свою очередь, приведёт к ускорению повышения температуры ложа. Также не стоит пренебрегать растеканием ледника и энергией, высвобождающейся при трении его слоёв относительно друг друга и о скальное основание. Все описанные факторы в совокупности будут способствовать развитию подледникового водоема, возможно, даже быстрее, чем описано в модели. Также можно отметить достаточно слабую корреляцию изменения температуры с глубиной ледника, что в целом характерно для таких маломощных и холодных ледников, какие наблюдаются на островах арктических архипелагов. Тем не менее, рост температуры на ложе стабилен, начиная примерно спустя 20 лет с отправного момента в модели. Общая температура ледника, накапливающего сезонное тепло внутри, постепенно повышается.

Таким образом, результаты моделирования демонстрируют физическую возможность начала формирования подледникового водоема с текущими граничными условиями при условии текущего температурного тренда в соответствии климатическому сценарию SSP3-7.0.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю С.В. Попову, доценту кафедры гидрологии суши Института наук о Земле СПбГУ, за научную консультацию, содействие в работе над публикацией и помощь в работе с программой FrozenSoil, в которой проводилось моделирование, а также студентке 3 курса кафедры климатологии Института наук о Земле СПбГУ, С.Р. Шерстениковой за помощь в работе с метеорологической базой данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грамберг И.С., Школа И.В., Бро Е.Г., Шеходанов В.А., Армишев А.М. Параметрические скважины на островах Баренцева и Карского морей. // Советская геология. 1985. № 1. С. 95-98.
2. Попов С.В. Радиолокационное профилирование подлёдного рельефа, ледникового покрова и подледниковых водоёмов Восточной Антарктиды. Автореф. дисс. ... д-ра. геол.-минерал. наук, СПб. 2010. 39 с.
3. Попов С.В., Боронина А.С., Лебедева Л.С. «Программа для моделирования процессов тепломассопереноса в многолетнемёрзлых породах» (FrozenSoil) // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS №

2023669994. Заявка № 2023669430 от 25.09.2023. Опубл. 25.09.2023. Бюл. №10.
4. Попов С.В., Пряхина Г.В. Прикладные и фундаментальные научные аспекты субгляциальных гидрологических исследований в современных условиях // Сборник докладов международной научной конференции «Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология: от познания к мировоззрению». СПб.: ООО «Издательство ВВМ». 2020. С. 1112-1117.
  5. Хуторской М.Д., Ахмедзянов В.Р., Ермаков А.В. и др. Геотермия арктических морей. М.: ГЕОС. 2013. 265 с.
  6. Шерстенникова С. Р., Попов С. В., Боронина А. С., Лебедева Л. С. База теплофизических и механических свойств грунтов, горных пород, напочвенного слоя, снега, фирна и льда // Свидетельство о регистрации базы данных RUS № 2024620901. Заявка № 2024620631 от 22.02.2024. Опубл. 28.02.2024. Бюл. №3.
  7. Bucchignani E., Mansutti D., Navarro F., Otero J., Glowacki P. Plausibility of a subglacial lake under Amundsenisen Icefield (Svalbard): spatially variable water content and sensitivity to thermal effect of snow and firn layers. *Geophysical Research Abstracts*. 2013. Vol. 15, EGU2013-9289.
  8. Greve R., Blatter H. Dynamics of ice sheets and glaciers. Berlin: Springer Science & Business Media, 2009. 300 p.
  9. Livingstone S.J., Li Y., Rutishauser A., Sanderson R.J. et al. Subglacial lakes and their changing role in a warming climate // *Nat. Rev. Earth Environ*. 2022. Vol. 3. P. 106-124.
  10. Pattyn F. A new three-dimensional higher-order thermomechanical ice sheet model: Basic sensitivity, ice stream development, and ice flow across subglacial lakes // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 2003. V. 108. № B8. P. 1-15. <http://doi.org/10.1029/2002jb002329>
  11. Sato K., Inoue J., Watanabe M. Influence of the Gulf Stream on the Barents Sea ice retreat and Eurasian coldness during early winter. // *Environmental Research Letters*. 2014. P. 5.
  12. Sukhanova A.A., Bantsev D.V., Popov S.V., Boronina A.S., Shimanchuk E.V., Polyakov S.P. The current state of Lake Dǎlk (Larsemann Hills, East Antarctica) // *Polar Sci*. 2023. V. 38. P.101006. <http://doi.org/10.1016/j.polar.2023.101006>



**Микроморфологическое строение и процессы формирования культурного слоя раннесредневекового городища Джанкент (Восточное Приаралье, Казахстан)**

Ю.О. Карпова<sup>1\*</sup>, М.А. Бронникова<sup>1,6</sup>, М.П. Лебедева<sup>2</sup>, И.А. Аржанцева<sup>3,4</sup>,  
Г. Харке<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФИЦ “Почвенный институт имени В.В. Докучаева”, 119017, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН, 119334, Москва, Россия

<sup>4</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000, Москва, Россия

<sup>5</sup>Тюбингенский университет им. Эберхарда и Карла, 72074, Тюбинген, Германия

<sup>6</sup>Техасский Технологический Университет, TX, 79409-2122, Техас, Соединенные Штаты Америки

\*juliakarpova10@yandex.ru

Культурные слои являются продуктом преобразования исходного природного материнского органо-минерального субстрата комплексом природных и антропогенных процессов [1, 2]. Некоторые из этих процессов могут действовать только на этапе накопления культурного слоя, другие – продолжают действовать или приходят на смену процессам седиментации, выходят на первый план в периоды временного угасания жизни на поселениях или на постантропогенном этапе, если поселение полностью прекратило свое существование. Двойственная природа культурных слоев определяет необходимость комплексных подходов к их изучению и высокую значимость таких исследований как для наук о Земле (географии и палеогеографии, четвертичной геологии, почвоведения), так и для наук гуманитарного цикла, прежде всего, археологии.

В данной работе приведены результаты исследования стратиграфии, морфологии, химических и физико-химических характеристик культурного слоя, сформированного в селитебной зоне раннесредневекового городища Джанкент (Восточное Приаралье, республика Казахстан), расположенного в аридном палеодельтовом ландшафте с динамичной водообеспеченностью. Микроморфологические исследования позволили провести отдельную диагностику антропогенных и природных генетически значимых признаков и процессов, связанных с формированием культурного слоя: 1) включения, связанные с антропогенным привнесом и перераспределением вещества (растительный детрит, фитолиты, фрагменты костей и др.); 2) новообразования, являющиеся результатом трансформации антропогенными процессами привнесенного человеком материала (пирогенные формы карбонатов, органические и фосфатно-органические новообразования); 3) новообразования

карбонатов, гипса, оксидов железа, связанные преимущественно с природными процессами. На основании совокупности макро- и микроморфологических и аналитических характеристик были выделены стратиграфические единицы культурного слоя и выполнена интерпретация их генезиса, условий формирования и археологического контекста. Верхняя стратиграфическая единица представляет собой продукты разрушения глинобитных конструкций с углисто-золистыми прослоями, в том числе стратиграфически выдержанными; средняя – селитебно-хозяйственные слои жилых поверхностей, также включающие углисто-золистый слой; нижняя единица – слабо нарушенные селитебными активностями аллювиально-дельтовые отложения в зоне периодического влияния грунтовых вод. Общие характеристики состава и свойств, совокупность микропризнаков культурного слоя определяются не только антропогенными процессами его формирования, но и природными факторами и процессами, в частности, зональными условиями, геохимической и локальной гидрологической обстановкой. Прежде всего природные условия и процессы определяют наличие признаков аккумуляции и перераспределения карбонатов, гипса, связанных с аридным климатом, а также оксидов-гидроксидов железа, связанных с динамичным окислительно-восстановительным режимом в капиллярной кайме грунтовых вод.

Выполненное исследование показывает, что большой потенциал в изучении культурных слоев археологических памятников заложен в применении иерархической морфологии в комплексе с традиционными методами исследования химического состава и физико-химических свойств. Выявлено, что физико-химические и химические характеристики культурного слоя и их изменения в исследованной стратиграфической колонке хорошо согласуются с морфосубстантивными характеристиками на уровне отличий между более минеральными и более органическими слоями, а также в масштабе единиц слоев. Так, более низкое содержание карбонатов и высокое содержание органического углерода и фосфора характерно для рыхлых слоев средней стратиграфической единицы, богатой биогенными и органическими субстратами (травянистый детрит, углисто-золистый и костный материал). В плотных минеральных слоях (слои верхней стратиграфической единицы с глинобитным строительным материалом, а также нижние слои аллювиально-дельтовых отложений) наблюдается противоположная тенденция: достаточно высокое содержание карбонатов (около 20% и выше) и низкое содержание углерода и фосфора. Описанные на микроморфологическом уровне морфосубстантивные особенности слоев: степень их карбонатности, содержание органических материалов, гипса, фосфорсодержащих микропризнаков (кости, фосфатные новообразования) часто плохо соотносятся с аналитическими данными по содержанию карбонатов, органического углерода, гипса, фосфора. Основная причина этих несоответствий заключается, прежде всего, в чрезвычайно высокой неоднородности стратиграфических

слоев как по простиранию (планиграфическая неоднородность), так и по глубине (микростратиграфическая неоднородность).

Исследования Ю. О. Карповой и М. А. Бронниковой выполнены в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0010. Полевые исследования, изготовление тонких шлифов, микроморфологические и аналитические исследования выполнены на средства проекта DFG 389351859.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский А.Л. Культурный слой: генезис, география, систематика, палеоэкологическое значение // Археология и естественные науки в изучении культурного слоя объектов археологического наследия: Материалы междисциплинарной научной конференции. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2018. С. 7–16.
2. Сычева С.А., Леонова Н.Б. (ред). Естественнонаучные методы исследования культурных слоев древних поселений. М.: НИИ-Природа. 2004. 162 с.

## Методика исследования лавин при помощи снимков Sentinel-1

У.А. Кисляк\*, Н.А. Костенков\*\*, Д.А. Петраков\*\*\*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, г. Москва, Россия

\*uakislyak@gmail.com, \*\*kostenkov.nikita@mail.ru, \*\*\*dpetrakov@gmail.com

Важным этапом освоения территории, находящейся в рамках любой горной страны, является оценка лавинной деятельности в её пределах. Регулярные наблюдения за лавинной активностью необходимы и для обеспечения безопасности населения и сохранности инженерных сооружений. Для этого часто используют оптические снимки спутников Landsat- 8, Landsat-9 и Sentinel-2 и др., однако дешифрирование лавинной активности возможно не только с помощью мультиспектральных и оптических снимков высокого и сверхвысокого разрешения, но и при помощи радиолокационных снимков спутниковой системы Sentinel-1, пригодных для регулярного космического мониторинга лавинной активности [4].

### *Теоретическая основа работы с радиолокационными данными*

Радиолокационная съемка – съемка в радиодиапазоне, которая осуществляется радиолокатором - активным микроволновым датчиком, который способен излучать и принимать отражённые от земной поверхности поляризованные радиоволны в определённом диапазоне. К микроволновому диапазону относится излучение с длинами волн от 1 см до 1 м. На радиолокационных снимках яркость отражает свойства объекта, а также расстояние от объекта до радиолокатора. Радиолокационная съемка ведется в нескольких диапазонах – X, C, S, L, P. В зависимости от диапазона съемки радиоволны отражаются от разных поверхностей (рис. 1).

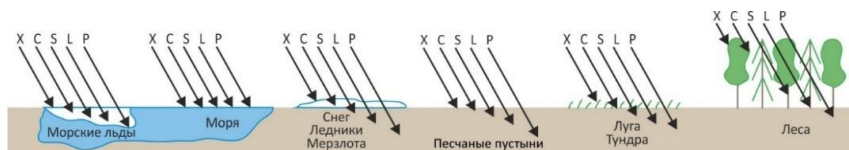


Рис. 1. Проникающая способность радиоволн [1].

Космический аппарат Sentinel-1 оснащен радаром C-диапазона с синтезированной апертурой (C-SAR). В общем случае радиоволны C диапазона «пробивают» снежный покров и отражаются от поверхности земли. В зависимости от свойств снежного покрова меняется сигнал обратного рассеяния радара, что отражается на радиолокационных снимках.

Большое преимущество радиолокационной съемки перед оптической заключается в том, что она не зависит от освещенности и облачности –

радиолокационные снимки можно получать даже при скоплении облаков в области исследования и в условиях полярной ночи (рис. 2).



Рис. 2. Преимущества использования данных SAR Sentinel-1 для обнаружения лавин [4].

Радиолокационные снимки дают возможность дешифровать лавины в любых условиях видимости и освещенности, а также в любой точке мира. Предполагается, что лавинные отложения имеют более высокие значения обратного рассеяния по сравнению с окружающей поверхностью за счет своей шероховатости (рис. 3).

Важно учитывать, что радиоволны по-разному распространяются в сухом и мокром снегу, что, безусловно, отражается на результатах дешифрования лавинных отложений. Так, вероятность обнаружения лавин (ВОЛ) и вероятность ошибки (ВО) при помощи изображений SAR напрямую зависят от размера снежной лавины и её типа (рис. 4).

Отложения крупных мокрых лавин наиболее точно идентифицируются на радиолокационных снимках, в то время как предсказать точность дешифрования следов мелких сухих лавин достаточно сложно [4].

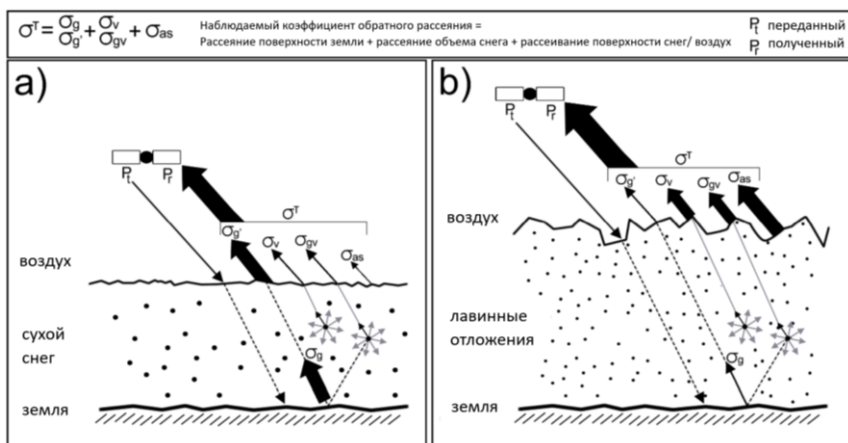


Рис. 3. Обратное радиолокационное рассеяние от сухого нетронутого снега, состоящее в основном из рассеяния поверхности земли (а) и обратное радиолокационное рассеяние от лавинных отложений, где в общем обратном рассеянии преобладает вклад неровной снежной поверхности (б) [4].

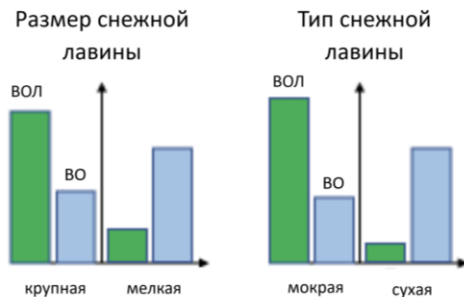


Рис. 4. Зависимость точности дешифрирования лавинных отложений при помощи снимков Sentinel-1 от характеристик лавин [4].

### Набор данных

Для применения методики дешифрирования лавинных отложений были выбраны снимки Sentinel-1 формата GDRH (Ground Range Detected) VV поляризации на территорию Туркестанского, Зеравшанского, Алайского и Гиссарского хребтов Гиссаро-Алая. Используемые данные были получены 21.03.22 и 09.03.22, то есть в период лавинной активности исследуемого региона [2]. Формат GDRH выбран по причине его меньшего объема по сравнению с форматом SLC (Single Look Complex), а также потому, что снимки GDRH представляют собой сфокусированные данные в координатах «наземная дальность \*путевая дальность» без фазовой информации [3]. Поляризация VV выбрана в связи с тем, что она лучше зарекомендовала себя в достижении целей дешифрирования водных объектов, в то время как кросс-поляризация является более подходящей для работы по дешифрированию различных типов растительности. Снимки были получены по восходящей орбите движения спутника, а их локализация по ASF DAAC (NASA's Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center) определяется 126 участком по долготе и 173 участком по широте.

*Методика обработки радиолокационных снимков для целей исследования лавин*

Снимки были обработаны при помощи инструмента обработки Sentinel – SNAP (рис. 5).



Рис. 5. Граф обработки снимков Sentinel-1 в SNAP.

0) *Подкрепление информации об орбите.* Вспомогательные данные об орбите содержат информацию о положении спутника во время сбора данных SAR. Они автоматически загружаются для продуктов Sentinel-1 с помощью SNAP и добавляются к его метаданным для улучшения результатов обработки радиолокационных данных.

1) *Калибровка.* Целью калибровки SAR является предоставление изображения, в котором каждое значение пиксела может быть напрямую связано с обратным рассеиванием сигнала радара сцены. Важно отметить, что была выполнена сигма-ноль калибровка, которая калибрует обратное рассеяние, возвращаемое на антенну.

2) *Фильтрация спекл-шума.* Инструмент применялся для удаления зернистости, излишней детальности изображения.

3) *Геометрическая коррекция рельефа.* После фильтрации к снимкам была применена геометрическая коррекция рельефа – использовалась цифровая модель рельефа SRTM для исправления геометрических искажений и ортотрансформирования данных SAR.

4) *Преобразование данных в dB.* Финальным этапом обработки исходных данных было преобразование единиц данных SAR между линейными значениями и децибелами.

Представленный процесс обработки материалов радиолокационной съемки позволил получить пригодные для дальнейшего анализа снимки. Следующий этап – создание цветного изображения при помощи определённой композиции каналов. Была создана композиция каналов «более поздняя дата съемки» + «более ранняя дата съемки» + «более ранняя дата съемки». В результате получилось синтезированное изображение, на котором красным и зеленым цветом разной интенсивности выделялись разновозрастные лавинные отложения. «Свежие» лавинные отложения кажутся красными из-за увеличивающегося сигнала обратного рассеяния (рис. 6).

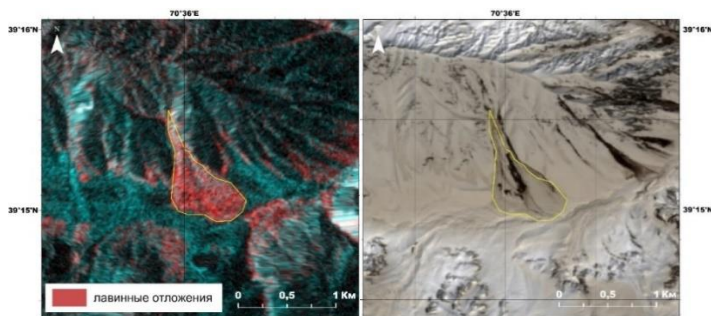


Рис. 6. Сравнение полученного после обработки радиолокационного снимка Sentinel-1 (R – 21 марта 2022 г.; G, B – 9 марта 2022 г.) (слева) и оптического снимка Sentinel-2 (6 апреля 2022 г.) (справа).

При сравнении обработанных радиолокационных снимков с оптическими данными наглядно видны преимущества использования радарных данных перед снимками, полученными во время съемки в оптическом диапазоне. Повышенная облачность не может быть помехой для мониторинга лавинной деятельности при помощи данных Sentinel-1, чего нельзя сказать об использовании оптических снимков (рис. 7).

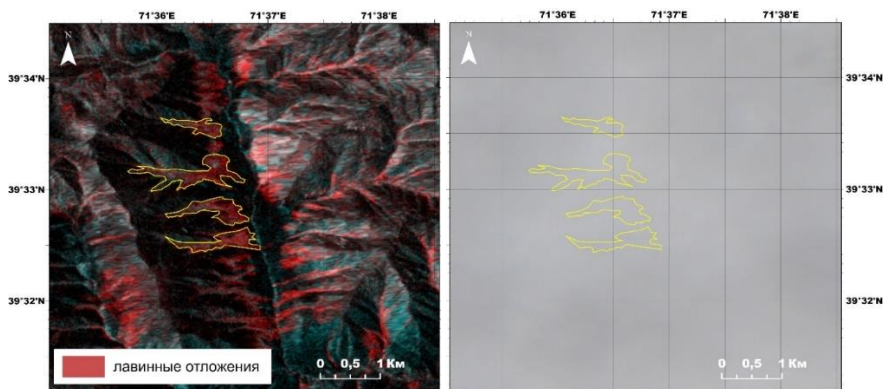


Рис. 7. Сравнение полученного после обработки радиолокационного снимка Sentinel-1 (R – 21 марта 2022 г.; G, B – 9 марта 2022 г.) (слева) и оптического снимка Sentinel-2 (21 марта 2022 г.) (справа).

Использование спутниковых снимков Sentinel-1 позволяет производить оперативный мониторинг лавинной деятельности на огромной по площади горной территории. Свободный доступ, частота обновления и большое пространственное покрытие и разрешение снимков делает данные спутника Sentinel-1 одним из лучших инструментов для оценки лавинной опасности территорий горных стран.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балдина Е.А., Трошко К.А. Радиолокационные данные в географических исследованиях и картографировании. М.: Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. 2017. 155 с.
2. География лавин / Под ред. С.М. Мягкова, Л.А. Канаева. М.: МГУ. 1992. 330 с.
3. Кашницкий А.В., Бриль А.А., Бурцев М.Ю., Самофал Е.В., Уваров И.А., Матвеев А.М. Возможности работы с данными спутника Sentinel-1 в информационной системе VEGA-Science // Сборник тезисов докладов Четырнадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные



- проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: Институт космических исследований Российской академии наук. 2016. С. 84-84.
4. Eckerstorfer M., Grahn J. Snow avalanche detection using Sentinel-1 in Langtang, Nepal. Bergen: NORCE Norwegian Research Centre, 2021. 30 p.

**Первый опыт оценки предрасположенности территории с газогидротермальными проявлениями к развитию оползней (на примере долины р. Гейзерной, Восточная Камчатка).**

А.В. Котенков<sup>1,2\*</sup>, С.В. Харченко<sup>1,2\*\*</sup>, Е.В. Лебедева<sup>1\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

\*avkotenkov@yandex.ru, \*\*xar4enkoff@yandex.ru,

\*\*\*ekaterina.lebedeva@gmail.com

Долина реки Гейзерной является уникальным геоморфологическим памятником, содержащим вторую по площади гейзерную систему мира. Данный объект – один из самых привлекательных в РФ для туристов. Однако последние катастрофические склоновые события – обвалы-оползни, трансформировавшиеся в сели 1981, 2007 и 2014 гг. [2, 4, 5, 7], в значительной степени изменили морфологию долины и уничтожили наиболее значимые гейзеры [1, 6, 11]. При этом в соседних долинах (долина р. Шумной), расположенных в идентичных физико-географических условиях, но без газогидротермальных проявлений, современная склоновая активность крайне низкая [1, 6, 11] (рис. 1). Целью исследования было выявление наиболее подверженных участков к дальнейшему развитию оползней для их последующего особого мониторинга с применением методики landslide susceptibility modeling (LSM) на основании алгоритма RandomForest [10, 13].

В отличие от традиционных подходов к оценке оползневой опасности, в данной методике проводится всесторонний анализ пространственных закономерностей между фактическими проявлениями оползней в прошлом (за весь голоцен) (рис. 1) и комплексом природных факторов [9]. В модели учитываются геологические (литология, разломы [3, 12] и расстояния до них от очагов зарождения оползней, тепловые аномалии, связанные с подземным тепловым потоком), гидролого-морфологические (площадь водосбора, топографический индекс влажности) и геоморфологические (морфометрические) характеристики (крутизна, ортогональные составляющие – косинус и синус – экспозиции, абсолютная и относительная высоты, превышение над ближайшим створом сети тальвегов, индекс топографической позиции и др.). Особо значимым является первый опыт учёта в модели влияния газо-гидротермальных проявлений на основании вычисления тепловых аномалий в долине р. Гейзерной по данным Landsat-8 за 2017–2021 гг. за вычетом топографических эффектов (т.е. только как следствия земного теплового потока, альбедо и погодных различий). Точность прогноза для долины реки Гейзерной составила 88.5%, а для долины реки Шумной – 95.9%.

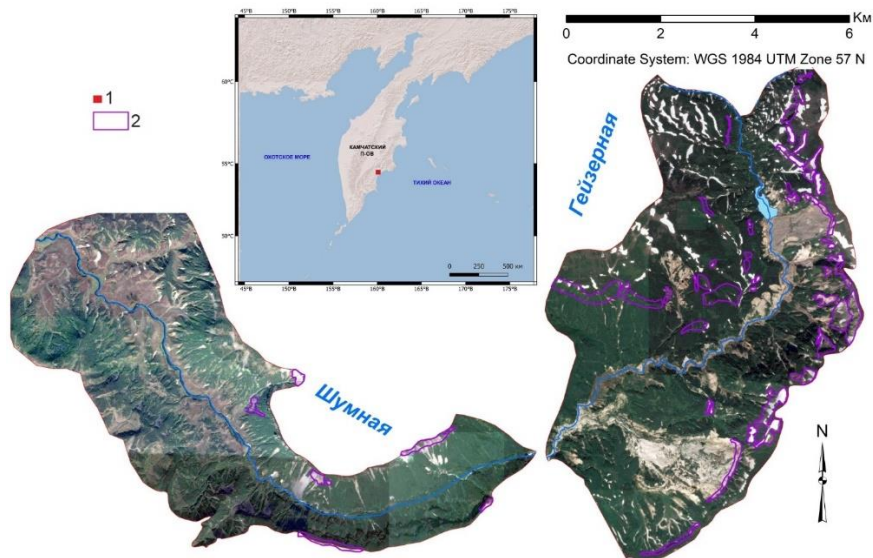


Рис. 1. Инвентаризация очагов зарождения оползней в долинах р. Гейзерной и в верхнем течении р. Шумной (на карте-врезке показано положение территории в пределах Камчатского п-ова). 1 – положение района работ; 2 – очаги зарождения оползней.

По результатам моделирования установлено, что левый борт долины р. Гейзерной является наиболее оползнеопасным. Подобное заключение подтверждается и предыдущими исследованиями [1]. Наиболее высокая концентрация оползневых и потенциально оползневых участков отмечаются в прибрежной части долины: в местах наивысших значений положительных температурных аномалий ( $>5^\circ$ ), вдоль кольцевого разлома края кальдеры, на контакте слабо литифицированных и легко поддающихся процессу аргиллизации [8] вулканогенно-осадочных толщ пачки Гейзерной и кислых дацитовых экструзивных пород.

Долина р. Шумной со схожими геолого-геоморфологическими характеристиками является практически оползнебезопасной. Только в прибрежных частях долины в уступах плато Круглого и Широкого наиболее высока вероятность проявления склоновых процессов. Объясняется это отсутствием в долине газо-гидротермальных проявлений, являющихся главным фактором активных экзогенных процессов в восточной части Узон-Гейзерной кальдеры. Также здесь в целом невелико влияние эндогенных условий (литологический состав пород) и процессов (тектоническая активность, газо-гидротермальные проявления) на экзогенную морфодинамику (рис. 2).

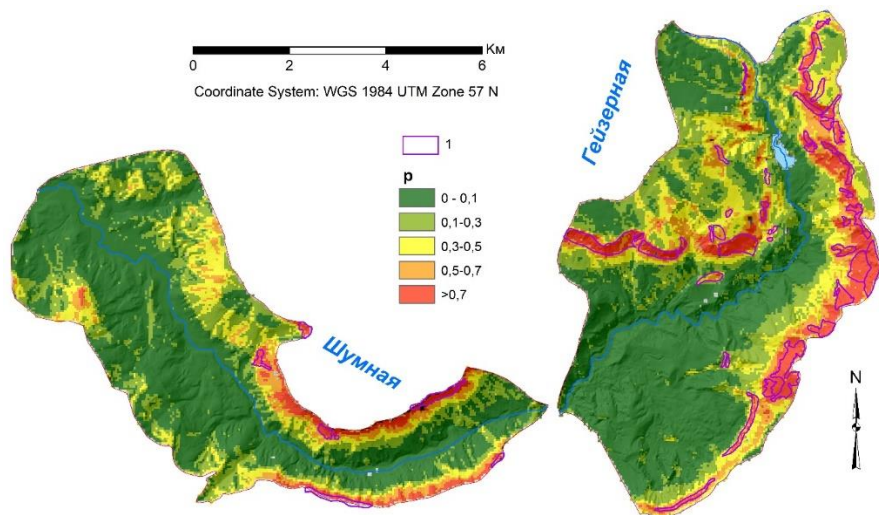


Рис. 2. Прогнозные схемы predisposedности территорий долин р. Гейзерной и верхнего течения р. Шумной к оползням. 1 - очаги зарождения оползней; р - вероятности predisposedности участков к потенциальным поверхностям скольжения.

В дальнейшем планируется уточнить прогноз оползневой опасности в долине р. Гейзерной на основании более подробного анализа факторов и их взаимосвязей. Также необходимо выявить количественные параметры, которые помимо температурных аномалий будут характеризовать влияние газогидротермальной активности на склоновые процессы.

Исследование выполнено по теме государственного задания Института географии РАН - FMWS-2024-0005. Полевые исследования проводились при поддержке гранта РНФ (проект № 21-17-00216). Разработка подхода к учету термальных аномалий при моделировании predisposedности к оползням проведена за счет гранта РНФ (проект № 23-77-01027). Авторы выражают особую благодарность Н.В. Аникиной, Е.А. Балдиной, И. Е. Большакову, А.Л. Гуринову, А.Л. Захарову, принимавшим участие в полевых и камеральных работах, а также сотрудникам Кроноцкого заповедника за всестороннюю помощь и поддержку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балдина Е.А., Лебедева Е.В., Аникина Н.В. Активность геоморфологических процессов на склонах речных долин в условиях газогидротермальных проявлений (по разновременным снимкам и ЦМР) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2023. Т.29. С.272–287. <http://dx.doi.org/10.35595/2414-9179-2023-1-29-272-287>.

2. Двигало В.Н., Мелекесцев И.В. Геолого-геоморфологические последствия катастрофических обвальных и обвально-оползневых процессов в Камчатской Долине Гейзеров (по данным аэрофотограмметрии) // Вулканология и сейсмология. 2009. № 5. С. 24–37.
3. Зеленин Е.А. Активная разломная тектоника областей современного вулканизма Камчатки: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. М., 2018. 26 с.
4. Леонов В.Л. Геологические предпосылки и возможность прогноза оползня, произошедшего 3 июня 2007 г. в Долине гейзеров, Камчатка // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Первая рег. научно-техн. конф. Иркутск, 2007. С. 19–27.
5. Леонов В.Л. Обвал и оползень, произошедшие 4 января 2014 г. в Долине Гейзеров, Камчатка, и их последствия // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. №1. Вып. 23. С. 7–20.
6. Лебедева Е. В., Балдина Е. А., Медведев А.А. Склоновые процессы в долине р. Гейзерной (Камчатка): результаты дешифрирования разновременных космических снимков высокого пространственного разрешения // Геоморфология. 2022. Т. 53. № 4. С. 3–16. <http://dx.doi.org/10.31857/S0435428122040095>.
7. Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Дрознин В.А., Карпов Г.А., Леонов В.Л. Жемчужина Камчатки – Долина Гейзеров. Научно-популярный очерк, путеводитель. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. 108 с.
8. Фролова Ю.В., Гвоздева И.П., Чернов М.С., Кузнецов Н.П. Инженерно-геологические аспекты гидротермальных преобразований туфогенных пород Долины гейзеров (полуостров Камчатка) // Инженерная геология. 2015. № 6. С. 30–42.
9. Харченко С.В., Шварёв С.В. Прогнозирование оползневой опасности в окрестностях Красной Поляны на основе линейного дискриминантного анализа // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2020. № 3. С. 22–33.
10. Breiman L. Random Forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45, N 1. P. 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
11. Kiryukhin A.V., Rychkova T.V., Dubrovskaya I.K. Formation of the hydrothermal system in Geysers Valley (Kronotsky Nature Reserve, Kamchatka) and triggers of the giant landslide//Applied Geochemistry. 2012. Vol. 27. P. 1753–1766. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.02.011>
12. Kozhurin A., Zelenin E. An extending island arc: The case of Kamchatka // Tectonophysics. 2017. V. 706. P. 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.02.011>
13. Reichenbach P., Rossi M., Malamud B.D., Mihir M., Guzzetti F. A review of statistically-based landslide susceptibility models // Earth-Science Reviews. 2018. N 180. P. 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>

## Субфоссильные спорово-пыльцевые спектры северо-запада плато Путорана и их применение в палеоэкологических реконструкциях

Е.А. Макарова<sup>1,2\*</sup>, Н.Г. Мазей<sup>1</sup>, Е.Ю. Новенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

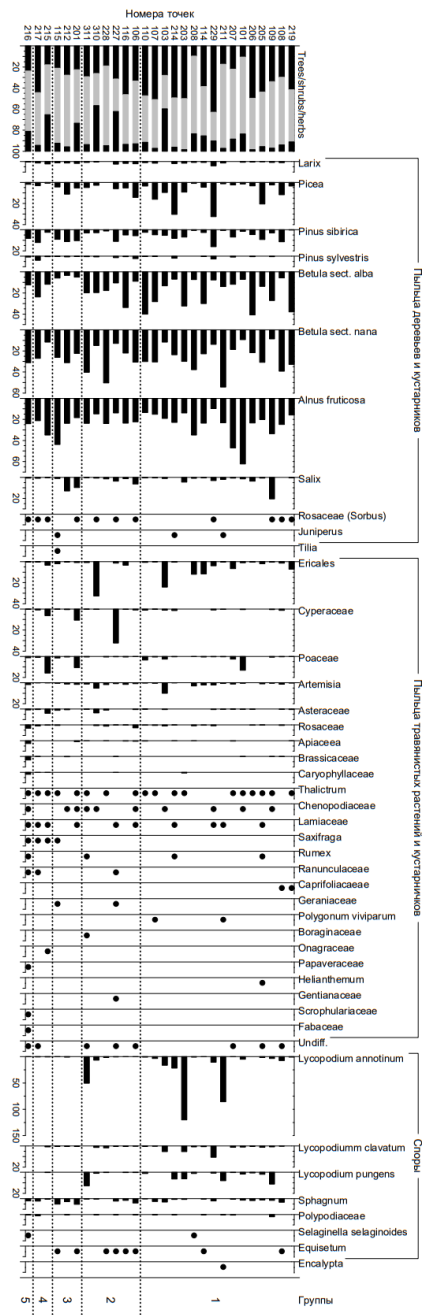
<sup>2</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

\*katmak2001@gmail.com

Палинологические данные служат основой для многих палеоэкологических исследований, поэтому необходимо установить, как спорово-пыльцевые спектры (их состав и соотношение компонентов) отражают продуцирующие их растительные сообщества, что во многом зависит от региональных особенностей. Большое количество работ подобной тематики выполнено для Европейской части России, Дальнего Востока, Российской Арктики и некоторых районов Сибири, в то время как Средняя Сибирь остается практически неизученной, благодаря чему изучение субфоссильных спорово-пыльцевых спектров на северо-западе плато Путорана позволяет получить новые данные о региональной специфике и оценить возможность их применения в реконструкциях ландшафтов и климата района исследований.

Изучаемая территория расположена на северо-западе плато Путорана, в пределах Среднесибирского плоскогорья в Сибирской области Субарктического климатического пояса. В районе исследований преобладают елово-березовые и березово-лиственничные леса, с высотой сменяющиеся подгольцовым и гольцовым поясами. В ходе полевых работ в 2022 г. нами было отобрано 27 проб (поверхностные образцы мхов, лишайников и лесной подстилки): в лесах с разными сомкнутостями крон и составом фитоценозов (березняки с примесью ели и лиственницы (5 проб), лиственничники (2 пробы), елово-лиственничные (4 пробы), лиственнично-еловые (3 пробы), березово-еловые (1 проба), елово-березово-лиственничные леса (1 проба), на болотах (6 проб), конусах выноса (3 пробы), в подгольцовом (2 пробы) и гольцовом (1 проба) поясах. В точках отбора были проведены подробные описания растительности. Пробоподготовка, подсчет зерен и обработка результатов выполнены по стандартным методикам [1, 2].

Результаты исследования показали, что для большинства изученных спорово-пыльцевых спектров характерно преобладание пыльцы древесных и кустарников (80 – 90%, до 50%), представленной преимущественно *Betula sect. alba* и *nana* (до 70%), *Alnus fruticosa* (20 – 30%, до 60%), для которых отмечена высокая пыльцевая продуктивность (рис. 1).



Зависимость лесных спорово-пыльцевых спектров от сомкнутости крон не выявлена. Пыльца основных лесообразующих пород (*Larix*, *Picea*, *Pinus*, *Betula*) обнаружена во всех изученных пробах. Доля пыльцы *Picea* увеличивается с ростом ее присутствия в древостое. Несмотря на широкое распространение *Larix*, ее пыльца плохо сохраняется, а доля в спектре сильно занижена (менее 5%). В современных условиях *Pinus* не произрастает на плато Путорана, поэтому наличие ее пыльцы в спектрах свидетельствует о заносе. Из трав и кустарничков наиболее часто встречается пыльца *Ericales*, *Artemisia*, *Asteraceae*, *Poaceae*, *Thalictrum* и др., а из спор – *Lycopodium annotinum*. Их наличие в спектрах совпадает с описаниями фитоценозов в точках отбора проб.

Палинологические спектры болот и конусов выноса во многом похожи на лесные, но для них была отмечена более низкая доля пыльцы древесных (20 – 40%), имеющая заносный характер, а также в некоторых из них повышена доля пыльцы трав и кустарничков – *Ericales* и *Cyperaceae*. Несмотря на практическое отсутствие растительности в пределах гольцового пояса, для данного спектра было выявлено наибольшее разнообразие таксонов наземного покрова, причем доля каждого из них не превышает 5%,

Рис. 1: Спорово-пыльцевая диаграмма поверхностных проб растительных сообществ северо-запада плато Путорана: 1 – леса, 2 – болота, 3 – конуса выноса, 4 – подгольцовый пояс, 5 – гольцовый пояс.

что объясняется обширными открытыми пространствами. В подгольцовом поясе были отмечены как признаки гольцовых, так и лесных спектров.

Результаты исследования показали, что при интерпретации данных спорово-пыльцевого анализа для палеоэкологических реконструкций на северо-западе плато Путорана необходимо учитывать заниженную долю *Larix* в спектрах относительно ее присутствия в фитоценозах и завышенную – *Betula* sect. *alba* и *nana*, *Alnus fruticosa*, а также наличие заносного компонента – пыльцы *Pinus*. Соотношение спор, пыльцы трав и кустарничков во многом определяется локальными условиями и отражает характеристики наземного покрова в точке отбора пробы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grimm E.C. Tilia and TG View Version 2.0.2. Illinois State Museum, Research and Collector Center. 2004.
2. Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. Pollen Analysis. Oxford; Boston: Blackwell Scientific Publications. 1991. 216 p.



## **Анализ гранулометрического состава лессовых отложений как важный инструмент в оценке транспортировки и источников эоловой пыли**

В.В. Малышев\*, И.Ю. Кудреватых, П.И. Калинин

ФИЦ «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской Академии наук», Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, 142290, Московская область, г. Пушкино, Россия

\*averkieva25@rambler.ru

Лессы представляют собой широко распространенные эоловые отложения, которые являются важным палеоэкологическим архивом наземных условий четвертичного периода [3]. Многочисленные исследования показали, что анализ размера зерен — это мощный инструмент для исследования факторов, влияющих на происхождение, транспортировку и накопление эоловых отложений. Гранулометрический состав лессов чаще всего оценивают по отклонению от заданного идеального распределения. При этом основными параметрами, характеризующими распределение, являются средний размер, медиана, разброс размеров вокруг среднего размера, симметрия или преимущественный разброс в одну сторону от среднего и степень концентрации зерна относительно среднего значения [1, 2, 6]. Однако отмечают, что простые статистические методы не в полной мере отражают факторы переноса обломочного материала (например, силу ветра, расстояние от зоны источника или засушливость зоны источника) [7], поэтому для анализа размера зерен лессов был разработан метод моделирования конечных членов (End Members (ЕМ)). Эта модель при помощи алгоритма, основанного на параметрическом или непараметрическом подходе, раскладывает гранулометрический состав по особенностям распределения в серии образцов с однопиковым набором параметра [4], что позволяет эффективно разделять и идентифицировать смешанные компоненты отложений, указывая на различные механизмы и модели атмосферной передачи, а главное учитывает расстояния передачи.

*Объекты и методы.* В качестве объекта исследования был выбран лёссово-почвенный разрез Чумбур-Коса на юге Таганрогского залива (46°58' с.ш., 39°01' в.д.), из которого с интервалом 5 см были отобраны 322 образца палеопочв и лёссов. В полученных образцах лазерно-дифрактометрическим методом при помощи анализатора размеров частиц Malvern Mastersizer 3000 с блоком Hydro EV был сделан гранулометрический анализ. Анализ гранулометрического состава выполнен в программном пакете AnalySize 1.1.2 [4]. Данные, описывающие распределения зерен по размерам, были получены математическими или графическими методами [1]. На основе моделирования конечных членов была проведена оценка гранулометрического состава и расчет пропорционального вклада каждого конечного элемента в распределение размера зерен.

*Результаты.* Гранулометрический состав лёссовых отложений разреза Чумбур-Коса характеризуется преобладанием фракции мелкого песка со значительным количеством глины и практически полным отсутствием крупного песка. Все образцы из разреза попадают в область пылеватого суглинка. Выявлено, что основное разделение размера зерна идет между лёссовыми горизонтами и педокомплексами.

Проведенный непараметрический анализ размера зерна методом моделирования конечных членов для лессово-почвенного комплекса разреза Чумбур Коса показал, что все конечные члены характеризуются тремя схожими распределениями: 1) присутствует отчетливый пик ила размером  $<1$  мкм; 2) пики 4, 5 и 8 мкм, которые в EM1 и EM2 выражены наиболее отчетливо, а в EM3 очень слабо; 3) 14 мкм наиболее отчетливо выражен в EM1 и EM 3 и очень слабо в EM2. Данный тип распределения характерен для формирования мелкозернистого лёсса типа 1.c (по классификации Vandenberghe, 2013) [5]. Модель формирования данного типа отложений заключается в переносе фоновой пыли с высокой взвесью на большие расстояния без влияния пыльных бурь и высокоэнергетичных региональных ветров. Зерна подвергаются гравитационной сортировке по мере удаления от источника пыли и в результате размер зерен медленно уменьшается с расстоянием транспортировки, высотой и уменьшением скорости ветра. Данные анализа гранулометрического распределения в нашем исследовании, в целом, подтверждают эту интерпретацию. EM1 и EM2 характеризуется как «небольшой перенос», что указывает на слабое перемещение мелкопылеватых и илистых частиц на дальние расстояния. По параметру степени концентрации размера зерна относительно среднего значения все EM сходные и попадают в область средней асимметрии, что может указывать на длительный эоловый перенос при низкоэнергетических режимах осаднения пыли. Несмотря на то, что EM3 характеризуется симметричным распределением, такие параметры также указывают на отсутствие экстремальных условий осадконакопления. В EM3 есть небольшая примесь глины и песка. Отличная от других EM асимметрия распределения и распределение фракций в EM3 может указывать либо на изменение динамики эолового переноса, либо на разбавление основного материала из других источников. Но схожие пики во всех трех непараметрических EM при их разной выраженности указывают на то, что все они образовались из материала одного источника.

*Заключение.* В настоящем исследовании представлен пример применения графического пакета AnalySize для статистической обработки гранулометрического состава лессово-почвенного комплекса (на примере разреза Чумбур Коса). На основе простых статистических параметров распределения и моделирования конечных членов был оценен тип распределения гранулометрического состава исследованного лессово-почвенного комплекса и охарактеризован вид транспортировки материала и

источники его отложений. Полученные статистические данные согласуются с ранее полученными геохимическими и минералогическими данными, и в полной мере отражают поведение гранулометрических фракций в процессе преобразований.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23–27–00145)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Blott S.J., Pye K., 2001. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments // *Earth Surf. Proc. Land*. № 26 (11). P.1237–1248.
2. Liang Y., Yang T., Wang L., Shi P., Matishov G.G., Velichko A.A., Zeng B. The indicative significance of grain size end-members and quartz surface microtextural features in Beglitsa loess sections at the Sea of Azov // *Aeolian Research*. 2024. Vol. 67–69. P. 100921. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2024.100921>
3. Muhs D.R. Loess deposits, origins and properties // In: *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier. 2007. P. 1405–1418. <https://doi.org/10.1016/B0-444-52747-8/00158-7>
4. Paterson G.A., Heslop D. New methods for unmixing sediment grain size data // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2015. Vol. 16. P. 4494–4506.
5. Vandenberghe J. Grain size of fine-grained windblown sediment: a powerful proxy for process identification // *Earth Sci. Rev.* 2013. Vol.121/ P. 18-30.
6. Wen Y., Wu Y., Tan L., Li D., Fu T. End-member modeling of the grain size record of loess in the Mu Us Desert and implications for dust sources // *Quat. Int.* 2019. № 532. P. 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.10.005>
7. Weltje G.J. End-member modeling of compositional data: numerical-statistical algorithms for solving the explicit mixing problem // *J Math Geol.* 1997. Vol. 29. P. 503–549.

## **Применение Mask R-CNN для автоматической сегментации крон деревьев в сосновых лесах**

А.Д. Никитина

Центр по проблемам экологии и природопользования РАН, 117997, Москва,  
Россия

nikitina.al.dm@gmail.com

В условиях глобальных климатических изменений мониторинг состояния и динамики лесных экосистем становится особенно актуальным. Эффективность такого мониторинга во многом зависит от точности и оперативности получаемых данных. В данной работе рассматривается применение алгоритма Mask R-CNN для автоматической сегментации крон деревьев в сосновых лесах на основе RGB-ортофотопланов, полученных с помощью БПЛА.

Архитектура Mask R-CNN позволяет решать задачи сегментации на уровне экземпляров (instance segmentation) и обеспечивает высокую точность обработки сложных объектов в отличие, например, от U-Net. Архитектура сети позволяет эффективно обрабатывать изображения с высокой плотностью объектов и пересекающимися границами, что характерно для сосновых лесов с высокой сомкнутостью крон. Также Mask R-CNN отличается гибкостью настройки и дообучения и позволяет легко и эффективно адаптировать предобученные модели к специфическим задачам.

Исследование основано на анализе аэрофотоснимков, сделанных беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) низкого ценового сегмента с RGB-камерами: DJI Phantom 3 и Mavic Pro. В качестве объектов исследования рассматривались сосновые древостои дренированных местообитаний подзоны хвойно-широколиственных лесов. Съёмка БПЛА проводилась в вегетационный период, с середины июня по середину августа, с 11 до 16 часов по местному времени для минимизации влияния сильного угла солнца, создающего тени на изображениях. Съёмка осуществлялась преимущественно в облачную погоду. В случае переменной облачности или яркой солнечной погоды использовались специальные фильтры на объектив камеры, чтобы предотвратить сильные засветы.

Модель Mask R-CNN, предварительно обученная на наборе данных COCO, была дообучена на кронах 7000 деревьев, выделенных на ортофотопланах путём визуального дешифрования преимущественно сосновых лесов с небольшим включением других видов древесных растений для улучшения качества сегментации. Обучение включало использование кросс-валидации для повышения обобщающей способности модели. Для валидации использовался датасет из 1300 крон. Ключевой метрикой для оценки соответствия результатов модели служило Пересечение по объединению (Intersection over Union, IoU) с порогом 0.5.

Для повышения точности выделения крон алгоритмом применяются следующие улучшения:

- реализовано разбиение ортофотопланов на патчи с перекрытием, что помогает избежать неполного захвата крон на границах патчей и позволяет обойти ограничения предобученной модели Mask R-CNN, которая может выделять не более 100 сегментов на одном изображении;
- использованы пирамиды признаков (FPN) для обработки объектов разного масштаба;
- разработан блок постобработки: фильтрация по площади, уровню достоверности и устранение дублирующих сегментов;
- обеспечена корректная геопривязка результатов сегментации для последующего использования в пространственном анализе.

Начальные результаты сегментации крон, полученные с помощью нейронной сети Mask R-CNN, отличались высоким уровнем полноты ( $\text{recall} = 0.91$ ) на всех исследуемых участках, но имели низкие показатели точности ( $\text{precision} = 0.31$ ) и F1-меры (0.46). Эти данные указывали на значительную избыточность сегментации по сравнению с визуальной разметкой. Процесс постобработки, включающий фильтрацию данных, позволил значительно повысить средние значения точности до 0.87 и достоверности до 0.72, F1-мера увеличилась до 0.83. При этом полнота снизилась незначительно, составив 0.81.

Детальный анализ обучающих и валидационных данных показал различия в адаптации модели к возрастным группам древостоев. Наибольший разброс показателей F1-меры был зафиксирован в группе молодых сосновых лесов, где F1 на обучающей выборке составила 0.81, а на валидационной — 0.70, с медианным значением 0.8. В то время как средневозрастные и старовозрастные древостои показали более высокие и стабильные результаты, с F1-мерой 0.84 и 0.88 для обучающего набора и 0.83 и 0.82 для валидационного соответственно, с медианным значением 0.88 для обеих групп.

Общий разброс значений качества модели (F1) варьировался от 0.52 до 0.96, со средним значением 0.83 и медианным значением 0.85. В молодых лесах разброс F1-меры составлял от 0.52 до 0.89, что указывает на менее стабильные результаты в этой возрастной группе, при среднем значении 0.77 и медиане 0.8. Это может быть обусловлено низким качеством съёмки (для невысоких древостоев стоит проводить БПЛА-съёмку ниже 120-180 м, при использовании БПЛА массового сегмента), сложным выделением отдельных деревьев в плотных насаждениях, меньшей обучающей выборкой для ПП молодых сосновых лесов. В старовозрастных лесах модель показывала лучшие результаты, с F1 в диапазоне от 0.7 до 0.96 и средним значением 0.86 ( $F1_{\text{медиана}} = 0.88$ ).

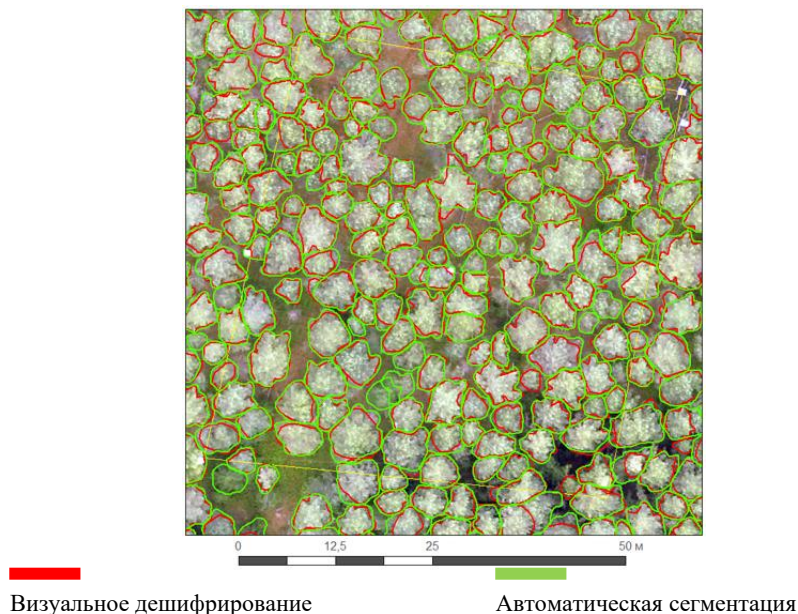


Рис. 1. Пример автоматической сегментации пробной площади средневозрастного соснового леса.

Таким образом, результаты подтверждают, что алгоритм обработки и фильтрации данных эффективно сокращает избыточность сегментов, повышая надежность сегментации. Итоговая модель показывает стабильно высокое качество выделения крон сосновых древостоев с медианным значением F1-меры 0.85.

Использование алгоритма Mask R-CNN для автоматической сегментации крон в сосновых лесах демонстрирует высокую эффективность и может существенно улучшить качество экологического мониторинга и управления лесными ресурсами. Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение алгоритмов предварительной обработки и постобработки данных для дальнейшего повышения точности и полноты результатов.

Работа выполнена в рамках молодежной лаборатории ЦЭПЛ РАН «Климаторегулирующие функции и биоразнообразие лесов» (регистрационный номер 122111500023-6).

## Пространственное моделирование ареала *Vaccinium myrtillus* на примере Московского региона с учётом климатических показателей

А.С. Новиков

Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

nowicko.alexander2013@yandex.ru

Выявление закономерностей формирования ареалов растений является фундаментальной проблемой [2]. На географическое распространение живых организмов, в частности растений, влияют многочисленные факторы внешней среды. С появлением новых программных пакетов появляются новые возможности для моделирования ареалов видов и их динамики на основе климатических и иных показателей (предикторов). В современных исследованиях большое внимание уделяется моделированию географического распространения живых организмов методами максимальной энтропии и дискриминантным анализом (ДА). Основным результатом, полученным при применении метода MaxEnt, — это предсказание присутствия вида в географическом пространстве, основываясь только на точках регистрации видов (presence-only), без учета мест документированного отсутствия [2].

В качестве входных данных для осуществления моделирования используются координаты точек регистрации вида (присутствие и отсутствие) и переменные окружающей среды (предикторы), описывающие пространственную изменчивость факторов среды на всей территории исследования. Проецирование вероятностей обнаружения объекта на территорию исследования приводит к получению карты с прогнозами вероятности присутствия в каждой ячейке (пикселе) в диапазоне от 0 (объект отсутствует) до 1 (объект присутствует) [2].

Цель работы — моделирование пространственного распространения *Vaccinium myrtillus* (черники обыкновенной) в Московском регионе в зависимости от климатических показателей. В задачи работы входит: 1) разработка моделей современного распространения изучаемого вида с применением методов MaxEnt и дискриминантного анализа; 2) сравнительный анализ полученных моделей.

Территория исследования расположена в центральной части Восточно-Европейской (Русской) равнины — 35° 10' — 40° 15' в.д., 54° 12' — 56° 55' с.ш., занимает площадь 4.58 млн. га (с учетом территории «Новой Москвы» площадью 0.15 млн. га). В соответствии с принятым зонированием большая часть Московской области относится к зоне хвойно-широколиственных лесов. Южная часть, занимающая меньшую площадь, относится к зоне широколиственных лесов, а самый юг области граничит с лесостепной зоной.

В качестве предикторов в нашем исследовании использовался набор 19 биоклиматических переменных BIOCLIM с разрешением ~ 1 км на пиксель [3]. В общей сложности в анализе участвовало ~ 1952 точки находок вида. При

составлении карт распространения вида использовался ГИС пакет QGIS. Моделирование географического распространения осуществлялось в программах Maxent и SPSS Statistics.

При проведении анализа с целью оценки вероятности находок вида использовался логистический выходной формат с градациями от 0 до 1. Для статистического анализа точности полученные модели проверялись случайной выборкой 30 % местонахождений вида, также для каждой модели была получена стандартная ошибка, которая выражается в виде оценки площади под кривой (AUC – Area Under the Curve), и для тестовых результатов характеризовалась высокими показателями. Полученные прогнозные карты распространения видов показали различный отклик на возможные климатические изменения.

ДА позволяет не только провести классификацию, но и определить вероятность отнесения пикселей к классам, что даёт возможность оценить неопределённость модели и степень неоднородности растительного покрова. При составлении картографической модели создаётся обучающая выборка, состоящая из полевых геоботанических описаний и растровых слоёв, в которых содержится информация о свойствах местообитаний. Ключевым результатом анализа является выявление предсказанной принадлежности к классу каждого пикселя. При проведении ДА использовался логистический выходной формат с градациями от 0 до 5, где 0 - наименьшая вероятность присутствия вида, 5 - наибольшая. Существенным преимуществом данного вида анализа по сравнению с MaxEnt является возможность включения в обучающую выборку дополнительного параметра (обилие вида).

*Результаты.* В результате обработки данных получена карта вероятностей обнаружения объекта на территории исследования (рис. 1). Синим цветом отмечены области, отражающие малую вероятность нахождения вида. Красным отражаются области, где вид наиболее вероятно должен произрастать.

Согласно полученной модели (рис. 1), наиболее благоприятные для изучаемого вида территории располагаются в северной части и юго-восточной частях Московского региона. Чуть менее благоприятными являются западная и юго-западная части территории. Самая маленькая вероятность встречи наблюдается к северу от Москвы на Клинско-Дмитровской гряде и на крайнем юге региона.

Созданная нами модель имеет хорошую предсказательную способность со значением  $AUC = 0.78$ , линейные и квадратичные функции, т.е. оперирует зонами оптимумов.

Согласно модели, полученной с применением ДА (рис. 2) наиболее вероятно присутствие черники на севере Московского региона, на востоке и юго-востоке. Самые неблагоприятные территории располагаются на западе, юго-западе и юге территории.



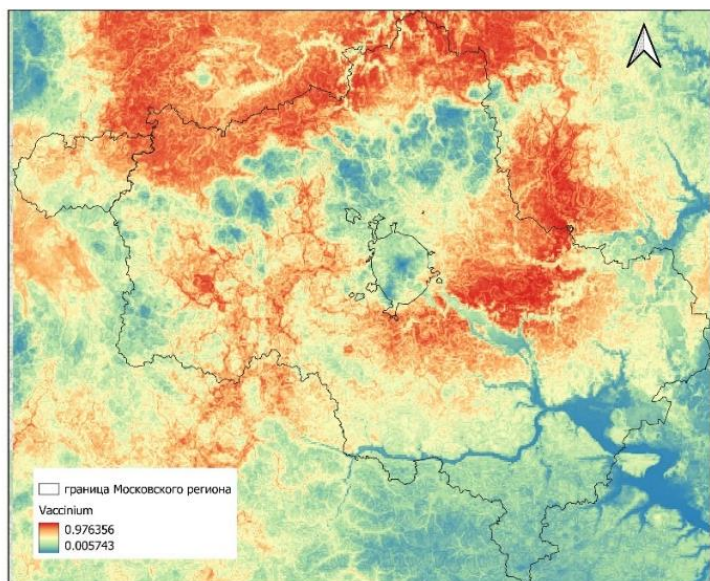


Рис. 1. Модель потенциального распространения *Vaccinium myrtillus* в исследуемом регионе с применением метода Maxent.

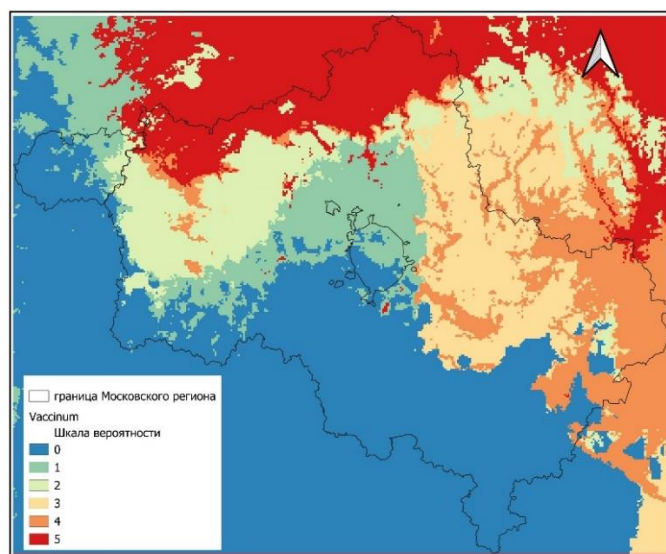


Рис. 2. Модель потенциального распространения *Vaccinium myrtillus* в исследуемом регионе с применением дискриминантного анализа.

Сопоставляя полученные данные, можно сделать вывод о том, что результаты двух методик моделирования весьма схожи, однако выявление положительных и отрицательных сторон требует дальнейших исследований.

Основная часть этого исследования была проведена в рамках проекта Российского научного фонда (РНФ) (№ 24-17-00120) по обработке и анализу данных. Сбор полевых данных проводился при поддержке государственного исследовательского задания (FMWS-2024-0007 № 1021051703468-8) Института географии РАН.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дудов С.В. Моделирование распространения видов по данным рельефа и дистанционного зондирования на примере сосудистых растений нижнего горного пояса хр. Тукурингра (Зейский заповедник, Амурская область) // Журнал общей биологии. 2016. Вып. 77. №. 2. С. 122–134.
2. Толмачёв А.И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1974. 244 с.
3. 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. №. 12. P. 4302–4315.

## **Границы Камской агломерации и ее структурные элементы**

Р.Д. Опарин

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
109028, Москва, Россия  
rdoparin@edu.hse.ru

Для России характерна размытость функциональных и морфологических границ между сельскими и городскими населенными пунктами [1]. Границы между сельским и городским особенно размыты в зонах агломерационного расселения из-за регулярных маятниковых трудовых миграций населения между периферией и центрами агломерации. Исследование агломераций представляется перспективным не только с точки зрения глобальной политики по созданию сети устойчивых населенных пунктов, но и с позиции распространения среди населения тенденции жить в субурбанизированных условиях.

Одним из главных векторов исследования городских агломераций становится делимитация, то есть выделение их границ. Решение задачи делимитации агломераций осложняется, когда речь идет о полицентрических агломерациях (конурбациях), более сложном по сравнению с моноцентрическими агломерациями случае, где исследователь решает проблему выделения нескольких ядер и, соответственно, сложной границы всей агломерации.

Объект настоящего исследования – Камская (Набережночелнинская) агломерация. Это полицентрическая агломерация-конурбация, которая имеет несколько примерно одинаковых по значимости ядер при отсутствии явно доминирующего центра.

В географии населения понятие агломерации трактуется как «новый эволюционный виток» в городской системе расселения, когда вокруг зарождающегося центра (или центров) будущей агломерации складывается иерархичная система с ядрами, полупериферийной и периферийной (спутниковой) зонами [2]. Понятию «городская агломерация» близок ряд связанных понятий, которые используются в статистической практике и определены в соответствующих законодательных актах: «metropolitan area» (метрополитенский ареал) и «micropolitan area» (микрополитенский ареал) в США, «census metropolitan area» (СМА, переписная метрополия, городская переписная зона) и «census agglomeration» (СА, переписная агломерация) в Канаде, «standard metropolitan labour area» (метрополитенские трудовые ареалы) в Великобритании, «Sistemi locali delle grandi città» (локальные урбанизированные системы) в Италии [3].

Главной причиной формирования агломерации являются межселенные связи трудового, экономического, социального и рекреационного характера, вектор которых направлен на центр агломерации.

Существующие методики делимитации агломераций можно разделить на два подхода: морфологический и функционально-расселенческий, которые также могут комбинироваться [3]. Пример комбинированного подхода – двухэтапные методики делимитации метрополитенских ареалов в зарубежных странах: сначала при помощи морфологического подхода выделяются ядра агломерации как непрерывной (или почти непрерывной) зоны городской застройки, затем при помощи функционального подхода выделяется остальная часть агломерации, которая вовлечена в активную взаимосвязь с ядром (или ядрами) [3].

В рамках первого этапа собираются и систематизируются сеточные данные по плотности площади застройки и численности населения, свободно распространяемые в рамках проекта GHSL [4]. В рамках второго этапа визуализируется и анализируется плотность застройки и населения в пределах Камской агломерации. В рамках третьего этапа происходит непосредственно делимитация Камской агломерации. В случае с Камской агломерацией главными центрами выступают города Нижнекамск и Набережные Челны, а субцентрами – города Елабуга и Зайнск. После выделения центров притяжения населения в ядрах Камской агломерации произведена базовая оценка транспортной доступности путем построения изохрон. В рамках четвертого этапа функционально-расселенческого подхода немаловажное значение имеет расчет сальдо трудовой миграции для сельских и городских населенных пунктов вокруг ядер Камской агломерации.

Карты плотности застройки хорошо демонстрируют планировку жилых районов: так как Нижнекамск и Набережные Челны — города, возникшие на базе новых производств в годы советской власти, то они имеют равномерную, постепенно застраивавшуюся микрорайонную планировку зданий и сооружений.

Карты плотности населения демонстрируют похожие результаты – вследствие микрорайонной застройки плотность населения достаточно равномерно распределена в городах, поэтому выделить ареалы более высокой или же низкой застройки невозможно.

Карты интенсивности ночного излучения помогают лучше понять результаты визуализации плотности застройки и населения. Для территории Камской агломерации характерно наиболее высокие (экстремальные) значения интенсивности ночного излучения наблюдаются на территории предприятий нефтехимического и автомобилестроительного комплексов, а также тепличных хозяйств. Анализ интенсивности ночного излучения позволил выделить как минимум два кластера высоких значений: жилой район Центральный в Набережных Челнах и промышленная зона завода «ПАО Нижнекамскнефтехим».

По картам транспортной доступности можно проанализировать потенциальную вовлеченность населенных пунктов в трудовую маятниковую

миграцию населения к выделенным ранее центрам ядер агломераций. После первичного выделения границ агломерации было произведено уточнение этих границ с использованием критерия маятниковой трудовой миграции.

Анализируя распределение населения внутри агломерации, можно заметить довольно четкую дифференциацию ядер и спутниковой зоны: для зон транспортной доступности 30 и 90 минут характерны преобладание сельского населения и в целом более низкие значения численности населения, чем в других зонах, где расположены субцентры, то есть распределение населения внутри Камской агломерации имеет «волнообразный» характер.

Моделирование транспортной доступности показало, что на преодоление расстояния между двумя главными ядрами агломерации потребуется около 30 минут, а прочие субцентры (кроме Мамадыша) располагаются в пределах изохроны 60 минут. Можно сказать, что наиболее важные точки притяжения агломерации формируют довольно компактную систему расселения. Оценка маятниковой трудовой миграции выявила две характерные особенности: наличие потенциальной трудовой миграции в главные города-ядра из близлежащих районов, а также недостаточное и не вполне реализуемое вовлечение удаленных центров притяжения трудовых ресурсов (например, Альметьевска). Примененная в данной работе методика по делимитации агломераций, состоящая из поэтапных действий, дала возможность последовательно выделить ядра агломерации, ее границы, а затем анализировать их. Также удалось не напрямую проанализировать иерархию центров Камской агломерации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов Е.В., Махрова А.Г. Крупнейшие городские агломерации и формы расселения на дагломерационного уровня в России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. №4. С. 31–45.
2. Лаппо Г.М. Города России. Взгляд географа. М.: Новый хронограф. 2012. 504 с.
3. Райсих А.Э. Определение границ городских агломераций России: создание модели и результаты // Демографическое обозрение. 2020. Т.7. №2. С. 54–96.
4. Schiavina M., Freire S., Carioli A., MacManus K. (2023): GHS-POP R2023A - GHS population grid multitemporal (1975-2030). European Commission, Joint Research Centre (JRC). <https://doi.org/10.2905/2FF68A52-5B5B-4A22-8F40-C41DA8332CFE>

## **Изменчивость звукового функционирования Гусевско-Куршинского долинно-зандрового ландшафта на разных высотных уровнях**

М.С. Перов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991,

Москва, Россия

zhorik.ermak@gmail.com

Функционирование ПТК – совокупность процессов перемещения, обмена и трансформации энергии, вещества, а также информации [1]. Звук как вечное свойство всего живого является важнейшим источником информации для животных и людей. Однако особенности звукового функционирования, то есть процессов перемещения, обмена и трансформации звука в геосистеме, пока являются слабо исследованными в отечественной науке. Идея исследования звукового функционирования базируется на эоакустических научных дисциплинах, зародившихся в 1970-е годы в США и Канаде. Многочисленные более поздние исследования демонстрируют жёсткую связь между экологическими процессами и производимыми в среде звуками [3]. Отличительной особенностью эоакустических дисциплин является выделение звука как индикатора функционирования и динамики геосистем [5].

Цель настоящей работы – выявить особенности звукового функционирования Гусевско-Куршинского долинно-зандрового ландшафта на разных высотных уровнях на примере звуковых сред окрестностей села Лесуново Клепиковского района Рязанской области. Здесь и далее для описания и наименования звуковой составляющей ландшафта будет применяться термин «звуковая среда», несмотря на наличие популярного в западной литературе термина «soundscape», что можно перевести как «звуковой ландшафт». Такой выбор был сделан по причине существования различных трактовок термина soundscape.

Для сбора аудиоданных в работе был применён метод пассивного акустического мониторинга. Данный метод заключается в расположении устройств звукозаписи в точке наблюдений. Далее устройство звукозаписи работает в выбранном оператором режиме и сохраняет аудиоданные, в дальнейшем обрабатываемые специальным программным обеспечением. Таким образом, можно без постоянного непосредственного участия операторов собирать большие массивы данных и организовать регулярные исследования звуковых сред [4]. Для выполнения нижеописанных работ использовались 6 устройств AudioMoth и программа Kaleidoscope. В ходе работы использовались следующие настройки устройства: частота дискретизации 48 кГц, период записи – 5 минут, период бездействия устройства – 5 минут. Таким образом, каждые сутки записывалось 12 часов аудиоданных в виде 144 отдельных файлов. Данная методика была выбрана по аналогии с проводившимися автором в пределах окрестностей села Лесуново исследований временных

особенностей звукового функционирования в 2021–2024 гг. AudioMoth были расположены на точке наблюдения на высотах от 0 до 5 метров с шагом в 1 метр в период с 13:00 13 июля по 16:00 15 июля 2024 года. Точка наблюдения – берёза на надпойменной террасе низкого уровня, занятой подростом сосны и берёзы с разреженным белоусовым покровом. В окрестностях точки наблюдения, которые охватывались устройствами звукозаписи, преобладают сосновое редколесье беломошно-зеленомошное на НПП высокого уровня и вейниково-полевищевый луг, зарастающий подростом сосны на конусе выноса балки.

Для количественной оценки звукового функционирования на точке был использован биоакустический индекс (BI). Биоакустический индекс основан на вычислении площади под кривой спектра, включающей все полосы частот выбранного диапазона со значением звукового давления больше минимального значения [2]. Отсутствие сигналов в выбранном диапазоне отражается низкими значениями BI, большое количество сигналов – высокими значениями индекса. В данной работе использовался диапазон частот от 2 до 8 кГц. Таким образом, с помощью биоакустического индекса можно выделить периоды большей биофонической активности в окрестностях точки наблюдения. Здесь и далее под биофонической активностью подразумевается вся совокупность звуков, создаваемых животными: птицами, насекомыми, земноводными, млекопитающими и др.

Полученные значения биоакустического индекса демонстрируют высокое сходство – разность значений индекса на различных высотных уровнях в каждом третьем случае не превышает одного пункта. Таким образом, основные черты динамики записанной звуковой среды будут справедливы для всех высотных уровней. В данной работе использовалась разработанная автором методика выделения фаз суточной активности, изменённая по сравнению с более ранними работами. Для каждой точки выбирался период продолжительностью около 24 часов, в течение которого на территории исследования не было зафиксировано осадков. Это связано с влиянием осадков на жизнедеятельность живых организмов и, следовательно, их вокализацию – зачастую сильные дожди приводят к её снижению в любое время суток. Кроме того, стук капель дождя по водозащитному чехлу звукозаписывающего устройства отражается на значениях индексов. Далее этот период делился на 4 времени суток. Утро начинается вместе с утренними гражданскими сумерками и заканчивается по первому дополуночному достижению солнца половины от максимальной высоты в течение суток. Вечер начинается после прохождения солнца через вторую послеполуночную точку половины от максимальной высоты и продолжается до конца вечерних гражданских сумерек. Период между утром и вечером определялся как день, а между вечером и утром – как ночь. Далее в пределах каждого времени суток могло выделяться три фазы суточной активности. Затишья представляют собой периоды доминирования геофонии (звуков неживой природы и растений) в звуковой среде, иногда с редкими

случайными вокализациями. Биоакустический индекс подчёркивает такие периоды значениями ниже 10 в случае редких вокализаций или их отсутствия в выбранном частотном диапазоне. Активностью были названы периоды относительно регулярной вокализации тех или иных живых организмов, что обычно соответствует значениям ВІ от 10 до 40. Пиками назывались периоды резкого увеличения количества вокализаций в относительно небольшой период (не более 2-3 часов), который отражается относительным увеличением значений биоакустического индекса на 20 пунктов и более.

Согласно выбранной методике, для исследуемой звуковой среды характерны следующие фазы суточной активности. Примерно с 4:00 (время рассвета) до 6:00 характерен утренний пик, для которого характерна наибольшая в течение дня певчая активность птиц параллельно с активностью насекомых. Далее следует утреннее затишье, постепенное сменяемое дневной активностью различной интенсивности. В течение дневной активности в звуковой среде доминируют насекомые при участии птиц. Для вечерних часов обычно характерно сочетание двух фаз: затишье (14 июля) или активность (13 июля) в первой половине, сменяемая высокой вечерней с 19 – 20 часов и далее ночной активностью, заканчивающейся около 1:30. Для вечерней и ночной активности характерна полная доминация насекомых в звуковой среде. Далее следует ночное затишье в течение 1,5 – 2 часов, для которого характерно практически полное отсутствие сигналов и насекомых, и птиц. Таким образом, для данной звуковой среды характерно доминирование насекомых на протяжении большей части суток. Характерное для более ранних июньских записей доминирование птиц практически не встречается, что обусловлено жизненными циклами этих животных. Явных вокализаций земноводных и млекопитающих в записях обнаружено не было. Содержание антропофонии, то есть, звуков, образованных человеческой деятельностью и связанных с ней организмов, крайне низкое, но не нулевое – в некоторых аудиозаписях фиксировались лай собак и крик петуха, доносящиеся с расстояния более 400 метров.

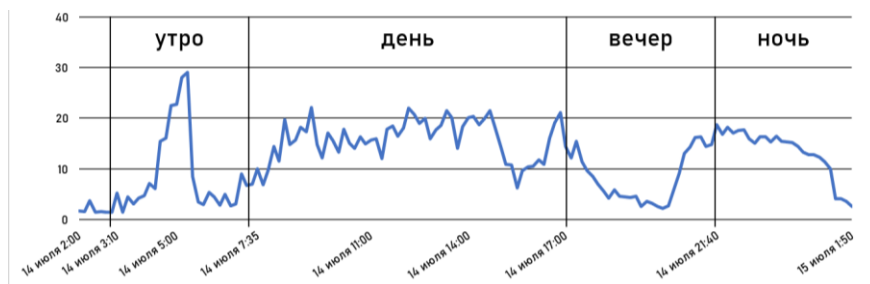


Рис. 1: Суточная динамика биоакустического индекса 14 – 15 июля на точке исследования с выделенными временами суток



Основные различия звукового функционирования на высотных уровнях касаются не набора фаз суточной активностью, а их явностью, выражаемой в различных значениях биоакустического индекса для записей, созданных одновременно. Одновременность старта звукозаписи на всех шести устройствах – важное допущение, используемое для дальнейшего сравнения высотных уровней.

Высотные уровни были наибольшим образом схожи со своими ближайшими соседями, например, для высотного уровня 2 метра уровнями с наименьшей средней разницей ВІ стали уровни 1 и 3 метра. Такая закономерность справедлива для каждого из уровней. В целом, «отличия» становились всё менее значительны вместе с подъёмом вверх – средняя разница между уровнями 0 и 1 метр в 2,5 раза выше, чем между уровнями 4 и 5 метров. Исключением стала средняя разница между уровнями 2 и 3 метра, которая оказалась выше, чем разница между уровнями 1 и 2 метра. Здесь же следует отметить, что общие тенденции на уровнях 0 – 2 метра и 3 – 5 метров оказались отличны. Так, для более верхних уровней вечерние записи оказались в среднем более насыщенными биофонией, чем дневные, в то время как на нижних уровнях наблюдается обратная картина. Таким образом, можно предположить, что насекомые, доминирующие в звуковой среде в вечерние и ночные часы, обитают на высоте 3 метра или выше, что особенно заметно при сопряжённом анализе спектрограмм записей.

Если смотреть в общем, то наиболее отличным от прочих оказался высотный уровень 0 метров. В среднем значения биоакустического индекса записей, сделанных на высоте 0 метров, отличались на 5.5 пунктов: от 4.6 в сравнении с одновременно сделанными записями на высоте 1 метр до 6,4 – на высоте 3 метра. В отдельных случаях значения ВІ на высоте 0 метров были выше в 2 – 3.5 раза в сравнении даже с «соседней» записью на высоте 1 метр. В таких случаях обычно имели место «фациальные» вокализации насекомых, находящихся вблизи устройства звукозаписи. При этом уже на высоте 1 метр эти вокализации уже были на фоне, а на высоте 2–3 метра не были различимы на спектрограмме и на слух.

Здесь же следует отметить определённый недостаток выбранной методики. Зачастую вокализации насекомых имели более высокую частоту, чем выбранный для биоакустического индекса диапазон, ограниченный «сверху» 8 кГц. Изначально ВІ был направлен на исследование вокализаций птиц, пение которых в большинстве случаев оказывается внутри диапазона от 2 до 8 кГц. В некоторых случаях утренняя и вечерняя активность оказывались не подсвеченными значениями ВІ, так как вид вокализовывал на частотах выше 10 кГц. Кроме того, фиксировались вокализации видов насекомых на грани или выше человеческих возможностей с частотой выше 18 кГц вплоть до 22 кГц.

Переходя к заключению, можно сделать следующие выводы. Во-первых, был получен вывод об отсутствии значимости высотного уровня для оценки

вокализаций птиц, так как все вокализации в радиусе первых десятков метров (реже на большем расстоянии) были зафиксированы на всех высотных уровнях. Во-вторых, удалось выделить несколько уровней вокализации насекомых: условно «фациальные», которые датчики фиксируют только в радиусе первых метров и условно «урочищные», которые слышны были на всех высотных уровнях в радиусе первых десятков метров. В-третьих, при доминировании насекомых в звуковых средах необходимо увеличивать частоту дискретизации записей до 96 кГц, чтобы фиксировать ультразвуковые вокализации, «невидимые» при частоте дискретизации 48 кГц. В-четвёртых, следует учитывать доминирующую в звуковой среде группу животных при настройке акустических индексов. На небольшом массиве данных в виде одной точки наблюдений это не стало проблемой в данном исследовании, однако при масштабировании такой работы это будет необходимо. В-пятых, набор фаз суточной динамики слабо отличается на различных высотных уровнях в пределах первых пяти метров. Полученные данные помогут улучшить производимые на Лесуновском стационаре акустические наблюдения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. шк. 1991. 366 с.
2. Boelman N.T. et al. Multi-trophic invasion resistance in Hawaii: bioacoustics, field surveys, and airborne remote sensing // *Ecological Applications*. 2007. Т. 17. №. 8. С. 2137-2144.
3. Farina A. *Soundscape ecology: principles, patterns, methods and applications*. – Dordrecht: Springer Science & Business Media. 2013. 315 p.
4. Sugai L.S.M. et al. Terrestrial passive acoustic monitoring: review and perspectives // *BioScience*. 2019. Vol. 69. №. 1. P.15-25.
5. Xie J. et al. Data-driven analysis of global research trends in bioacoustics and ecoacoustics from 1991 to 2018 // *Ecol. Inform.* 2020. №57. P.101068.

## **Анализ пространственно-временных характеристик естественного постпирогенного лесовосстановления с использованием мультимасштабных данных ДЗЗ**

О.Г. Петров

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
109028, Москва, Россия  
ogpetrov@edu.hse.ru

Лесные пожары приводят к загрязнению атмосферы, приводят к глобальным изменениям климата, а также повышают риск преждевременных смертей [8]. В краткосрочной и долгосрочной перспективе лесные пожары вызывают деградацию почв [6], а в некоторых случаях лесные пожары могут приводить к безвозвратному уничтожению лесных экосистем [4]. Существует также и положительное влияние лесных пожаров на окружающую среду в виде роли в поддержании биоразнообразия лесных экосистем [7]. Для снижения негативных последствий лесных пожаров возможно применение методов мониторинга, которые включают в себя как оперативное выявление с целью предотвращения возгорания, так и анализ последствий пирогенного воздействия. В целях мониторинга высокую эффективность показали методы дистанционного зондирования лесных пожаров [5].

Отнесение лесной категории к гарям по официальным документам, регулирующим сферу лесного хозяйства в Российской Федерации [2], происходит по наличию любой степени поврежденности от лесных пожаров, включая незначительную, например, от низового пожара. Успех лесовосстановления и перевод земель, относящихся к категории гарей в категорию земель, занятых лесами, оценивают по количеству молодняка основных лесных пород деревьев определенного значения возраста и высоты [3]. Для получения таких подробных характеристик состояния лесов и лесовосстановления используется метод пробных площадок, который подразумевает экстраполяцию данных, полученных на небольших участках лесов на остальную обследуемую территорию. Космический мониторинг лесов, обеспечивающий сплошное покрытие данными, также имеет ограничения из-за использования моделей взаимосвязи между спектральными характеристиками поверхности и исследуемыми показателями леса.

Для более подробного анализа характеристик лесовосстановления, включающих в себя структурные и биофизические параметры древостоя, был выбран метод цифрой аэрофотограмметрии с применением БПЛА (беспилотных летательных аппаратов). Этот метод позволяет получать трехмерные облака точек по оптическим снимкам с низкими затратами на проведение работ по сравнению с методами воздушного лазерного сканирования и высокой детальностью выходных продуктов при отсутствии сплошной сомкнутости крон.

В качестве исследуемой территории была выбрана Центральная Якутия – территория с высокой частотой пожаров с растущим в последние годы показателем горимости лесов [8]. Лесные пожары в данном районе являются причиной широкого спектра экологических и социально-экономических проблем, но в то же время являются главным фактором, определяющим развитие лесов от возобновления до распада, оказывая благоприятное воздействие на местные экосистемы [1]. В качестве модельных участков мониторинга лесовосстановления были выбраны три участка в Центральной Якутии. На первом ключевом участке (КУ) «Виллой» в 50 км к западу от города Якутска породный состав смешанный, состоит из сосны и лиственницы. В лиственничниках четко прослеживается разделение на различные возрастные классы, в основном преобладают молодняки. В сосняках наблюдаются признаки прохождения низовых пожаров. На втором КУ «Суола» на правом берегу Лены, в Мегино-Кангаласском улусе, расположена гарь с наличием погибшей растительности (лиственниц), березовый и лиственничный молодняки, а также участки с неповрежденными взрослыми лиственничниками – исходным типом леса данной территории. Третий КУ «Алас», расположенный в 1,5 км от КУ «Суола», отличается от последнего наличием недавней гари 2021 года. Таким образом, были выбраны территории с различными типами леса, характерными для Центральной Якутии, и различными сценариями пирогенного воздействия в лесах.

В ходе полевых работ на ключевых участках, помимо съемки с БПЛА, была разбита сеть опорных точек для повышения точности пространственной привязки, а также установлены пробные площадки, на которых с помощью лазерного дальномера и ручных измерений собраны данные по высотам отдельных деревьев и диаметра на уровне груди, использованные для валидации результатов. По снятым с БПЛА снимкам были получены фотограмметрические облака точек. Процесс сегментации отдельных облаков точек деревьев проходил в несколько этапов – классификации точек, относящихся к классу земли; нормализации высот точек относительно высот поверхности земли для исключения фактора рельефа из анализа; детектирования деревьев по верхним точкам деревьев; собственно сегментации деревьев по цифровой модели кроны и верхним точкам деревьев на отдельные облака точек (рис. 1).

Сегментированные облака точек отдельных деревьев были классифицированы по породному составу при помощи модели машинного обучения – в качестве входных данных использовались статистические показатели распределения точек, а также яркостные показатели. Для получения биофизических характеристик были использованы модели хода роста и биологической продуктивности, соответствующие породному составу и бонитету леса. Первым этапом являлся расчет возраста деревьев по обратному уравниванию хода роста по высоте деревьев. Вторым этапом по возрасту были

рассчитаны следующие биофизические характеристики – запас древесины, надземная фитомасса и чистая первичная продукция (рис. 2).

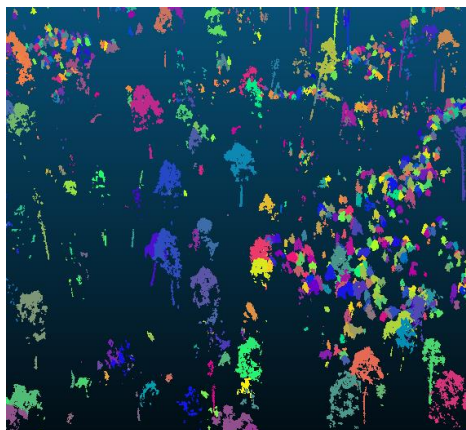


Рис. 1. Сегментированные облака точек отдельных деревьев

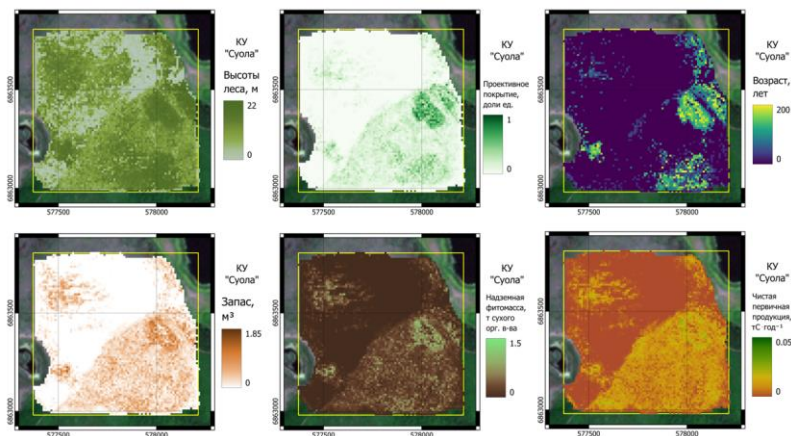


Рис. 2. Структурные и биофизические параметры леса на КУ «Суола»

По сравнительному анализу с доступными данными космического мониторинга были выявлены их ограничения, связанные с использованием моделей взаимосвязи между спектральными характеристиками поверхности и показателями леса, например, высотами деревьев и их биомассой. Также космический мониторинг имеет ограничения с приведенным методом во

временном охвате анализа пирогенного воздействия, так как не позволяют оценить возраст древостоя и, соответственно, время прохождения пожара.

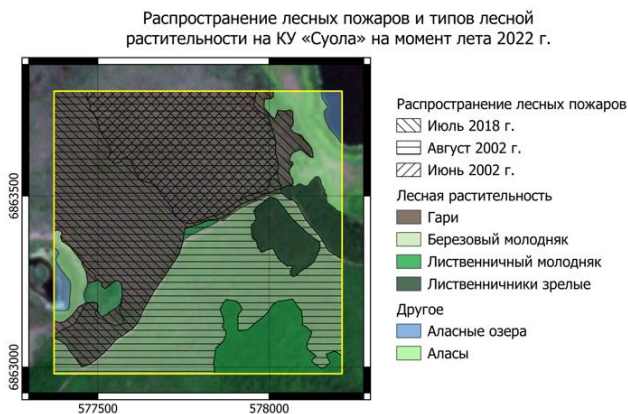


Рис. 3. Интегральная карта пирогенного воздействия на КУ «Суола».

Однако с применением методов космического мониторинга можно отследить время самого пирогенного воздействия за последние 30 лет. Такое использование данных, полученных с БПЛА и проанализированных на уровне отдельных деревьев с применением моделей хода роста, и данных космического мониторинга позволяет проводить более подробный анализ лесной растительности, и устанавливать взаимосвязи между временем прохождения лесных пожаров и породным составом леса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барталев С.А., Стыщенко Ф.В., Егоров А.В., Лупян Е.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015. № 2. С. 83–94.
2. Лесоустроительная инструкция: Об утверждении Лесоустроительной инструкции, Приказ Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) (принят 5 августа 2022 года) // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/351878696>.
3. Правила лесовосстановления – Об утверждении Правил лесовосстановления, формы, состава, порядка согласования проекта лесовосстановления, оснований для отказа в его согласовании, а также требований к формату в электронной форме проекта лесовосстановления (с изменениями на 3 августа 2023 года) – Приказ Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) (принят 29 декабря 2021

года) // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/728111110>.

4. Burrell A. L., Sun Q., Baxter R., Kukavskaya E. A., Zhila S., Shestakova T., Rogers B. M., Kaduk J., Barrett K. Climate change, fire return intervals and the growing risk of permanent forest loss in boreal Eurasia // *Science of The Total Environment*. № 831. 2022. P.154885.
5. Chu T., Guo X. Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review // *Remote Sensing*. № 6(1). Article 1. 2014.
6. Durán J., Rodríguez A., Fernández-Palacios J. M., Gallardo A. Long-term decrease of organic and inorganic nitrogen concentrations due to pine forest wildfire // *Annals of Forest Science*. № 67(2). 2010. P. 207–207.
7. He T., Lamont B. B., Pausas J. G. Fire as a key driver of Earth's biodiversity // *Biological Reviews*. № 94(6). 2019. P. 1983–2010.
8. Narita D., Gavrilyeva T., Isaev A. Impacts and management of forest fires in the Republic of Sakha, Russia: A local perspective for a global problem // *Polar Science*. № 27. 2021. P. 100573.

## **Проведение мониторинга температурного режима мерзлых пород вдоль трассы Р504 «Колыма»**

И.А. Платонов<sup>1,2\*</sup>, Р.Г. Сысолятин<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991,  
Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск,  
Россия

\*platonovignat@yandex.ru, \*\*robertseesaw@gmail.com

Федеральная трасса Р504 «Колыма» или «Колымский тракт» — единственная автодорога, соединяющая Магаданскую область и восток Якутии с российской дорожной сетью. По ней осуществляется снабжение населенных пунктов, суммарная численность населения которых составляет более 38 тыс. человек. От трассы отходят автозимники, соединяющие северо-восточные районы республики с г. Якутском. Численность населения этих районов составляет свыше 31 тыс. человек. Помимо этого, «Колыма» играет важную роль в обслуживании месторождений полезных ископаемых Восточной Якутии.

Трасса Р504 полностью находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, большей частью проходя по горной территории. Следовательно, инженерно-геокриологические условия вдоль «Колымы» неоднородны. Это существенно осложняет её эксплуатацию. В настоящее время в Северо-Восточной Евразии происходит повышение температуры мерзлых толщ [5]. Повышение температуры пород вызывает ряд криогенных процессов, разрушающих полотно и насыпь дороги. Проведение температурного мониторинга мерзлых пород вдоль Колымской трассы имеет как прикладное, так и фундаментальное значение. Оно поможет провести моделирование теплового режима грунтов с учетом современных климатических трендов для разработки рациональной стратегии улучшения состояния дороги, ее комфорта и безопасности, а также оценить влияние природных факторов на формирование температурного режима мерзлых пород в разных высотных и ландшафтных условиях как в качественном, так и в количественном отношении.

### *Исследуемая территория*

Трасса Р504 «Колыма» проходит по нескольким тектоническим структурам: по Алданской антеклизе, Предверхооянскому краевому прогибу, которые относятся к древней Сибирской платформе, а также по структурам мезозойской Верхояно–Чукотской складчатой области. Структурам платформы соответствует Центральная якутская равнина. В её четвертичных отложениях распространен ледовый комплекс. Поверхность равнины расчленена аласными котловинами. Четвертичные отложения складчатых структур представлены ледниковыми, аллювиальными, склоновыми и элювиальными образованиями. Из них максимальную мощность до 50 – 100 м имеют ледниковые и аллювиальные толщи.



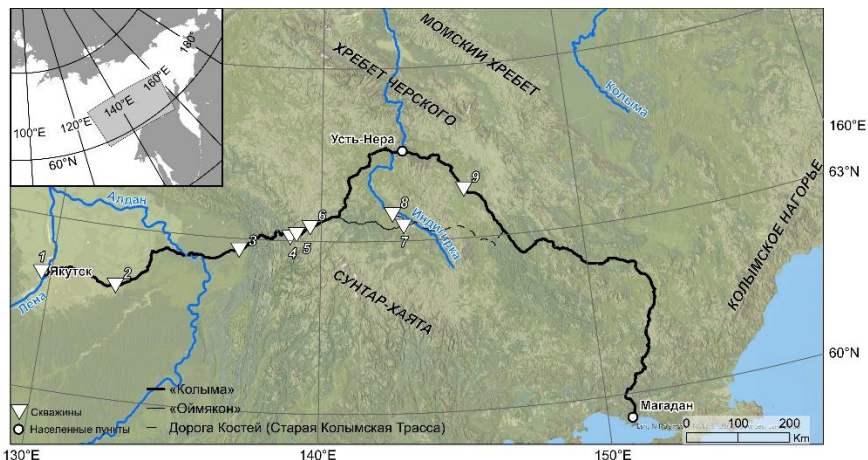


Рис. 1. Исследуемая территория. Цифрами обозначены: 1. Полигон «Туймаада»; 2. Чурапча; 3. Тёплый ключ; 4. Лазурное; 5. Полигон; 6. Восточная; 7. Томтор; 8. Оймякон; 9. Делянки

Исследуемая территория полностью находится в области резко-континентального климата. Здесь расположен полюс холода северного полушария – село Оймякон. Так, минимальная температура на метеостанции Оймякон (с. Томтор) с 2005 г. составила  $-59.6^{\circ}\text{C}$  [2]. Однако, на метеостанции Делянкир в период с 1 января 2012 г. температура опускалась еще ниже — до  $-61^{\circ}\text{C}$  [1].

Мощность мерзлой толщи в Центральной Якутии составляет 400—600 м, ее температура  $-2...-6^{\circ}\text{C}$  [4]. Для площадей развития термокарста характерны более высокие температуры. В пределах Верхояно-Чукотской складчатой области мощность мерзлых пород сильно колеблется от первых десятков до 320 м, температура пород составляет  $-5...-9^{\circ}\text{C}$  [3]. Значения температур и мощности сильно отличаются в зависимости от абсолютной высоты и экспозиции склонов. Повсеместно распространены сквозные и несквозные талики, приуроченные к долинам рек. Отапливающее воздействие оказывает движение грунтовых вод. Из криогенных процессов на территории развиты морозобойное растрескивание, термокарст, термоэрозия, морозное пучение, наледообразование.

#### *Материалы и методы*

В настоящее время мониторинг ведется на 9 скважинах (см. рис. 1, табл. 1). Они расположены преимущественно в пределах надпойменных террас на участках с ненарушенным растительным покровом. Скважины 6 и 7 расположены на территории метеостанций.

Скважины оснащены температурными логгерами «Импеданс» и «НОВО». У 30-метровых скважин температуры регистрируются с помощью 24 датчиков. На скв. 5 наблюдения ведутся с 2021 г., на скв. 9 – с 2024 г., на остальных – с

2022 – 2023 г. К осени 2024 г. скв. 1, 3 ликвидированы. Измерения фиксируются каждые 4 часа 6 раз в сутки.

### *Результаты*

Летом 2024 г. авторами были дополнены имеющиеся ряды данных, ведущиеся с 2021-2024 гг. Имеющиеся данные позволяют установить температуру мерзлых пород, глубину подошв слоёв сезонного протаивания и годовых теплооборотов, актуальные в период наблюдений. Так, в самой западной скважине, расположенной г. Якутск, подошва слоя годовых теплооборотов залегает на глубине 7–8 м, с температурой  $-1.5^{\circ}\text{C}$  (рис. 2). В самой восточной скважине Делянкир мощность сезонно-талого слоя достигает 0.4–0.6 м. Здесь температура пород на подошве слоя годовых теплооборотов составляет  $-6,8^{\circ}\text{C}$ . Её глубина находится на отметке 16 м, что в два раза ниже, чем в г. Якутск. Это вызвано разным литологическим строением мерзлой толщи — грубодисперсные породы разреза скважины Делянкир обладают большей теплопроводностью, чем пылеватые супеси и суглинки Якутска, периодические колебания температур проникают глубже (рис. 2). Так, на полигоне Туймаада воздействие температур холодного периода 2023–2024 гг. отмечается на глубине менее 1 м, в скважине Делянкир холод зим 2022–2023 и 2023–2024 гг. проник до отметки 2.5 м.

Таблица 1. Рассматриваемые участки (рис. 1).

№	Участок режимных наблюдений	Глубина, м	Абс. отметка, м	Элемент ландшафта	Период наблюдений
1.	Полигон Туймаада	27,5	96	Надпойменная терраса, луг	03.10.2023-31.07.2024
2.	Чурапча	30	188	Термокарстовая равнина	06.07.2023-23.04.2024
3.	Тёплый Ключ	30	288	Надпойменная терраса, лес	18.08.2022-24.05.2023
4.	Лазурное	30 (205)	1100	V-образное ущелье, подножье склона северной экспозиции.	18.08.2023-16.07.2024
5.	Полигон	6,7	900	Надпойменная терраса	08.09.2021-11.07.2024
6.	Восточная	20	1292	U-образная седловина, моренный вал	19.08.2022-26.11.2023
7.	Томтор	30	740	Термокарстовая равнина	14.08.2022-10.07.2024

8.	Оймякон	30	682	Термокарстовая равнина, надпойменная терраса	15.08.2022-10.07.2024
9.	Делянكير	30	812	Высокая надпойменная терраса	17.08.2022-08.07.2024

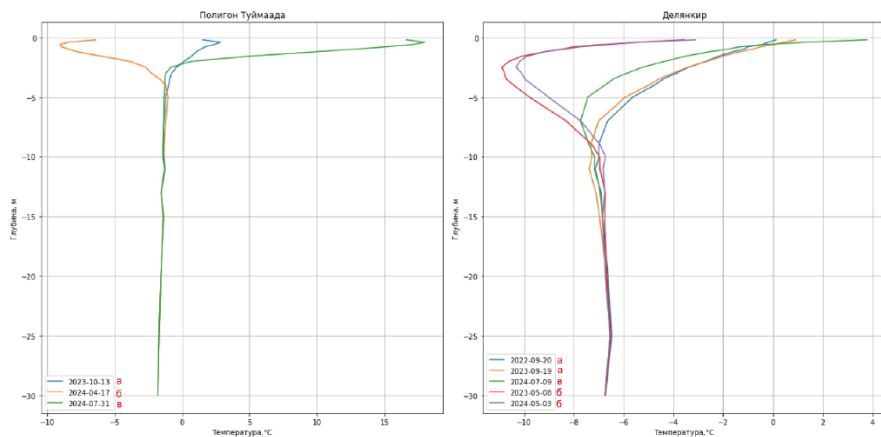


Рис. 2. Распределение температур в скважинах на момент: а) максимального сезонного протаивания; б) максимального сезонного промерзания; в) последнего зафиксированного дня наблюдений

### Заключение

Фактических данных о геокриологических условиях горных областей Восточной Якутии недостаточно. Мониторинг температурного режима пород вдоль Колымской трассы поможет частично решить эту проблему. Собранные данные будут обновляться. Планируется расширить сеть наблюдений на территорию Магаданской области.

На основе полученных данных можно провести моделирование температурного режима мерзлых грунтов, спрогнозировать развитие опасных криогенных процессов, оценить влияние различных факторов на формирование температурного режима пород.

Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИМЗ СО РАН № АААА-А20-120122290035-5.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архив погоды в Делянكيرе [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://tp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Делянكيرе](https://tp5.ru/Архив_погоды_в_Делянكيرе).

2. Архив погоды в Оймяконе [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://tp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Оймяконе](https://tp5.ru/Архив_погоды_в_Оймяконе).
3. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний восток / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра. 1989. 414 с.
4. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра. 1989. 414 с.
5. Biskaborn B.K., Smith, S.L., Noetzli J. et al. Permafrost is warming at global scale // Nature communications. 2019. V.10. №. 264. P. 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4>.

## **Крупномасштабное картографирование вулканических куполов на основе данных БПЛА**

А.И. Пономарева

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
109028, Москва, Россия  
aiponomareva\_2@edu.hse.ru

Вулканические купола Армении являются важными природными объектами, однако их подробное картографирование до сих пор остается недостаточно освещенным в научной литературе. Несмотря на их значимость как памятников природы, исследования, включающие антропогенную нагрузку и детальный морфометрический анализ, практически отсутствуют. Внедрение данных, полученных с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), открывает новые возможности в картографировании и мониторинге динамики вулканических процессов, позволяя создавать уникальные тематические карты в крупном масштабе (1:5000 и 1:15 000).

Вулкан Араилер расположен между Арагацем и Гегамским нагорьем на северном склоне Ереванской впадины [3] на междуречье рек Касах и Раздан. Араилер является потухшим древнечетвертичным стратовулканом с абсолютной высотой 2614 м. Кратер вулкана в верхней части конуса полностью разрушен, поэтому посредством барранкоса (глубокий овраг, прорезающий склон вулканического конуса) открывается на юго-восток и переходит в плато [1].

Вулкан Армаган и вулкан Ератумбер располагаются на Гегамском нагорье, относятся к шлаковым конусам центрального типа. Склоны вулкана Армаган имеют правильную форму. С южной стороны склон иссечен барранкосами, а с северо-западной стороны расстилаются лавовые потоки. В северо-восточном направлении лавовые потоки дошли до берегов Севана. В юго-западной части проходит полукольцевая трещина. В северо-западной части расположен протяженный сбросовый разлом, вдоль которого расположено четыре небольших вулканических кратера [2]. Вулкан Ератумбер имеет два конуса: Карадаг и Кызылдаг. Карадаг имеет двойной кратер, который образовался из-за излияния лавы из двух жерл [3]. Сами кратеры разделены перегородкой, сложенной из красных андезитовых шлаков, а состав продуктов деятельности Ератумбера можно отнести к андезито-базальтовому. В деятельности вулкана прослеживается ритмичная и равномерная смена характеров извержения: эксплозивные фазы чередовались с повышением уровня лавы и переливанием ее через кратер.

Цель исследования – оценка возможности использования данных БПЛА для крупномасштабного картографирования вулканических куполов и создания тематических карт, включающих детали рельефа и антропогенные изменения. В ходе исследования был проведен анализ теоретической базы, включая

методы, применяемые в крупномасштабном картографировании. Был организован полевой выезд для верификации уже имеющихся данных, а также сбора новой информации, используя БПЛА.

На основе полученных данных проводилась фотограмметрическая обработка изображений. Фотограмметрия – пассивный метод [4], использующийся для создания трехмерных моделей вулканических куполов методом стереосопоставления множества фотографий, полученных со спутников и прочих летательных аппаратов [5]. Этот метод позволяет точно измерять и анализировать топографию и морфологию вулканов, что важно для понимания процессов, происходящих внутри вулканических систем [6]. В ходе проведенной фотограмметрической обработки были получены плотные облака точек, цифровые модели местности (ЦММ) и ортофотопланы на три вулкана.

На основе ЦММ были построены 14 морфометрических индексов, которые позволили выделить элементы рельефа и следы развития геоморфологических процессов на вулканических куполах (рис. 1). При использовании других методов картографирования получить эти сведения довольно затруднительно.

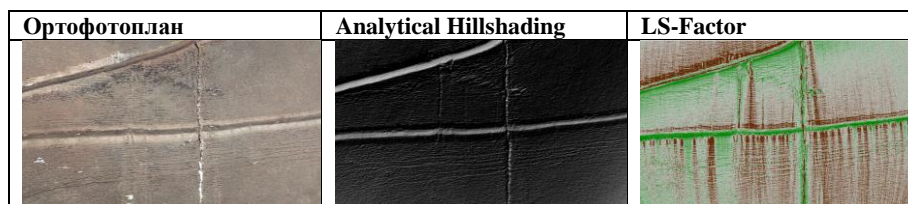


Рис. 1. Выделение следов развития эрозионных процессов на вулкане Ератумбер

Для вулкана Араилер были разработаны две легенды. Первая детально отображает ключевые формы рельефа, вторая посвящена антропогенным объектам и растительности (рис. 2). Для вулканов Армаган и Ератумбер разработались легенды, с помощью которых были созданы геоморфологические карты. Для этих вулканических построек растительность не рассматривается как значимый элемент, основное внимание уделялось геоморфологическим и антропогенным характеристикам. Обе легенды схожи между собой, что обусловлено схожим генезисом картографируемого рельефа.

Использование данных БПЛА доказало свою эффективность в создании крупномасштабных тематических карт. Высокое разрешение ортофотопланов и цифровых моделей позволяет детально анализировать элементы рельефа, процессы эрозии и антропогенные изменения. Данное исследование открывает новые перспективы в изучении вулканических процессов и применении данных БПЛА в географических исследованиях.

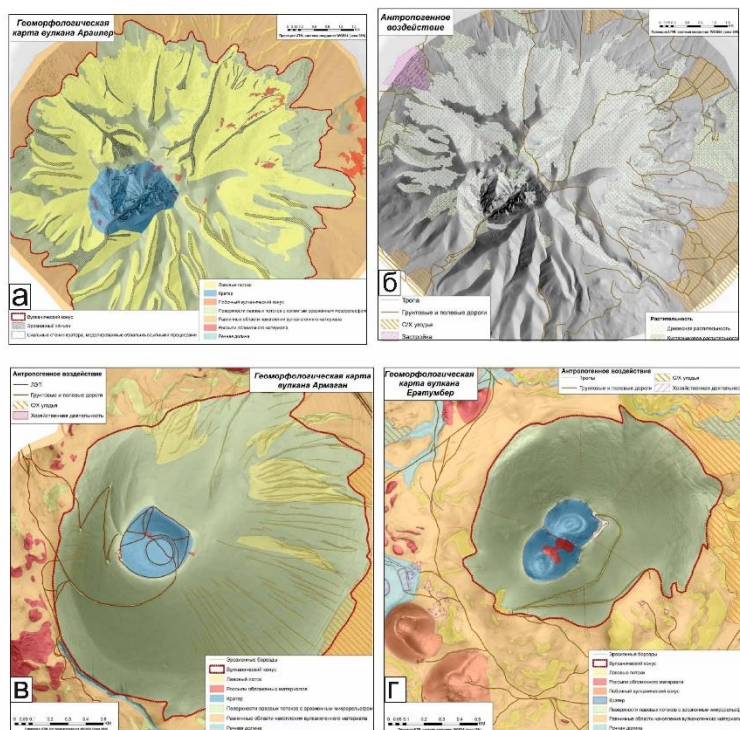


Рис. 1. Созданные карты (а – геоморфологическая карта вулкана Араирер, б – карта антропогенного воздействия на вулкан Араирер, в – геоморфологическая карта вулкана Армаган, г – геоморфологическая карта вулкана Ератумбер).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асланян А.Т. Региональная геология Армении. Ереван: Айпетрат, 1958. Т. 430. С. 3–450.
2. Караханян А. и др. Активные вулканы и вулканическая опасность на территории Армянского нагорья и сопредельных областей // Известия НАН Армении. Серия геологическая. 2004. Т. 57. №. 1. С. 3–24.
3. Святловский А.Е. Структурная вулканология // М.: Недра, 1971. 232 с.
4. DeWitt B. A., Wolf P. R. Elements of Photogrammetry (with Applications in GIS). New York: McGraw-Hill Higher Education, 2000. 659 p.
5. Gomez C., Kennedy B. Capturing volcanic plumes in 3D with UAV-based photogrammetry at Yasur Volcano–Vanuatu // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2018. Vol. 350. P. 84–88.
6. Hackney C., Clayton A. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping. // British Society for Geomorphology. 2015. P.1-12.

## **Опыт расчета темпов осадконакопления в акватории озера Плещеева для последних 3500 лет**

А.И. Рудинская<sup>1</sup>, Е.А. Константинов<sup>1</sup>, Р.С. Шухвостов<sup>1,2</sup>, Н.В. Кузьменкова<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

\*anna.rudinskaya@igras.ru

Донные отложения озера Плещеева служат информативным седиментационным архивом для центральной части Восточно-Европейской равнины для последних 150 тысяч лет [2]. Для получения наиболее представительной колонки для палеогеографических реконструкций были проведены буровые работы на участке дна с наиболее спокойными условиями осадконакопления. При помощи бура Несье были получены две колонки с перекрытием (длина каждой составила около 1.5 м), отбор верхней части неконсолидированного донного осадка производился с заморозкой полученного керна [1] и последующим размораживанием и послойным делением в лабораторных условиях.

Для образцов из полученных кернов был проведен комплексный литологический анализ. Сопоставление кривых изменения гранулометрического состава, потерь при прокаливании, удельной магнитной восприимчивости и плотности осадка показало, что перекрытие имеющихся кернов соответствует глубинам 0.65–0.90 м от поверхности дна для верхнего и среднего керна и 1.40–2.25 м для среднего и нижнего керна. Таким образом, общая длина имеющейся колонки донных отложений из озера Плещеева составила 3.95 м.

Радиоуглеродное датирование образцов донных отложений жидкостно-сцинтилляционным методом было проведено в ЦКП “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” Института географии РАН и в Лаборатории ядерной геофизики и радиоэкологии Национального исследовательского центра Литвы. Судя по возрасту отложений из нижней части колонки (с глубины 3.95 м), мы располагаем осадочной летописью для последних 3500 лет.

В верхней части осадка (0–90 см керна) на кафедре радиохимии Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова было рассчитано изменение количества цезия-137 с глубиной на массу и плотность донного осадка.

По результатам радиоуглеродного датирования и определения содержания цезия-137 в программном комплексе Rbason [3] по байесовской модели была построена глубинно-возрастная модель. Затем с учетом линейной скорости седиментации и плотности осадка [5] были рассчитаны общие темпы прироста массы донного осадка на единицу площади в год (MAR), а также темпы



прироста массы органического вещества, карбонатной и силикатной части осадка.

Установлен перерыв в осадконакоплении с середины 20 века до начала последнего тысячелетия. Отмечается рост скоростей аккумуляции терригенной составляющей осадка в период 3500–2600 кал.л.н., совпадающий с увеличением реконструированных аномалий среднегодовых осадков в этот же период для Европы для 50–60°с.ш. [4].

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ 23-77-10063 «Реконструкция природных событий по высокоразрешающим седиментационным палеоархивам центра Восточно-Европейской равнины за последние 25 тысяч лет».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов Е.А. Новая технология отбора слабоконсолидированного донного осадка // *Океанология*. 2019. Т. 59. №5. С.791–796.
2. Писарева В.В., Гунова В.С., Шик С.М. 1998. Древнее озеро Плещеево // В кн. История плейстоценовых озер Восточно-Европейской равнины. СПб., 1998. С.291-299.
3. Blaauw, M., Christen, J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // *Bayesian Analysis*. 2011. № 6(3). P. 457–474.
4. Herzschuh U., Böhmer T., Chevalier M., Hébert R., Dallmeyer A., Li Ch., Cao X., Peyron O., Nazarova L., Novenko E., Park J., Rudaya N., Schlütz F., Shumilovskikh L., Tarasov P., Wang Y., Wen R., Xu Q., Zheng Zh. Regional pollen-based Holocene temperature and precipitation patterns depart from the Northern Hemisphere mean trends // *Climate of the Past*. 2023. №19. P.1481–1506.
5. Zander P.D., Żarczyński M., Vogel H., Tylmann W., Wacnik A., Sanchini A., Grosjean M. A high-resolution record of Holocene primary productivity and water-column mixing from the varved sediments of Lake Żabińskie, Poland // *Science of the Total Environment*. 2021. №755–143713.

## **Откуда шрамы на деревьях: дендрохронологическое расследование геоморфологических процессов**

Н.С. Семеняк\*, Р.Р. Бичурин\*\*

Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29с4

\*nadejda-sport@yandex.ru, \*\*terpomo@bk.ru

Методы дендрохронологии дают возможность продатировать с точностью до года и более события, оставившие следы в древесно-кольцевой летописи. Пожары оставляют на деревьях обгорелые участки – пожарные подсушины. Удары лавин и селей шрамируют приповерхностные слои дерева твёрдым материалом,двигающимся в потоке с большой скоростью. Сам факт смерти дерева (или серии деревьев) тоже может свидетельствовать о катастрофическом событии, которое и погубило дерево, например, извержении вулкана, наводнении, а также пожарах, селях, лавинах, обвалах и т.д. То есть для того, чтобы какое-либо событие из прошлого было диагностируемо дендрохронологически, нужно, чтобы в процессе были повреждены часть или весь камбий дерева, который отвечает за ежегодный прирост годичных колец, тем самым предупредив или изменив дальнейший прирост годичных колец. Помимо видимых повреждений, в древесно-кольцевых записях можно найти морозобойные кольца и аномалии в приросте, что тоже может быть свидетельством событий прошлого. Дендрохронологический подход к датированию событий прошлого уже много лет применяется для определения возраста лесных пожаров [5, 11], лавин и селей [1, 2, 8, 10, 12]. Результаты таких исследований позволяют понимать силу и частоту опасных для человека явлений на конкретной территории.

Наш доклад основан на опыте датирования шрамов в образцах кернов и спилов из шрамированных деревьев экспедиций разных лет в лаборатории дендрохронологии ИГРАН. Ранее в наши задачи входило определить время пожаров в районе о. Ондомозера, Кольский полуостров (2021 г.), в Пинежском заповеднике, Архангельская область (2020 г.), на Камчатке (2023 г.); и схода лавин в районе Красной Поляны на Кавказе (2022 г.) с помощью дендрохронологического метода. А в нынешнем 2024 году мы отобрали материал в Хибинах на Кольском полуострове для датирования селей и, как оказалось в процессе пробоотбора, лавин. Эта работа носит методический характер и призвана резюмировать наш опыт работы со шрамами.

Пробоотбор, подготовка и обработка древесного материала с целью датирования шрамов проводятся по стандартной методике в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа [6, 7]. В ряде случаев, мы использовали дополнительные меры по увеличению контрастности колец.

При попытке определения возраста таких травмирующих деревья событий возникает ряд сложностей. Из живых деревьев отбирается по несколько кернов

в разных проекциях, чтобы увидеть картину шрамирования с нескольких сторон, но и этого бывает недостаточно. Полное представление может сложиться только при работе с дисковыми спилами, для заготовки которых нужно спиливать всё дерево. Эту проблему можно отчасти решить только путём отбора большего количества кернов. Однако даже при обилии материала существует риск неудачи, так как шрамы часто бывают трудноразличимы: в местах повреждения скапливается много смолы, а также образуется травматическая, каллусная ткань, состоящая из недифференцированных клеток – годовичных колец она уже не образует. Наш опыт показал, что смолу можно удалять с помощью процесса акустической кавитации в ультразвуковой ванне (рис. 1). Этот процесс заключается в том, что в жидкой среде посредством ультразвуковой волны создаются и исчезают мелкие пузырьки воздуха, в нашем случае они способствуют растворению смолы в рабочем растворе (например, в спирту или в ацетоне). Процесс занимает час и более, в зависимости от цели исследования и степени засмоленности образца.

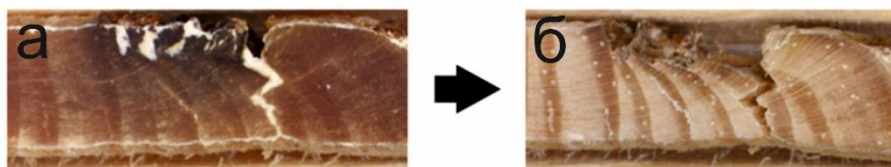


Рис. 1. Древесный керн до (а) и после (б) удаления смолы в УЗ-ванне для увеличения контрастности колец

Следующая проблема уже находится на стыке дендрохронологии с другими науками. Она заключается в том, что в одном и том же месте могут действовать разные агенты повреждений, оставляя похожие отметины на деревьях. Мы столкнулись с этим явлением в Хибинах, где на залесённых склонах находится зона транзита лавин, а на их подножиях – зона аккумуляции лавин и селей. Для того, чтобы разделить следы этих явлений при анализе кернов и спилов в лаборатории, нужно еще на полевом этапе фиксировать информацию о высоте шрамов, геоморфологическом положении площадок, на которых растут деревья, наличии свежих (незаросших) скоплений обломков по соседству с травмированными стволами и прочие наблюдения о характере повреждений, условиях микрорельефа, растительном покрове. При многократной повторности шрамов одного и того же события (на материале разных деревьев) есть шанс определить, в каком сезоне дерево было шрамировано. И тогда шрамы, нанесенные вне периода вегетации, с большей вероятностью можно отнести к лавинам [12]. Поэтому определение времени катастрофических событий прошлого должны проводиться в коллаборации со специалистами разных научных направлений, геоморфологами, геоботаниками,

гляциологами, т.е. с использованием не только дендрохронологического подхода [3, 4].

Помимо непосредственной работы со шрамами от лавин и селей процесс датировки событий предполагает изучение возраста генераций растительности в районе пробоотбора. Их нужно выделять по комплексу различий в геоморфологическом положении и геоботанических характеристиках. Возраст зарастания различных частей долины может косвенно свидетельствовать о том, когда здесь было последнее катастрофическое событие, которое и могло уничтожить растительность [1]. Такой подход может использоваться даже в тех местах, где нет крупных деревьев или шрамов, например, в северных широтах с тундровой растительностью [9] или выше верхней границы леса в горах. Для изучения возраста генераций растительности также следует проводить дешифрирование космических снимков и более детальных ортофотопланов, при возможности полученных при съёмке с помощью БПЛА.

Дендрохронологический анализ – это высокоточный и эффективный инструмент для датирования различных катастрофических явлений. Он может помочь специалистам других областей для решения их задач, поэтому междисциплинарный подход, скрупулёзный сбор данных и совершенствование технологий пробоподготовки обеспечат сбор нового и актуального научного знания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоснежные потоки Хибин / Под ред. А.Н.Божинского, С.М.Мягкова. М.: Географический факультет МГУ. 2001. 167 с.
2. Перов В.Ф. Селевые потоки Хибинского горного массива // Вестник МГУ, серия география. 1966. №1. С.106–110.
3. Рудинская А.И., Гаранкина Е.В., Семеняк Н.С., Беляев В.Р., Шеремецкая Е.Д., Беляев Ю.Р. Реконструкция позднеголоценовых селевых событий Хибин // Пути эволюционной географии – 2021. Выпуск 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). Т. 2. М.: Институт географии Российской академии наук. 2021. С. 322–325.
4. Смирнова В.В., Рудинская А.И., Беляев Ю.Р., Гаранкина Е.В., Шеремецкая Е.Д., Беляев В.Р. Свидетельства голоценовых селевых событий в долине Алявумйока (Западные Хибины) // Сборник материалов XV всероссийской молодежной школы-конференции Меридиан. М.: ИГ РАН. 2023. С. 217–222.
5. Харитонов Т.И., Новенко Е.Ю. Причины и периодичность возникновения низовых лесных пожаров в юго-восточной мещере (по результатам дендрохронологического анализа) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2019. №. 4. С. 53–62.

6. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурзбаев 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.
7. Cook E.R., Kairiukstis L.A. Methods of dendro-chronology: Applications, 1990.
8. Malik I., Owczarek P. Dendrochronological records of debris flow and avalanche activity in a mid-mountain forest zone (Eastern Sudetes—Central Europe) // *Geochronometria*. 2009. Vol. 34. №. 1. P. 57–66.
9. Owczarek P. et al. Reconstruction of modern debris flow activity in the arctic environment with the use of dwarf shrubs (south-western Spitsbergen) – a new dendrochronological approach // *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2013. Vol. 57. №. 3. С. 75–95.
10. Rayback S. A. A dendrogeomorphological analysis of snow avalanches in the Colorado Front Range, USA // *Physical Geography*. 1998. Vol. 19. №. 6. P. 502–515.
11. Ryzhkova N., Pinto G., Kryshen' A., Bergeron Y., Ols C., Drobyshev I. Multi-century reconstruction suggests complex interactions of climate and human controls of forest fire activity in a Karelian boreal landscape, North-West Russia // *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 459. P.117770.
12. Stoffel M., Bollschweiler M., Hassler G. R. Differentiating past events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach // *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*. 2006. T. 31. №. 11. P. 1424–1437.

## **Опыт лихенометрических исследований на селевом конусе в Хибинах**

В.В. Смирнова<sup>1\*</sup>, Ю.Р. Беляев<sup>1</sup>, Е.В. Гаранкина<sup>1,2</sup>, К.А. Кочубей<sup>1,3</sup>,  
Ю.А. Полетаева<sup>1</sup>, Т.И. Тихонова<sup>1</sup>, М.Э. Иоч<sup>1</sup>, А.И. Рудинская<sup>2</sup>,  
Д.В. Мишурицкий<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
119991, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

<sup>3</sup>Геофизический центр РАН, 119296, Москва, Россия

<sup>4</sup>ГБОУ «Пятьдесят седьмая школа», 119019, Москва, Россия

\*smirnova\_veronika\_01@bk.ru

Локализованные в руслах процессы единовременного массового смещения рыхлого материала, такие как лавины, водоснежные потоки и сели, играют ключевую роль в постледниковой трансформации рельефа и ландшафтов низкогорий в Субарктике. Склоновый материал, вовлеченный в гравитационное движение, следует транзитом по днищу долин, флювиальная деятельность в которых имеет подчиненное значение [6]. Зарождаясь преимущественно в водосборах первого порядка (по Штраллеру), селевые потоки формируют на выходе из долин грубообломочные конусы выноса.

Опасные гравитационные явления способствуют денудации горных территорий путем попятного отступания склонов. Вычисление объемов голоценовых пролювиально-селевых конусов может быть шагом на пути к расчету темпов послеледниковой эрозии расчлененных платоподобных массивов перигляциальных областей. Периодичность реализации селевого процесса – еще одна неизвестная в этом уравнении.

В данной работе предпринимается попытка реконструкции селевой истории ключевого бассейна в Западных Хибинах путем определения возраста экспонирования (возраста колонизации лишайниками) поверхности селевых валунных отложений. Попутной задачей является выявление возможностей и ограничений лихенометрического метода применительно к датированию селевых отложений Хибин.

Ключевой объект исследования – долина Алявумйока – расположена на левом борту трога р. Малой Белой. Длина Алявумйока составляет чуть менее 3 км, общее падение долины – более 550 м, площадь бассейна – 1.6 км<sup>2</sup>. Фонируют здесь хибиниты – породы первой фазы внедрения Хибинской щелочной интрузии девонского возраста. В верховьях бассейна располагается эрозионно-нивацционная ниша. В среднем течении русло Алявумйока на 20–22 м врзано в моренную толщу, служащую основным источником селевых отложений. На участке торможения потока в створе правого коленообразного поворота долины в ее днище есть аккумулятивные формы: селевые гряды и узкие селевые террасы высотой 1–2 м над урезом. Граница зоны леса проходит на высоте 420–460 м, а верхняя половина водосбора располагается в горно-тундровом поясе.

Терминальная зона разгрузки (селевой конус выноса) Алявумйока занимает территорию около 0.16 км<sup>2</sup> (рис. 1). По ландшафтным и морфологическим признакам установлено, что она образована несколькими разновозрастными генерациями селевых отложений [4, 5].

Лихенометрия как метод определения возраста каменной поверхности путем измерения диаметров накипных лишайников с известной скоростью прироста завоевала популярность среди исследователей Субарктики. В суровых условиях широко распространены поля глыб и валунов разного генезиса, колонизируемые эпилитными лишайниками. Тем не менее, данный метод со времен его появления в 1950-х годах и до настоящего времени остается крайне дискуссионным. Основными поводами для критики (например, [7]) служат: 1) отсутствие надежных эмпирических подтверждений ключевым допущениям о биологии лишайников, на которых базируется метод; 2) невозпроизводимость исследований на основе лихенометрии; 3) статистические манипуляции с выборками и необоснованные аппроксимации графиков зависимости «диаметр – возраст»; 4) отсутствие в работах попыток оценить влияние на результат перечисленных и других ошибок.

Процедура сбора данных нами была организована следующим образом. На предварительно выбранных генетически однородных площадках размечались участки под 1–3 выборки (насколько того позволял размер площадки), разнесенные между собой на первые десятки метров с целью нивелировать влияние локальных факторов, сказывающихся на темпах роста лишайников. Каждая выборка включала 100 случайных обломков, на каждом из которых определялся крупнейший и максимально округлый таллом. Было замечено, что аномально большие размеры приобретают слоевища, субстратом для которых выступают обломки пород жильных фаций (пегматитов), а также валуны гранитоидов, встречающиеся в составе эрратики. По этой причине при наполнении выборок нами использовались только обломки фоновых здесь хибинитов.

Измерялись исключительно талломы арктоальпийских циркумполярных видов *Rhizocarpon geographicum* и *Rhizocarpon alpicola* – внешне очень схожие между собой. Эти виды хорошо узнаваемы за счет характерной ярко-лаймовой окраски ареол, компактно собранных на черном подслоевиище.

С помощью гибкой металлической линейки с полумиллиметровой ценой деления измерялись наибольшая ось лишайника и ось, перпендикулярная ей. В случае, если отношение ширины к длине оказывалось менее 0.75, лишайник исключался из дальнейших расчетов [2]. Количество таких особей в выборках составляло 7–30%.

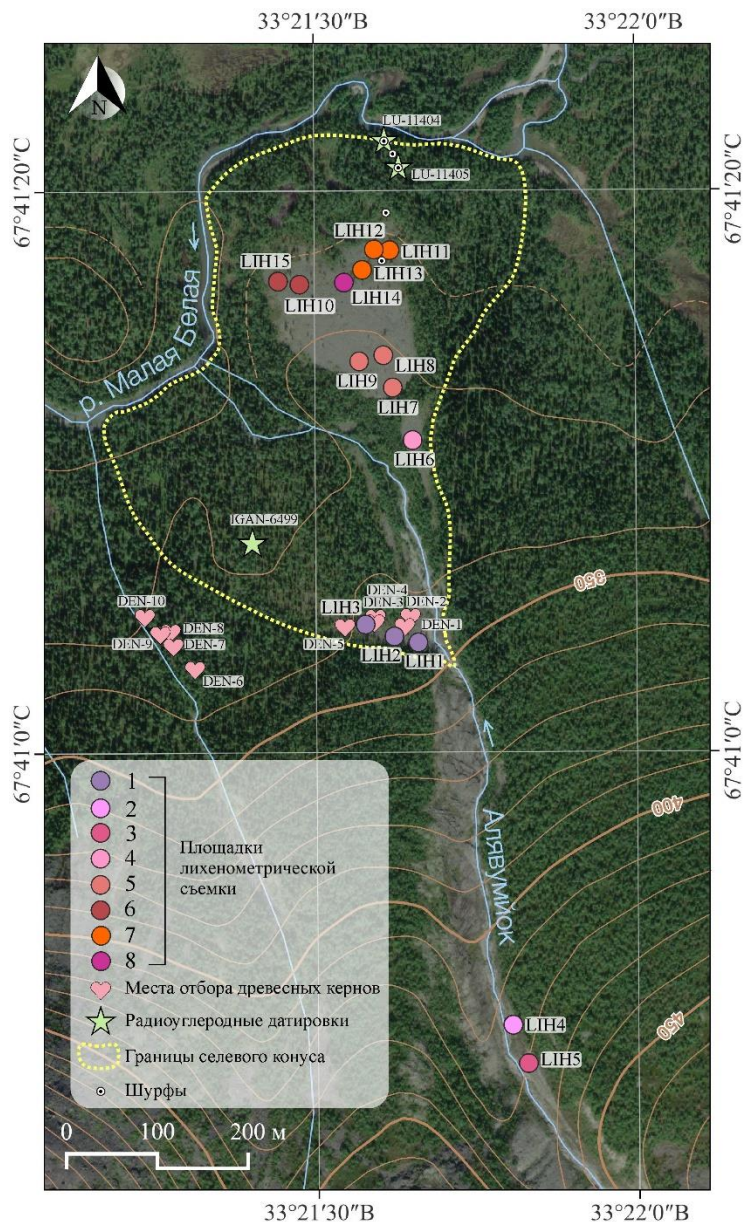


Рис. 1. Расположение лихенометрических площадок в нижнем течении Алявумйока



На рост лишайника оказывают влияние влажность, химизм субстрата, наличие определенных органических соединений и другие факторы. В этой связи в популяциях характерно наличие чрезвычайно больших особей, приводящих к выбросам в выборке. С другой стороны, из-за смертности «взрослые» лишайники встречаются реже, а шанс обнаружения наиболее «старой» особи и вовсе близок к нулю. Поэтому для нахождения наибольшего диаметра А.А. Галанин предложил метод логарифмического тренда [3]. Для вариационного ряда выборки подбирается уравнение вида  $Y = a \ln X + b$ , где  $X$  – порядковый номер таллома в ряду,  $Y$  – ожидаемый его диаметр,  $a$ ,  $b$  – коэффициенты. При этом коэффициент  $b$  предсказывает максимальный теоретический диаметр самого старшего таллома. Значения, превышающие  $b$ , относятся к выбросам. Данное уравнение почти во всех случаях с высокой достоверностью ( $R^2 > 0.85$ ) описывает полученные нами ряды. Вычисленные таким образом теоретические диаметры приведены в табл. 1.

Согласно [1], скорости прироста *Rhizocarpon geographicum* в Хибинах составляют 20 мм в первые 100 лет и  $18 \pm 3$  мм в последующие столетия. Эти оценки получены на основе прямолинейной зависимости скорости прироста от суммы среднемесячных температур за период с положительной температурой.

Таблица 1. Результаты лихенометрических исследований в бассейне Алявумйока.

Площадка (номера выборок)	Позиция	R2	Теоретический максимальный диаметр (b)	Возраст согласно [3]
1 (LH1, LH2, LH3)	Выплеск в верхней части левой (западной) лопасти конуса Алявумйока (ниже скальной ступени)	0.928	46.0 мм	224–273 л.
2 (LH4)	Высокая селевая терраса на правом берегу Алявумйока в створе его правого поворота (зона разгрузки потока при торможении)	0.970	47.0 мм	226–277 л.
3 (LH5)	Нижняя селевая терраса на правом берегу Алявумйока в створе его правого поворота (зона разгрузки потока при торможении)	0.960	49.5 мм	240–297 л.
4 (LH6)	Селевой выплеск в виде валунно- щебнистого «перешейка» к северу от большой оголенной лопасти (вокруг одиночной молодой ели в расширенной лопастевидной части) в расширенной лопастевидной части)	0.862	26.5 мм	131–143 л.

Площадка (номера выборки)	Позиция	R2	Теоретический максимальный диаметр (b)	Возраст согласно [3]
5 (ЛН7, ЛН8, ЛН9)	Верхняя выпуклая часть оголенного каплевидного фрагмента конуса (центральная часть конуса выноса)	0.944	30.0 мм	147–166 л.
6 (ЛН10, ЛН15)	Левая (северо-западная) оконечность (лопасть) большого безлесого фрагмента конуса выноса Алявумйока	0.756	49.0 мм	238–293 л.
7 (ЛН11, ЛН12, ЛН13)	Правая (северо-восточная) оконечность (лопасть) большого безлесого фрагмента конуса выноса Алявумйока	0.945	48.5 мм	235–290 л.
8 (ЛН14)	Фронтальная часть оголенного фрагмента конуса в районе верхней прибровочной части склона, расположенного между двумя лопастями	0.855	32.5 мм	160–183 л.

Дополнительно сравнены выборки ЛН4 и ЛН5 из популяций лишайников, населяющих 2 яруса узких селевых террас в среднем течении Алявумйока. Данный тест призван продемонстрировать дифференциацию диаметров таллов на селевом рельефе заведомо разного возраста. Результат исследования выборки, тем не менее, не оправдал ожиданий. Предположительно, на транзитном участке долины, судя по наличию глыб с большим проективным покрытием лишайниками, нередки случаи выживания особей в селевом потоке. Другая возможная причина – экранирование поверхности снежниками, сохраняющимися длительное время в ложбинах у тыловых швов террасок.

Также полученные лихенометрические оценки сравнивались с датировками по годичным кольцам деревьев [4] в верхней части западной генерации конуса (рис. 1). Возраст селевого выплеска, по годичным кольцам деревьев, составляет 175–177 лет, тогда как по лихенометрии с использованием подхода Т.В. Ващаловой [1] данное событие произошло не менее 224 лет назад (поскольку в расчетах не учтен период колонизации).

Исследования селевых конусов в Хибинах представляют большой интерес в аспекте реконструкций палеоклимата региона. Лихенометрия – проблемный, но не бесперспективный метод, тем не менее, для уверенного пользования требующий большого объема подготовительных работ по выявлению зависимостей «размер лишайника – возраст каменной поверхности», а также прозрачности используемых при этом процедур. Многообещающим

представляется сочетание лихенометрического, дендрохронологического и радиоуглеродного методов датирования селевых поверхностей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ващалова Т.В. Палеогеографический подход к реконструкции лавинной активности в целях долгосрочного прогноза (на примере Хибин). Автореф. дис. к.г.н. М.: Изд-во МГУ. 1987. 24 с.
2. Ващалова Т.В., Кошоев М.К., Мягков С.М., Шебалина Т.Ю. Применение лихенометрии в геоморфологических исследованиях (обзор состояния, перспективы развития). М.: ВИНТИ. 1988. 67 с.
3. Галанин А. А. Лихенометрический метод изучения криогенных процессов // Наука и техника в Якутии. 2012. №1 (22). С. 8–14.
4. Рудинская А.И., Гаранкина Е.В., Семеняк Н.С., Беляев В.Р., Шеремецкая Е.Д., Беляев Ю.Р. Реконструкция позднеголоценовых селевых событий Хибин // Пути эволюционной географии – 2021. Выпуск 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти проф. А.А. Величко. Т.2. М.: Институт географии Российской академии наук. 2021. С. 322-325.
5. Смирнова В.В., Рудинская А.И., Беляев Ю.Р., Гаранкина Е.В., Шеремецкая Е.Д., Беляев В.Р. Свидетельства голоценовых селевых событий в долине Алявумйока (Западные Хибины) // Сборник материалов XV всероссийской молодежной школы-конференции Меридиан. М.: ИГ РАН. 2023. С. 217–222.
6. Garankina E., Belyaev V., Romanenko F., Ivanov M., Kuzmenkova N., Gurinov A., Tulyakov E. Magnitude and frequency of debris and slush flows in the Khibiny mountain valleys, Kola peninsula, NW Russia // Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 2019. № 381. P. 37–47.
7. Osborn, G., McCarthy, D., LaBrie, A., & Burke, R. Lichenometric Dating Science or Pseudo-Science? // Quaternary Research. 2015. № 83 (01). P. 1–12.

## **Изучение песчаных гряд Приокско-Террасного заповедника геофизическими методами**

К.Г. Степанова<sup>1,2\*</sup>, А.П. Юрченко<sup>2</sup>, М.А. Тарасова<sup>1,2</sup>, С.С. Бричёва<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119991,  
Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

\*sksucha@mail.ru

Приокско-Террасный заповедник расположен на левом берегу реки Оки в Серпуховском районе Московской области. Основу ландшафта составляют обширные массивы эоловых песчаных образований. Одними из наиболее ярких элементов этого рельефа являются песчаные гряды, формирование и эволюция которых представляют значительный научный интерес. Эти песчаные гряды достигают длины 1.5 км и, как показывает лидарная съёмка, имеют дугообразную форму. По мнению В.П. Лидова, песчаные гряды являются водно-аккумулятивными образованиями, а деятельность ветра сформировала только верхние 1–2 м гряд, создав асимметрию склонов [2]. Классические методы палеогеографии, такие как анализ рельефа и бурение скважин в 2022 (7 скважин) и 2024 (2 скважины) годах, подтверждают, что валы сложены песком, однако подталкивают на мысли о возможном эоловом происхождении изучаемых форм рельефа.

Современные малоглубинные геофизические методы становятся востребованными при решении палеогеографических задач в связи с тем, что сами работы выполняются быстро и дают информацию о свойствах среды вдоль всего профиля наблюдений. Также, в условиях ограничений, связанных с работой на территории заповедника, геофизика дает возможность неинвазивно получить данные о глубинном строении изучаемых объектов. Целью исследования было расширить представления о литологических и структурных особенностях строения песчаных валов и внести свой вклад в гипотезы о формировании рельефа исследуемой местности.

Летом 2024 года были проведены геофизические полевые работы методами георадиолокации и электротомографии. Георадиолокационное профилирование выполнено радаром ОКО-2 с антенным блоком 250 МГц. Электротомография проводилась с помощью электроразведочной аппаратуры «СКАЛА 48K12», шаг между электродами 5 м. Профиль проходил через Лужковский вал в направлении на юг и выходил на пойму реки Оки. Дополнительно был выполнен радарный профиль через Турецкий вал и карстовую воронку в его основании. Для уточнения интерпретации геофизических данных была измерена диэлектрическая проницаемость образцов, отобранных со скважины на пойме. Измерения проводились в лабораторных условиях при помощи коаксиальной ячейки (НПО «Терразонд») [1].

В результате работ было проведено сопоставление геометрии границ, отображенных на радарограмме, и литологических разностей, выделенных на геоэлектрическом разрезе. При совместном анализе данных геофизики и бурения было выявлено, что тело вала сложено сухими песками с высоким сопротивлением и ярко выраженной тонкой слоистостью. Таким образом, можно более убедительно утверждать, что тело вала сложено эоловыми отложениями. Контрастная граница на данных георадара и различие электрофизических свойств по электротомографии сопоставляются с уровнем грунтовых вод по скважине, а также с пониженными значениями диэлектрической проницаемости и весовой влажности в верхней части изучаемого объекта.

Полученные данные вносят ценный вклад в понимание генезиса песчаных валов Приокско-Террасного заповедника, а также демонстрируют высокую эффективность применения геофизических методов для изучения песчаных массивов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремеев А.И., Шипилов С.Э., Балзовский Е.В., Васильева М.А. Измерение электрофизических характеристик жидких и сыпучих материалов с использованием коаксиальной ячейки // Сборник тезисов IX Международной научно-практической конференции «Информационно-измерительная техника и технологии». Томск: ТГУ. 2018. С. 31–32.
2. Лидов В. П. Песчаные образования на левобережье реки Оки // Вопросы географии: сборник. № 21. М.: Географгиз. 1950. С. 169-174.

## **Лёссы Предкавказья – ключ к исследованию экстремальных эпох плейстоцена**

Н.В. Сычев\*, Е.А. Константинов

Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

\*nvsychev25@igras.ru

Анализ литологических характеристик и накопления минеральной пыли в Предкавказье позволяет оценить такие параметры, как направление и скорость ветра, источники пылевого материала, климатические условия и интенсивность педогенеза. Минеральная пыль распределяется воздушным потоком, с мелкими частицами алеврита и глины, которые переносятся на значительные расстояния, в то время как песчаные частицы остаются ближе к источникам из-за своей тяжести и перемещаются скачкообразно или волочением. На содержание песка в лёссовых отложениях влияют направление и скорость ветра, а также расстояние от источника пыли.

Темпы накопления лёссов увеличиваются с приближением к источнику пыли, что обусловлено изменением климатических условий, аридизацией и педогенезом. Аридизация климата способствует расширению дефляционных зон, увеличению объёмов пыли, транспортируемой ветром, и темпов её осадконакопления.

Палеоклиматические исследования показывают, что максимальные темпы накопления пыли наблюдаются в холодные и сухие периоды позднего неоплейстоцена и голоцена. Наибольшие показатели осадконакопления зафиксированы в периодах морской изотопной стадии (МИС) 2 и МИС 4, которые характеризуются интенсивной аридизацией климата, деградацией растительности и активным выветриванием субстрата. В западной части региона накопление пыли было менее выраженным из-за преобладания дефляции над аккумуляцией.

Для выявления ранга палеоклиматического сигнала в лёссово-почвенных сериях (ЛПС) Предкавказья сделана попытка корреляции опорных колонок Отказное (ОТ) и Беглица (Bg) с рядом наиболее полных глобальных и региональных палеозаписей и палеореконструкций: обобщенной морской изотопно-кислородной кривой LR 04 [2], гринландским ледниковым керном NGRIP [1, 6], ЛПС Восточной Европы [4], керном морских отложений из южной части Черного моря [5], кривой колебания уровня Каспийского моря [3].

На границе МИС 3 и МИС 2 в ЛПС Восточного Предкавказья наблюдаются максимальные темпы осадконакопления и пиковые значения МРЧ. В термохроны МИС 5 и МИС 1 темпы осадконакопления в ЛПС низкие, как и значения МРЧ. Схожие закономерности наблюдаются (рис. 1) в серии лёссовых разрезов Восточной Европы [4].

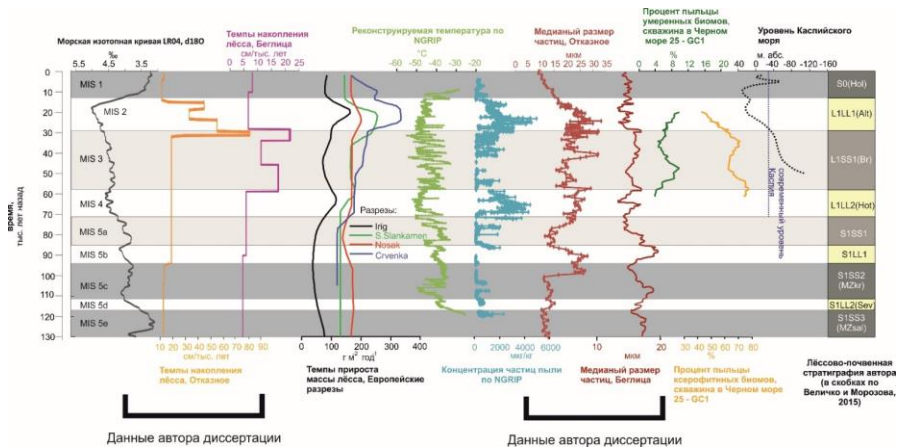


Рис. 1. Сопоставление графиков скорости осадконакопления и медианного размера частиц для исследованных колонок OT и Bg с различными региональными и субглобальными палеоиндикаторами: реконструируемой температурой и количеством минеральной пыли по кернам NGRIP [1, 6], морская изотопная кривая LR 04 [2], темпы прироста массы лёсса по ЛПС Центральной Европы [4] и пылевые данные по ксерофитным и умеренным биомам в Черном море [5], уровни Каспийского моря [3]. Условные обозначения: Hol – голоценовая почва; Alt – алтыново-деснинский лёсс; Br – брянская палеопочва; Hot – хотылевский лёсс; MZkr – крутицкая палеопочва; Sev – севский лёсс; MZsal – салынская палеопочва

Наблюдается согласование вариаций МРЧ колонки OT с концентрацией пыли и палеотемпературами в NGRIP. Так, для МИС 2 и МИС 4 отмечаются ярко выраженные максимумы содержания минеральных частиц в гренландском ледниковом керне, а для МИС 5, МИС 3 и МИС 1 – минимумы. Несколько выбивается из общего тренда только пик МРЧ в МИС 5b, что, вероятно, связано с региональной спецификой ЛПС Предкавказья.

В керне донных отложений из Черного моря в конце МИС 3 отмечается наибольшее количество пыли ксерофитных биомов и наименьшее количество пыли умеренных биомов [5]. Это согласуется с пиковыми значениями темпов осадконакопления в колонках OT и Bg.

Таким образом, литологические исследования ЛПС Предкавказья выявляют связь между климатическими колебаниями, аридизацией и накоплением пыли, что позволяет сделать вывод о синхронности климатических изменений в регионе и субглобальных процессах.

Исследование выполнено по теме госзадания FMWS-2024-0003 «Реконструкция природных событий прошлого на территории России по данным изучения седиментационных палеоархивов».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kindler P., Guillevic M., Baumgartner M., Schwander J., Landais A., Leuenberger M. Temperature reconstruction from 10 to 120 kyr b2k from the NGRIP ice core // *Climate of the Past*. 2014. Vol. 10. №. 2. C. 887–902.
2. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records // *Paleoceanography*. 2005. Vol. 20. №. 1. P. 1–17.
3. Makshaev R.R., Tkach N.T. Chronology of Khvalynian Stage of the Caspian Sea According to Radiocarbon Dating // *Doklady Earth Sciences*. 2022. Vol. 507. №. 1. P. 51–62.
4. Perić Z.M., Stevens T., Obreht I., Hambach U., Lehmkuhl F., Marković S.B. Detailed luminescence dating of dust mass accumulation rates over the last two glacial-interglacial cycles from the Irig loess-palaeosol sequence, Carpathian Basin // *Global and Planetary Change*. 2022. Vol. 215. P. 78–92.
5. Shumilovskikh L., Fleitmann D., Nowaczyk N., Behling H., Marret F., Wegwerth A., Arz H. Orbital-and millennial-scale environmental changes between 64 and 20 ka BP recorded in Black Sea sediments // *Climate of the Past*. 2014. Vol. 10. №. 3. P. 939–954.
6. Simonsen M.F., Baccolo G., Blunier T., Borunda A., Delmonte B., Frei R., Vallelonga P. East Greenland ice core dust record reveals timing of Greenland ice sheet advance and retreat // *Nature communications*. 2019. Vol. 10. №. 1. P. 44–60.



## **Генерации больших палеорусел Ростовской котловины**

В.Ю. Украинцев

Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

celerymors@gmail.com

На поймах рек Восточно-Европейской равнины часто встречаются так называемые большие палеоруслы — участки древних русел, которые по своим параметрам (шаг излучин, ширина русла) превосходят их современные аналоги. Размеры этих палеорусел говорят о значительно превышающем современный стоке рек во время их формирования. Большие палеоруслы известны как в Северной Америке, так и в Европе, в том числе в бассейне Волги [2, 6]. Они формировались 17.0–14.5 тыс. лет назад, при этом этапы изменения речного стока в пространстве и времени ещё не установлены [7]. Однако в Ростовской низине обнаружено 3 генерации больших палеорусел, что необычно для бассейна Волги и может говорить о наличии этапов снижения речного стока в течение поздневалдайской эпохи экстремального стока. Также на космических снимках Ростовской котловины видны следы увеличенного в прошлом стока не только воды, но и наносов (например, внутренние дельты и обвалованность русел). Возраст этих палеорусел и последовательность их формирования, а также взаимосвязь с оз. Неро неизвестны, хотя ранее были попытки объяснить динамику Неро через изменение стока воды и наносов, а также сопровождавшиеся речные перестройки [1], и построить хронологию речных перестроек [3].

Выявленные генерации палеорусел расположены в 2–7 км севернее города Ростов Великий (1 генерация) и в 2–3 км севернее истоков реки Которосль (2 генерации). Они имеют разные размеры, хотя все они крупнее современных излучин Которосли и Устья. Бурение и датирование этих палеорусел помогло бы не только продвинуться в изучении динамики речного стока Восточно-Европейской равнины в позднем плейстоцене в контексте хорошо изученного палеогеографического объекта исследования, но и точнее установить связи русловых перестроек местных рек с озером Неро. Предварительно можно говорить, что в конце плейстоцена русло Устье-Которосли находилось севернее деревни Бакланово, а на месте верховий современной реки находилось продолжение русла Вёксы. По причине перегруженности русла наносами река постоянно блуждала в пределах всей внутренней дельты (северо-западная часть котловины), сформировав в том числе большие палеоруслы севернее Ростова. Большая величина речного стока способствовала сохранению низкого уровня озера Неро [8], его проточности [4], а также свободному поступлению озёрных вод в верховья современной Которосли. После окончания эпохи экстремального стока река вновь оказалась севернее Бакланово и формировала палеоруслы меньшего размера. Тем не менее интенсивная аккумуляция продолжалась, что способствовало росту уровня реки, что в какой-то момент привело к прорыву

вала и перемещению русла на современное его положение. Аккумуляция началась в районе верховий Которосли, за ней последовал рост порога стока Неро и увеличение площади озера [5].

Исследование выполняется при финансовой поддержке гранта РНФ 24-77-00034.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов Е.А., Карпущина Н.В., Захаров А.Л., Бричева С.С., Украинцев В.Ю., Лазукова Л.И., Рудинская А.И. Колебания уровня озера Неро в голоцене // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 2. С. 51–60. <http://doi.org/10.31857/S2949178923020044>
2. Украинцев В.Ю. Следы мощного речного стока в долинах рек бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху // Геоморфология. 2022. № 1. С. 26–34. <http://doi.org/10.31857/S0435428122010126>
3. Украинцев В.Ю., Константинов Е.А., Захаров А.Л. Изменение структуры речной сети бассейна реки Которосли // Перигляциал Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири. Материалы Всероссийской научной конференции. М.: ИГ РАН. 2023. С.143–151. <http://doi.org/10.15356/periglacial978-5-89658-069-0>
4. Konstantinov E., Bricheva S., Zakharov A., Karpukhina N., Lazukova L., Rudinskaya A., Samus A., Sychev N., Ukraintsev V. Rostov basin and lake Nero: geology, geomorphology, and paleogeography // Valdai Periglacial Field Symposium Guidebook, E. Garankina et al. [eds.], Moscow: IG RAS, 2023. P. 21–36. <http://doi.org/10.15356/periglacial978-5-89658-071-3>
5. Konstantinov E., Karpukhina N., Zakharov A., Rudinskaya A., Ukraintsev V., Samus A., Lazukova L. Lake level dynamics in the centre of the East European Plain during the Holocene // Limnology and Freshwater Biology. 2024. № 4. P. 428–433. <http://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-428>
6. Sidorchuk A., Panin A., Borisova O. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga river basin (East European Plain) during the Late Glacial period // Geomorphology. 2009. Vol. 113, №. 3–4. P. 137–157.
7. Ukraintsev V., Zazovskaya E., Zakharov A., Maksimov F., Petrov A. On the timing of the epoch of abundant river flow in the Volga basin // Water Resources. 2024. Vol. 51. № 3. P. 163–170. <http://doi.org/10.1134/S0097807824700714>
8. Wohlfarth B., Tarasov P., Bennike O., Lacourse, T., Subetto D., Torssander P., Romanenko F. Late Glacial and Holocene Palaeoenvironmental Changes in the Rostov-Yaroslavl' Area, West Central Russia // Journal of Paleolimnology. 2006. Vol. 35, iss. 3. P. 543–569. <http://doi.org/10.1007/s10933-005-3240-4>.

## **Реконструкция периодичности пожарных событий и их особенностей по данным изучения макрочастиц угля в торфе в голоцене на современной территории национального парка «Бузулукский бор»**

А.Е. Шатунов\*, Е.Ю. Новенко\*\*

Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

\*toxavilli@yandex.ru, \*\*lenanov@mail.ru

Бузулукский бор — уникальный лесной массив, расположенный в зоне типичных степей. В связи с этим торфяные отложения болота Побочное, расположенного в его пределах, — важный природный архив для изучения истории природной среды и периодичности пожаров в голоцене. Палеоботаническое изучение торфяной залежи и радиоуглеродное датирование было выполнено К.В. Кременецким с соавт. [3]. В ходе исследований 2022 года была рассчитана новая модель вертикального прироста торфа с использованием программы Васон [1] в программной среде R.

Подготовка проб для анализа макрочастиц угля проведена по стандартной методике [5]. Образцы отобраны непрерывно с интервалом 1 см. Всего за 2023 г. проанализировано 900 образцов. Для анализа угольных частиц в образцах была применена разработанная ранее методика подсчета количества и площади углей посредством анализа изображений. Разделение частиц угля на классы (древесные и травянистые) проведено согласно классификации Vachula et al., [6], которая относит частицы угля с соотношением длины к ширине более 3,5 к травяным уголькам, а менее — к древесным.

Для обработки изображений создана необходимая программа в среде R, при помощи которой выделены угольные частицы (методом бинаризации изображения с указанием порога). Статистическая обработка результатов подсчета концентрации угольных частиц в торфе осуществлялась в программном пакете *taras* [2]. Вычислена скорость аккумуляции частиц угля (CHAR, количество частиц, выпадающих на поверхность размером 1 кв. см в год), выделены фоновые и пиковые значения скорости аккумуляции частиц угля, а также локальные пожарные эпизоды (один или серию крупных пожаров в окрестностях болота) и рассчитаны межпожарные интервалы.

Для выявления особенностей пожарных режимов был проведен кластерный анализ *k-means* в программной среде R с использованием библиотеки *cluster* [4]. Кластеры выделялись по числу макрочастиц угля, соотношению древесных и травяных угольных частиц (%) и соотношению AP:NAP [3] (соотношение древесной и недревесной пыли), которые были подсчитаны в см зерна. Было построено 4 кластера, количество итераций равнялось 100. Средние значения соотношения AP:NAP, % древесных частиц от общей суммы частиц, общего числа угольных частиц в см, характерных для каждого кластера, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Средние значения переменных для каждого из 4-х кластеров.

Кластер	AP:NAP	Древесных углей %	Число углей
1	45.67	68.38	12.55
2	57.74	64.11	50.36
3	69.62	65.22	22.46
4	46.37	39.81	6.15

Для первого кластера характерна относительно низкая лесистость, малое число углей (в среднем 12.5 ед.), но при этом угли преимущественно древесные, на основании чего мы можем предположить, что для этого периода характерно преобладание степей над лесами, но горели преимущественно леса. Кластер два имеет высокое соотношение AP:NAP (57.74), высокую долю древесных углей (64.1%) и наибольшее число макроуглей, что позволяет сделать вывод о высокой интенсивности лесных пожаров, которые, возможно, и стали ограничителем увеличения доли лесистости. Третий кластер характеризуется наибольшим соотношением AP:NAP (69.6) при доле древесных частиц, аналогичных для первого и второго кластера, с числом углей 22.5 ед. Кластеры два и три имеют схожие значения по всем параметрам, кроме отличающихся более чем в два раза числу углей (см. табл. 1). Вероятно, кластеры 2 и 3 показывают различные условия функционирования ландшафта при схожих условиях, но с разной интенсивностью пожаров. Наконец, четвертый кластер характеризуется низким соотношением AP:NAP аналогично первому, но при этом доля древесных углей наименьшая, и составляет всего 39.8%, наименьшим является и число углей. Вероятно, этот кластер должен указывать на этапы, когда преобладали степные пожары, в то время как остальные 3 кластера указывают на преобладание лесных пожаров.

Полученные данные позволили реконструировать историю пожаров на территории национального парка «Бузулукский бор» за последние 10.5 тыс. кал. лет.

Для раннего голоцена (временного интервала 10.5–8.0 кал. л. н.) характерны низкие скорости накопления макроуглей (менее 10 частиц/см<sup>2</sup> в год) и редкие пожарные эпизоды. Высокая доля углей травянистых растений среди макроуглей, накопившихся в этот период, хорошо согласуется с палинологическими данными, полученными К.В. Кременецким с соавт. [3], согласно которым на территории, прилегающей к болоту, была распространена лесостепная растительность. Доля пыльцы травянистых растений составляла от 40 до 65%, среди которой преобладала полынь (до 40%) и маревые (до 20%). Древесную растительность формировали сосна и береза с небольшим участием широколиственных пород, доля которых постепенно возрастала. Судя по тому, что образцы в этот период относятся только к 1 и 4 кластеру, можно предположить, что для территории были характерны степные и лесные пожары низкой интенсивности, что может быть связано с недостатком древесного топлива из-за низкой лесистости (рис. 1).

В период 8.0–4.8 тыс. кал. л. н. скорость аккумуляции угольных частиц возрастает до 7–10 частиц/см<sup>2</sup> в год, выделяются пожарные эпизоды, в которых доля древесных углей существенно превышает долю травянистых, за исключением эпизодов 7.2 и 5.4. тыс. кал. л. н (см. рис. 1). Серия крупных пожаров выявлена в интервале 6.4–6.0 тыс. кал. л. н., установлено 6 пожарных эпизодов с интервалом около 60 лет. Учитывая, что пожарный эпизод может охватывать не один, а несколько пожаров, для рассматриваемого периода была характерна очень высокая пожарная активность. В спорово-пыльцевых спектрах этому интервалу соответствует зона резкого увеличения доли пыльцы сосны (до 60–70%). В начале этапа локальные пожары относятся в основном к первому кластеру, который характеризуется низкой общей лесистостью и малым числом угольных частиц. В середине этапа все локальные пожары относятся к 3 кластеру. После 5.5 тыс. кал. л. н. локальные пожары не выявляются, а фоновый уголь поступает в условиях, вероятно, более низкой лесистости территории и пожаров слабой интенсивности, судя по отношению к 1 кластеру.

После 4.8 тыс. кал. л. н. на территории, прилегающей к болоту Побочное, произошла резкая смена пожарных режимов (см. рис. 1). Скорость аккумуляции частиц угля увеличилась до 20–30 с отдельными пиками до 50–60 частиц/см<sup>2</sup> в год, что в 2–5 раз превышает значения CHAR в предыдущий период. Выявлены два интервала повышенного поступления угольков в болото в интервалах 4.8–3.9 и 3.5–2.8 тыс. кал. л. н., разделенные периодом, когда пожарная активность сокращалась. Интервалы увеличения поступления угля в торфяную залежь болота совпадают по времени с сокращением доли древесных пород в пыльцевых спектрах (до 40–50%) и возрастанием доли полыней (20–30%) и лугового разнотравья. Среди угольных частиц большую долю составляет древесный уголь, что указывает на периодические лесные пожары. Для интервала 3.5–2.8 тыс. кал. л. н. характерно наименьшая за периоды среднего и позднего голоцена значение суммы пыльцы древесных пород и сосны в спектрах (25–30% и 10% соответственно) и увеличение содержания березы и полыни до 20–30%, что, очевидно, отражает не только влияние климатического фактора, но и воздействие пожаров на растительный покров. Локальные пожары относятся в основном к третьему кластеру, что говорит о том, что они происходили в периоды с достаточно высокой лесистостью и были наиболее интенсивными за все время до этого. Фоновые пожары относятся в основном к 1 и 3 кластерам. Благодаря этому мы можем говорить, что мощность пожаров ограничивалась или недостаточностью древесного топлива, или изменением климатических условий, при которых доля лесной растительности возрастала, а интенсивность пожаров снижалась. Степной кластер практически полностью пропадает.

Похолодание и увлажнения климата около 2.7 тыс. кал. л. н. привело к снижению пожарной активности на изучаемой территории и расширению

площади лесов (см. рис. 1). Доля пыльцы деревьев и кустарников в спектрах возросла до 60%. В интервале 2.7–1.5 тыс. кал. л. н. скорость аккумуляции частиц угля понизилась до 7–10 частиц/см<sup>2</sup> в год, пожарные эпизоды не выделены.

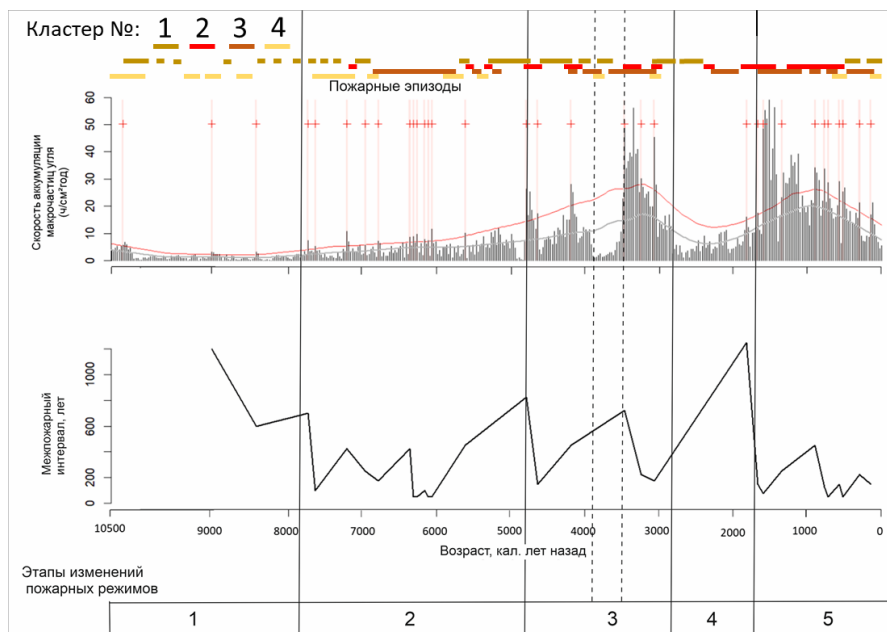


Рис. 1. Скорость аккумуляции макроскопических частиц угля в торфяной залежи болота Побочное (НП «Бузулукский бор»). Межпожарные интервалы (красными крестиками обозначены пожарные эпизоды). Цветом сверху показана принадлежность к кластеру.

Начиная с 1.8 тыс. кал. л. н. скорость аккумуляции частиц угля в торфе резко возросла, CHAR увеличилась в пять-шесть раз по сравнению с предыдущим периодом и достигла 50–60 частиц/см<sup>2</sup> в год, МПИ составлял 100–200 лет (рис. 1). В пожарах средневековья (800–1200 гг.) древесные угли существенно преобладали над остатками травянистых, в более поздних пожарах доля остатков трав увеличилась, что, возможно, указывает на сокращение площади лесов и древесины как горючего материала. Высокие пики CHAR и обилие крупных частиц угля (400–500 мкм) указывают на крупные верховые пожары вблизи болота. В течение последней 1000 лет выявлено 8 пожарных эпизодов, МПИ составлял в среднем около 200 лет, но возможно, пожары происходили и чаще. Для спорово-пыльцевых спектров характерны резкие колебания в соотношении пыльцы сосны и березы, что отражает

постпирогенные сукцессии растительного покрова. Локальные пожары относятся в основном ко второму кластеру, фоновые же относятся к 2 и 3 кластеру. Вероятно, интенсивность пожаров на окружающей территории менялась на протяжении этапа, но при этом пожары были лесными при относительно высокой лесистости.

В течение голоцена на территории Бузулукского бора выявлено 5 периодов, соответствующих сменам пожарных режимов, проведено их сопоставление с историей развития растительности, реконструированной по палинологическим данным. 10.5–8.0 тыс. кал. л. н. - низкая аккумуляция угля и единичные пожары с длительным межпожарным интервалом, преобладает травянистая растительность. 8.0–4.8 тыс. кал. л. н. - высокая пожарная активность, периодические низовые пожары низкой интенсивности, сосновые леса. 4.8–2.8 тыс. кал. л. н. - рост пожарной активности и интенсивности пожаров, аккумуляция угля возрастает в 2–5 раз, увеличение доли безлесных растительных сообществ. 2.8–1.8 тыс. кал. л. н. - сокращение поступления угля и отсутствие пожарных эпизодов, увеличение площади лесов. 1.8 тыс. кал. л. н. – настоящее время – скачкообразный рост аккумуляции угольных частиц, интенсивные пожары вблизи болота, постпирогенные сукцессии растительного покрова.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0005.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // *Bayesian Analysis*. 2011. Vol. 6(3). P. 457–474.
2. Finsinger W., Bonnici I. Tapas: an R package to perform trend and peaks analysis. 2022 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/phiguera/CharAnalysis>.
3. Kremenetski C.V., Boettger T., Junge F.W., Tarasov A.G. Late- and postglacial environment of the Buzuluk area, middle Volga region, Russia // *Quaternary Science Reviews*. 1999. Vol. 18. P. 1185–1203.
4. Maechler M, Rousseeuw P, Struyf A, Hubert M, Hornik K. cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions. 2023. R package version 2.1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cran.r-project.org/package=cluster>.
5. Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // *Mires and Peat*. 2011. Vol. 7. P. 1–18.
6. Vachula R., Sae-Lim J., Li, R. A critical appraisal of charcoal morphometry as a paleofire fuel type proxy // *Quaternary Science Reviews*. 2021. № 262. P.106979. <http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.106979>.

## **Опыт применения климатических сценариев для моделирования процессов развития многолетней мерзлоты в районе г. Салехард, ЯНАО**

С.Р. Шерстенникова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, 199178, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36  
sonya.sherstennikova@gmail.com

В Арктике имеется уникальный сегмент криосферы, информация о котором ограничена или отсутствует для многих территорий. Климатические изменения, наблюдаемые в последние десятилетия и прогнозируемые в последующие годы [5, 7], наибольшее влияние оказывают на ледники и многолетнюю мерзлоту, которая ускоренными темпами начинает оттаивать в Арктике [8]. Уже сейчас это негативно сказывается на ландшафте, флоре и фауне, что как следствие пагубным образом отражается на инфраструктуре [3, 9, 10]. Поскольку многолетняя мерзлота занимает примерно 65% территории нашей страны, выяснение её изменений в случае реализации тех или иных климатических сценариев является крайне важной научной задачей, которая имеет вполне осязаемый экономический эффект.

Для настоящей работы использовалась математическая модель FrozenSoil, основанная на решении одномерной задачи Стефана. В модели также учитывалось выпадение осадков, фильтрация дождевой или талой воды в грунт. Помимо этого, для зимнего периода моделировалось постепенное уплотнение снежного покрова под действием силы тяжести. Теплофизические и фильтрационные параметры сред задавались с использованием базы данных [6]. Для решения краевой задачи на верхней границе использовалось условие теплообмена с атмосферой, которое учитывает положение Солнца над горизонтом, температуру и влажность окружающего воздуха, скорость ветра, альбедо поверхности и ряд других параметров. Расчёты выполнялись до глубины 20 м до 2100 года. Для моделирования использовались метеорологические данные, находящиеся в открытом доступе [2]. Окончательно массив данных формировался следующим образом: первые 30 лет – это взятые с метеорологической станции значения измерений [8]. На их основе и с использованием сценариев IPCC [8] и собственно составленных сценариев высчитывались значения метеопараметров до 2100 года.

Сценарии составлялись для температуры, облачности и влажности воздуха. Остальные величины в сценарных расчётах использовались как усреднённые за 30 лет (1993–2023 гг.). Для того, чтобы задать температуру воздуха до 2100 года применялись климатические сценарии IPCC. В отчёте Межправительственной группы по изменению климата (IPCC) за 2023 год [8] представлены пять возможных варианта потепления, основанные на различных



траекториях выбросов парниковых газов до конца века. Эти сценарии, называемые Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), варьируются от очень низких до весьма высоких уровней выбросов, и повышение температуры в них составляет от 1,5 °C до 4 °C до 2100 г. Сценарии для влажности воздуха и облачности были сформированы таким образом, что годовому ходу среднесрочных значений за предшествующие сценарному моделированию 30 лет был задан тренд, соответствующий усилению увлажнения климата. То есть значения облачности и влажности воздуха на протяжении 76 лет (с 2024 по 2100 г.) постепенно увеличивались, пока не достигли своего предела (10 баллов и 100% соответственно).

В качестве условия на нижней границе устанавливалась постоянная температура мёрзлого грунта. Согласно материалам натуральных исследований, в районе работ она составляет -0,6 °C [1]. Модель FrozenSoil была реализована путём создания компьютерной программы [4].

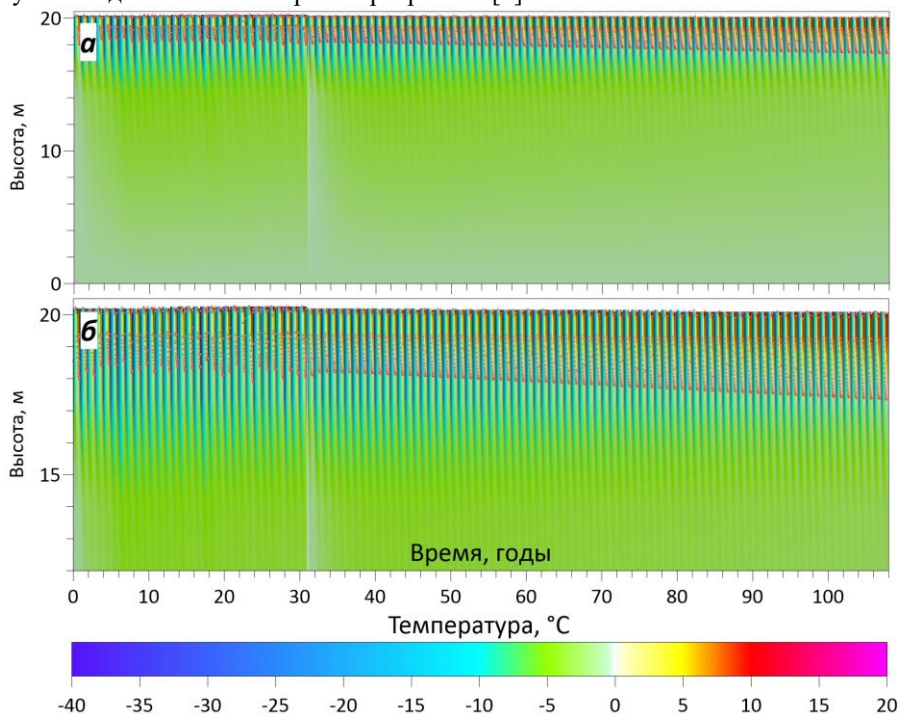


Рис. 1. а – изменение температуры геологического разреза со временем в полном масштабе, б – изменение температуры геологического разреза со временем в увеличенном масштабе.

Согласно результатам моделирования, приповерхностные сезонные колебания температуры рассматриваемого геологического разреза проникают глубже со временем, но с глубины примерно 4 м начинаются отрицательные температуры грунта. Растепления грунта на глубине не происходит, талики не формируются. Вероятно, это может быть объяснено особенностями формирования снежного покрова в математической модели. Снег оказывает согревающий эффект на мёрзлый грунт, удерживает тепло, накопившееся летом. Также глубина заданного геологического разреза может оказывать влияние: на нижней его границе ещё заметны сезонные колебания температуры грунта.

В продолжение настоящего исследования будет осуществлено моделирование и по другим климатическим сценариям, с другими изменениями характеристик увлажнения и температурными трендами.

Автор благодарит Попова С.В. за общее руководство исследованием. Работа выполнена при содействии Научного центра изучения Арктики и финансовой поддержке Департамента внешних связей ЯНАО при Правительстве ЯНАО.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вичаре А.С., Сайед З.А., Шаванди М., и др. Полевой отчёт о прохождении учебной практики в районе города Салехард, Ямало-Ненецкий автономный округ. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет. 2024. 22 с.
2. Данные: специализированные массивы // Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteo.ru/data/>.
3. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В. и др. Снижение устойчивости инфраструктуры ТЭК России в Арктике как следствие повышения среднегодовой температуры приповерхностного слоя криолитозоны // Вестник РАН. 2022. № 4. Т. 92. С. 303-314. <http://doi.org/10.31857/S0869587322040053>
4. Попов С.В., Боронина А.С., Лебедева Л.С. «Программа для моделирования процессов теплопереноса в многолетнемёрзлых породах» (FrozenSoil) // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS № 2023669994. Заявка № 2023669430 от 25.09.2023. Оpubл. 25.09.2023. Бюл. №10.
5. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме // СПб.: Научное общество исследователей. 2022. 124 с.
6. Шерстенникова С.Р., Попов С.В., Боронина А.С., Лебедева Л.С. База теплофизических и механических свойств грунтов, горных пород, напочвенного слоя, снега, фирна и льда // Свидетельство о регистрации базы

данных RUS № 2024620901. Заявка № 2024620631 от 22.02.2024. Оpubл. 28.02.2024. Бюл. №3.

7. Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzli J. et al. Permafrost is warming at a global scale // Nature Communications. 2019. № 10. <http://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4>
8. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). IPCC, Geneva: IPCC, 2023. P. 35-115. <http://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
9. Costard F., Gautier E., Brunstein D., Hammadi J., Fedorov A., Yang D., Dupeyrat L. Impact of the global warming on the fluvial thermal erosion over the Lena River in Central Siberia // Geophysical Research Letters. 2007. Vol. 34. №. 14. L14501. <http://doi.org/10.1029/2007GL030212>
10. Kizyakov A.I., Wetterich S., Günther F. et al. Landforms and degradation pattern of the Batagay thaw slump, Northeastern Siberia // Geomorphology. 2022. Vol. 420. P. 108501. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108501>.

## **Исследования погребённого рельефа позднепалеолитических поселений геофизическими методами**

А.П. Юрченко<sup>1\*</sup>, С.С. Бричёва<sup>1,2</sup>, А.Ю. Палёнов<sup>2</sup>, Н.Б. Ахметгалеева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

<sup>3</sup>Курчатовский государственный краеведческий музей, 307251, Курчатов, Россия

\*yurchenap@outlook.com

Как известно, одним из главных компонентов ландшафта является рельеф – именно он определяет распределение в пространстве растительности, почв, влаги и пр. При этом, исследованию погребенного рельефа уделяется недостаточное внимание при проведении типичных работ по палеорекострукции близ археологических памятников. Применение геофизических методов при такого рода исследованиях может помочь решить ряд проблем. Одна из них — это масштаб археологических работ, который как правило ограничен раскопом, при этом мало изучается окружающее пространство, в том числе палеоландшафт и погребенный рельеф. А именно эти факторы прямо или косвенно служили решающими при выборе места поселения древним человеком. Геофизические методы мультимасштабны, они позволяют изучать как физические свойства стенок раскопа, так и особенности региональной геологии.

Геофизические методы уже ранее использовались для изучения археологических комплексов Курского Посеймья [2], однако место археологической стоянки в общем рельефе осталось неясным.

### *Объекты исследований*

Объекты исследования – два известных комплекса верхнепалеолитических стоянок «Быки» и «Авдеево».

Археологический комплекс «Быки» расположен на территории Курского Посеймья, в двух километрах севернее одноименного села Быки и реки Сейм. На археологическом памятнике находится несколько многослойных стоянок с возрастом культурных слоев 18–16 тыс. л. н. Литологически стоянка сложена песками, супесями и суглинками [1]. Верхний слой памятника был существенно нарушен в 1970-х гг. строительством котлованов-отстойников.

Стоянка Авдеево также располагается на территории Курского Посеймья на берегу реки Рогозны. Возраст стоянки оценивается в 23–22 тыс. л. н. Литологически стоянка сложена переслаивающимися песками, супесями и суглинками.

### *Методы*

Геофизические методы активно используются как при обследовании археологических памятников, так и при проведении палеорекострукции. Они

обладают высокой экспрессностью и неинвазивны, то есть не повреждают объект во время исследования. При изучении литогенной основы погребенного рельефа использовались такие геофизические методы, как электротомография, георадиолокация, магниторазведка.

### *Примеры результатов*

Результат проведения электротомографии – это множество точек измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) исследуемых горных пород, которые можно представить в виде геоэлектрического разреза, карт распределения УЭС по глубине или же трехмерных моделей тел. Результат георадиолокации – радарограмма или разрез, показывающий отражения от тел или границ литологических слоев. Результат магниторазведки – интегральная карта аномалий магнитного поля. Комплексирование этих трех геофизических методов позволяет наиболее точно классифицировать погребенный рельеф и воссоздать рельеф эпохи палеолита без применения масштабных буровых работ.

Пример результата проведения электроразведочных работ с геологической интерпретацией представлен на рис. 1.

### *Выводы*

Геофизические методы позволили выявить погребенные формы рельефа на верхнепалеолитических памятниках Курского Посеймья. Полученная информация может способствовать дальнейшему археологическому изучению поселений и пролить свет на закономерности выбора мест стоянок древним человеком.

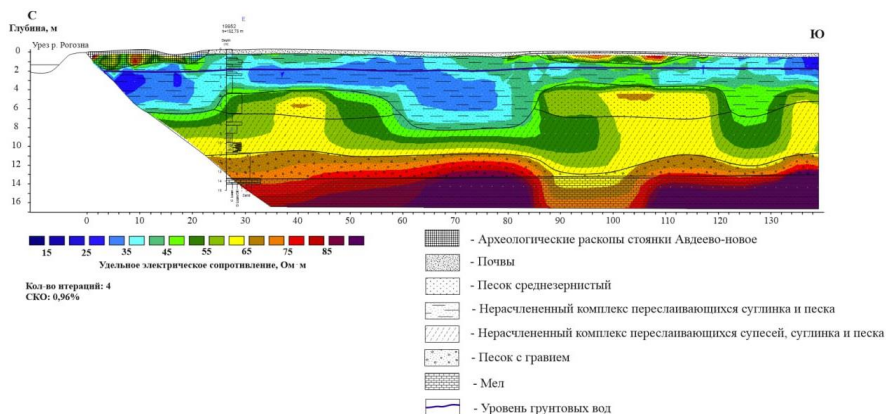


Рис. 1. Геолого-геофизический разрез на верхнепалеолитической стоянке Авдеево

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахметгалеева Н.Б. Каменный век Посеймья: верхнепалеолитическая стоянка БЫКИ-7. Курск: Мечта. 2015. 255 с.
2. Bricheva, S.S. et al., Multi-scale palaeolandscape reconstruction at the Upper Paleolithic Byki sites, central East European Plain // L'anthropologie. 2024. Vol. 128. Iss. 2. P.103241. <https://doi.org/10.1016/j.anthro.2024.103241>

## **Развитие рельефа и антропогенное освоение берегов левобережья р. Варзуга (Терский берег Белого моря) в голоцене**

А.П. Яковлева\*, Т.Ю. Репкина\*\*

Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

\*iakovleva-ap@yandex.ru, \*\*t-repkina@yandex.ru

Побережье в районе эстуария р. Варзуга представляет собой удобную модель для изучения послеледниковой истории развития Терского берега Белого моря. Расположение района исследования в зоне краевых образований последнего оледенения, завершившегося, по разным оценкам, от ~15 до 13–12 тыс. кал. л. н. [2, 8, 9, 10, 11], предопределило развитие чехла ледниковых и водно-ледниковых отложений, а также форм рельефа – озов, камов, флювиогляциальных дельт и др. [6]. Ледниковые и водно-ледниковые отложения являются рельефообразующими для современных морских и эоловых форм рельефа. Голоценовые прибрежные террасы формируются в результате сложного взаимодействия эоловых и береговых процессов в устье реки Варзуга. Нередко решающую роль в формировании современного облика поверхности играет антропогенный фактор. Дюны левобережья р. Варзуги осваиваются человеком с первобытных времен и до наших дней. Наиболее древние следы пребывания человека относят к эпохе мезолита [1]. На севере Кольского полуострова этот период датирован интервалом ~9–5.5 тыс. до н.э. [4]. Появление первых поморских сел в устье р. Варзуги относится к середине XVII в. [3]. Современный период антропогенного освоения, принесший за собой наибольшие изменения эолового рельефа, охватывает последние десятилетия – конец XX-начало XXI в. [5].

Рельеф прибрежных террас левобережья р. Варзуги охарактеризован на основании: 1) результатов серии полевых исследований (рис. 1), 2) камеральной обработки полученных данных (подбор космических снимков, топографических карт, ЦМР; сведение полученных данных в ГИС-среде; построение серии поперечных профилей), 3) результатов геоморфологического дешифрирования данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), топографических карт и цифровых моделей рельефа, 4) анализа литературных источников.

Экспедиционные работы включали геоморфологическое и георадиолокационное (георадар ОКО-3, антенны 50 и 250 МГц) профилирование, аэрофотосъемку беспилотным летательным аппаратом DJI Mini-2, ГНСС-съемку в режиме RTK (геодезический приемник PrinCe i50, комплект база и ровер), литостратиграфическое изучение разрезов отложений, в том числе донных отложений озер на периферии водно-ледниковых форм, и отбор образцов на диатомовый анализ, <sup>14</sup>C и ОСЛ-датирование.

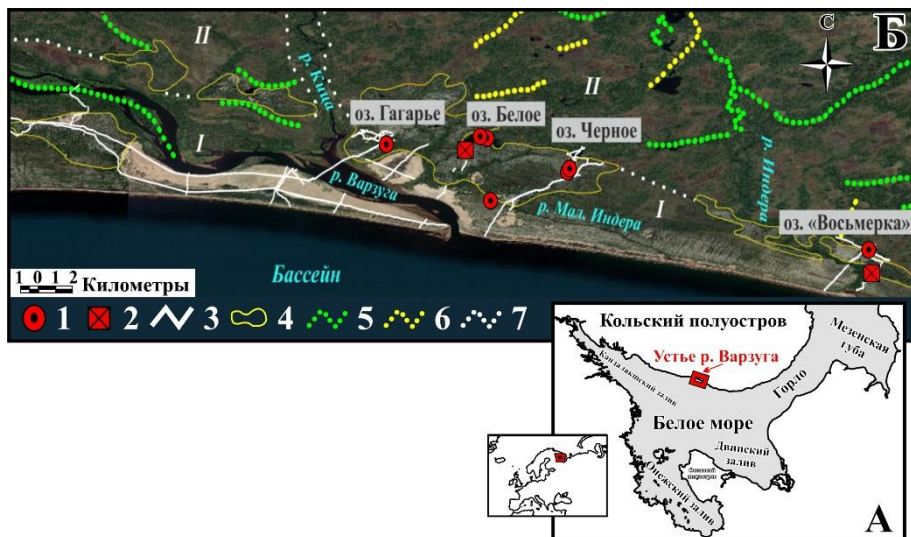


Рис. 1. Положение участков исследования (А) и фактический материал (Б): 1 - скважины ручного бурения, 2 – разрезы, 3 – георадиолокационные профили; литературные данные, 4 – ареалы распространения водно-ледниковых отложений, 5 – каналы стока ледниковых вод, 6 – озё; 7 – граница типов рельефа (I – морские и аллювиально-морские террасы, II – ледниковые равнины). Дистанционная основа – изображения Яндекс-Спутник.

В результате проведенных исследований выявлено три геоморфологических уровня развития рельефа побережья в голоцене: 1. ледниковый и водно-ледниковый рельеф (выше 30 м н.у.м.; ранее ~10.2 тыс. кал. л. н.); 2. прибрежно-морской и эоловый рельеф, в т.ч. сформировавшийся на поверхностях камовых террас и флювиогляциальных дельт (от 10–13 до 30 м н.у.м.; ~10.2-3.5 тыс. кал. л. н.); 3. прибрежно-морской и эоловый рельеф, в значительной степени изменённый деятельностью человека (ниже 10-13 м н.у.м.; позже ~3.5 тыс. кал. л. н.). Для двух нижних геоморфологических уровней проведена типизация форм прибрежного эолового рельефа [7].

Отдельные пояса дюн, приуроченные к древним береговым линиям, были освоены представителями первобытных культур. Все известные археологические памятники тяготеют к берегам древнего эстуария р. Варзуги. Решающим фактором при выборе места для стоянки являлись, скорее всего, наличие пресной воды, доступность пищевых ресурсов в устьевой зоне реки и близость к долине р. Варзуги, как к крупной транспортной артерии.

Также выявлены и проиллюстрированы примеры антропогенной активизации эоловых процессов. На правом берегу р. Варзуга (в районе д. Кузомень), располагается крупнейшая антропогенная пустыня Кольского полуострова, где активны процессы антропогенно-спровоцированного



опустынивания. Некоторые из описанных в данном районе процессов проявляются и на левом берегу р. Варзуги. Например, появление на залесенных и задернованных террасах разнообразных дефляционных форм, связанных с нарушением/разрушением растительного и почвенного покрова в результате пожаров и/или воздействия человека. Так, для низкой прибрежной террасы левого берега р. Варзуга характерна трансформация небольших дефляционных котловин, сформировавшихся по колеям дорог, в крупные окаймленные дюнами понижения. Вероятно, некоторое воздействие на активизацию эоловых процессов хозяйственная деятельность человека могла оказывать также на ранних этапах заселения и освоения побережья.

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-17-00081, палеолимнологические исследования частично соответствуют теме ГЗ РГПУ им. А.И. Герцена № 2023-2025 VRFY-2023-0010. Авторы признательны участникам экспедиционных исследований – П.А. Леонтьеву, А.В. Орлову, А.В. Прониной, Ю.А. Кублицкому, Н.Н. Луговому, А.Г. Сердюкову, В.А. Василюку и Е.А. Ерофеевой за помощь в организации и проведении работ, а также д.и.н. Е.М. Колпакову за консультации по археологии района исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурина Н.Н. История культуры древнего населения Кольского полуострова. СПб.: Центр «Петербургское Востоковедение». 1997. 233 с.
2. Евзеров В.Я., Николаева С.Б. Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона. // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73.
3. Казаков Л.А., Вишняков Г.В. Кузоменские пески в начале XXI века. М.: Пиквадрат. 2014. 128 с.
4. Колпаков Е.М., Киселёва А.М., Мурашкин А.И., Шумкин В.Я. Археология Кольского Севера: обзор на 2022 год // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2023. Т. 2, № 1. С. 164–183. <https://doi.org/10.37614/2949-1185.2023.2.1.015>
5. Репкина Т.Ю., Луговой Н.Н., Гуринов А.Л., Романенко Ф.А. Антропогенные изменения эоловых процессов на берегах Белого моря // Изв. РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 6. С. 1046–1062. <https://doi.org/10.31857/S2587556622060140>
6. Репкина Т.Ю., Леонтьев П.А., Кублицкий Ю.А., Орлов А.В., Яковлева А.П., Шилова О.С., Луговой Н.Н., Василюк В.А., Пронина А.В., Сердюков А.Г. Соотношение водно-ледниковых и морских образований на южном побережье Кольского полуострова: новые данные // Морские и озёрные бассейны восточной периферии Балтийского щита в четвертичное время: Материалы Всероссийской конференции и полевого симпозиума (г.

- Апатиты, 10–15 сентября, 2024). Апатиты: Геологический институт Кольского научного центра РАН. 2024. С. 73–77. <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.520.1.021>
7. Яковлева А. П. Рельеф приморских террас левобережья р. Варзуги (Терский берег Белого моря): последовательность развития и освоения человеком в голоцене // Астраханский вестник экологического образования. 2024. № 1 (79). С. 4–17. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2024-1-4-17>
  8. Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A. et al. Glaciomorphological Map of the Russian Federation // Quat. Int., 2016. Vol. 420. P. 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.024>
  9. Ekman I., Iljin V. Deglaciation, the Young Dryas end moraines and their correlation in Russian Karelia and adjacent areas // In: Glacial deposits in North-east Europe. Rotterdam: Balkama., 1995. P. 195–209.
  10. Korsakova, O.P., Vashkov, A.A., Nosova, O.Yu. European Russia: glacial landforms during deglaciation // The Last Deglaciation. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier, 2023. P. 105–110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91899-2.00025-5>
  11. Lunkka J.P., Kaparulina E., Putkinen N. et al. Late Pleistocene palaeoenvironments and the last deglaciation on the Kola Peninsula, Russia // Arktos. 2018. Vol. 4. P. 2–18. <https://doi.org/10.1007/s41063-018-0053-z>

*Научное издание*

**Географические исследования  
в контексте глобальных изменений**

Ответственные редакторы **Паршина** Любовь Сергеевна, **Сычев** Никита  
Владиславович

Редакторы:

**Гнеденко** Ангелина Евгеньевна  
**Захаров** Андрей Леонидович  
**Рудинская** Анна Ивановна  
**Шашерина** Лидия Всеволодовна  
**Шелудков** Александр Владимирович  
**Шматова** Анастасия Геннадьевна  
**Яковлева** Алёна Павловна

Верстка *А. Г. Шматова, А. П. Яковлева*

Формат 148×210 мм  
Электронное издание

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт географии Российской академии наук  
119017, Москва, Старомонетный переулок, дом 29, стр. 4.