

А.Н. Огурцов¹, В.В. Дмитриев², А.А. Егоров³, П.М. Бакунович⁴

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ БИОРАЗНООБРАЗИЮ БИОГЕОЦЕНОЗОВ
ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА ОЗЁР БЕЛОЕ И ЛИППОВСКОЕ
(КУРГАЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, РОССИЯ)**

АННОТАЦИЯ

Решение задач совершенствования и создания новых методов интегральной оценки факторов, формирующих биоразнообразие территории в условиях постоянной угрозы его снижения в окружающей человека природной среде является актуальным направлением геоэкологических исследований. Целью нашего исследования является выявление опасности утраты биоразнообразия на ключевых участках территории на основе метода анализа и синтеза показателей при информационном дефиците и его современной версии – АСПИД-метода на ГИС-основе.

В качестве примера рассмотрены результаты исследований влияния факторов потенциальной опасности утраты биоразнообразия на водосборе двух смежных озер на Кургальском полуострове. Объектами исследования и оценки являются биогеоценозы полуострова и их таксоны. Предметом исследования является опасность утраты биоразнообразия и факторы ее определяющие. В соответствии с процедурой интегральной оценки опасности утраты биоразнообразия по АСПИД-методу для каждого биогеоценологического таксона рассчитывался композитный показатель, характеризующий уровень совокупной опасности утраты биоразнообразия. Он формировался на основе системы отдельных (нормированных) показателей с учетом их весомости в интегральной оценке. Система отдельных показателей отражает влияние антропогенных и природно-антропогенных факторов на исследуемое системное свойство.

Результаты расчетов композитных показателей легли в основу составления тематических карт интегральной оценки опасностей. Тематические карты составлены с использованием географических информационных систем (ГИС). Оценочные карты позволяют выявить участки территории с различной степенью сохранения и угрозы опасности утраты биоразнообразия.

В процессе анализа карт были выявлены особенности и различия пространственного распределения оценок, что позволило определить участки водосбора озер с низкой и высокой степенью опасности утраты биоразнообразия. При оценке антропогенной составляющей на фоне естественных изменений отмечено, что основная угроза исходит от антропогенных факторов, поскольку «сильная» и «наиболее сильная» степень опасности была выявлена у 42% биогеоценозов, а в случае природно-антропогенных факторов лишь у 21%. Угроза природно-антропогенных факторов биоразнообразию биогеоценозов наиболее сильно проявляется на западной границе

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле СПбГУ, ВО 10-линия, д. 33-35, 199178 Санкт-Петербург, Россия, e-mail: aogurcov@yandex.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле СПбГУ, ВО 10-линия, д. 33-35, 199178 Санкт-Петербург, Россия, e-mail: v.dmitriev@spbu.ru

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле СПбГУ, ВО 10-линия, д. 33-35, 199178 Санкт-Петербург, Россия, e-mail: a.a.egorov@spbu.ru

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле СПбГУ, ВО 10-линия, д. 33-35, 199178 Санкт-Петербург, Россия, e-mail: polina-backunovich@yandex.ru

водосбора. В восточной части полуострова влияние природно-антропогенных факторов менее выражено.

Полученный опыт и результаты интегральной оценки сохранения биоразнообразия предполагается использовать при оценке интегративных свойств наземных и водных геосистем, экологического статуса и экологического благополучия водных объектов и их водосборных территорий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: изменение биоразнообразия, водосбор озера, интегральная оценка, АСПИД, ГИС.

**Alexander N. Ogurtsov¹, Vasiliy V. Dmitriev², Alexander A. Egorov³,
Polina M. Bakunovich⁴**

**SPATIAL ANALYSIS AND INTEGRAL ASSESSMENT OF FACTORS
OF THE POTENTIAL DANGERS TO THE BIODIVERSITY OF BIOGEOCENOSES
IN THE CATCHMENT AREA OF BELOYE AND LIPPOVSKOYE LAKES
(KURGALSKY PENINSULA, RUSSIA)**

ABSTRACT

In the context of maintaining a constant threat of biodiversity loss, it is urgent to solve the problem of improving and creating new methods for assessing the factors of biodiversity change. Due to the complexity and multidimensionality of the task, the authors are invited to use the method of analyzing and synthesizing indicators with information deficit (ASPID method).

As an example of using the method, this article presents the results of studies of potential risk factors for biodiversity loss in the catchment area of two adjacent lakes on the Kurgalsky Peninsula.

As objects of the assessment chosen taxa biogeocenoses of the peninsula. In accordance with the procedure for estimating the ASPID-method for each taxon, a composite indicator was calculated. The composite indicator characterizes the level of the total risk of biodiversity loss. It is formed on the basis of a system of individual indicators and taking into account their weight. The system of individual indicators reflects the effect of anthropogenic and natural anthropogenic factors.

Calculations of composite indicators have formed the basis for the compilation of thematic maps of the integral assessment of hazards. Thematic maps are compiled using geographic information systems (GIS). Assessment maps allow you to identify areas of the territory with a high and low degree of danger.

The analysis of the maps revealed differences in the spatial distribution of estimates, which allows to identify areas of the lake catchment with a low and high degree of risk of biodiversity loss. In particular, it is noted that the main threat comes from anthropogenic factors, since the "strong" and "most severe" degree of danger is detected in 42% of biogeocenoses, and in the case of anthropogenic-natural factors only in 21%. The threat of anthropogenic-natural

¹ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VO 10-line 33-35, 199178, St. Petersburg, Russia, *e-mail*: aogurcov@yandex.ru

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VO 10-line 33-35, 199178, St. Petersburg, Russia, *e-mail*: v.dmitriev@spbu.ru

³ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VO 10-line 33-35, 199178, St. Petersburg, Russia, *e-mail*: a.a.egorov@spbu.ru

⁴ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, VO 10-line 33-35, 199178, St. Petersburg, Russia, *e-mail*: polina-backunovich@yandex.ru

factors to the biodiversity of biogeocenoses is most pronounced on the western border of the catchment area. In the eastern part of the catchment area, the influence of anthropogenic-natural factors is less noticeable.

Since the solution of the problem of biodiversity conservation affects the ecology of territories and in particular catchment areas, it can be useful in determining the ecological status and ecological well-being of water bodies and their catchment areas.

KEYWORDS: biodiversity change, lake catchment, integral assessment ASPID, GIS.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях сохранения постоянной угрозы утраты биоразнообразия является актуальным решение задачи совершенствования и создания новых методов интегральной оценки сохранения, угрозы или утраты биоразнообразия на различных территориях. Большинство этих исследований посвящено вопросам формирования структуры биоразнообразия и её сохранению, главным образом, в масштабе одной-двух видовых групп. Реже затрагиваются вопросы биоразнообразия в масштабе биогеоценоза и экосистемы в целом. При этом в качестве главного критерия и едва ли не единственного показателя природоохранной ценности территории используется видовое богатство [Tropik et al., 2013]. Однако успешное решение задачи сохранения биоразнообразия во многом зависит от учёта сложности и многоаспектности этого понятия, и не может быть достигнуто с использованием какого-либо единственного индикатора или показателя [Spangenberg, 2007]. Поэтому в настоящее время предпринимаются усилия по определению необходимого и достаточного перечня оценочных параметров биоразнообразия для формирования системы оценки, основанной не только на прямых измерениях, составляющих биоразнообразия, но и их интеграции с «факторами давления» (воздействия), что необходимо и важно учитывать при оценке «факторов изменения биоразнообразия» [De Bello et al., 2010].

Несмотря на масштабность работ, результаты этих исследований недостаточно полно освещают вопросы использования факторов давления, несущих потенциальную опасность утраты биоразнообразия. В работе De Bello с соавт. [2010], в частности, отмечается, что существующие в Европейском Союзе системы сохранения биоразнообразия зачастую грешат чрезмерным использованием «не стандартизированной индикаторной информации» и биотических показателей, в ущерб факторам-угрозам ответственным за утрату биоразнообразия.

Анализ информационной базы рецензируемой литературы «ScienceDirect» показал, что число публикаций, посвященных исследованиям биоразнообразия, с 2010 года возросло почти в четыре раза (рис. 1). Среди них, по оценке авторов, менее 10 процентов публикаций затрагивают вопросы о роли факторов, ответственных за утрату биоразнообразия в будущем.

Поскольку факторы, представляющие опасность утраты биоразнообразия довольно многочисленны и носят как естественный, так и антропогенный характер, необходима их структуризация и разработка интегрированного подхода, в рамках которого различные показатели можно объединять в единую многокритериальную и многоуровневую систему оценки. Реализация такого подхода с использованием метода анализа и синтеза показателей при информационном дефиците [Dmitriev et al., 2020, Амаро Медина, Дмитриев, 2019] положена авторами в основу проведенных исследований. Результаты других исследований с разной степенью подробности в описании подхода изложены в большом количестве наших публикаций, посвященных оценке интегративных свойств природных и общественных систем.

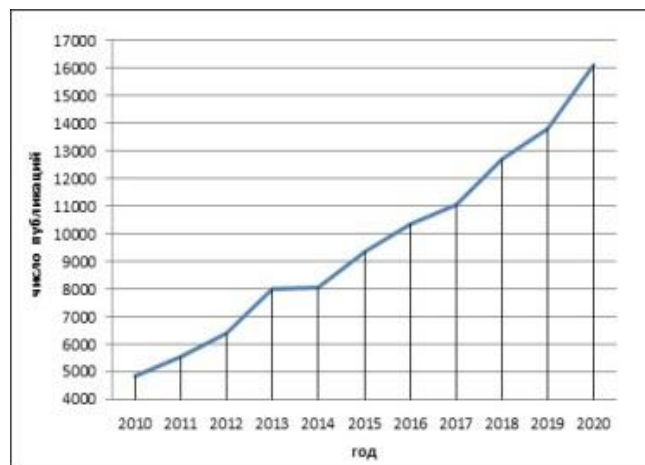


Рис. 1. Число публикаций по биоразнообразию (по данным ScienceDirect)

Fig. 1. Number of publications on biodiversity (according to ScienceDirect)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной целью нашего исследования являлось проведение интегральной оценки факторов потенциальной опасности биоразнообразию биогеоценозов водосборного бассейна. В качестве модельной территории были выбраны водосборные бассейны двух озер (оз. Белое и оз. Липповское), расположенных в Кингисеппском районе Ленинградской области (Россия) на территории Кургальского полуострова. Общая площадь водосбора озер составляет 64,73 км².

В природном отношении район исследования расположен в условиях южной тайги, а гидрологическая сеть полуострова представлена небольшими реками, болотами и озерами, наибольшими из которых являются оз. Белое и оз. Липповское. Несмотря на природоохранный статус Кургальского полуострова, этот район является излюбленным местом для отдыха местных жителей, рекреантов и туристов из ближайших окрестностей и г. Санкт-Петербурга. Это обуславливает потенциальную опасность утраты биоразнообразия биогеоценозов на водосборах озер.

В связи с поставленной целью объектами для оценки являлись биогеоценозы водосборных бассейнов этих двух озер, а предметами оценки – факторы опасности как природного, так и антропогенного характера, которые в работе были разделены на две группы: антропогенные и природно-антропогенные.

Материалами для исследования явились данные полевых исследований, проведенные в полевой сезон 2020 г., снимки высокого разрешения и материалы предыдущих исследований по биоразнообразию территории [Смагин, Галанина, 2003; Экологический атлас..., 2007; Крижук, Теплякова, Калибернова, 2011; Сергиенко, 2013; Глазкова и др., 2018; Глазкова и др., 2019; Глазкова и др., 2020]. При выделении биогеоценозов использовались также методические подходы, разработанные при выделении типов леса для северо-запада России [Федорчук и др., 2005].

Все опасности в изучаемом регионе, исходя из опыта и знаний об их проявлении, были ранжированы по максимальному проявлению (Maximum exposure to danger). Всего было выделено 3 ранга: 1 – фактор слабо или редко проявляющийся; 2 – фактор, значительно проявляющийся; 3 – очень сильно проявляющийся фактор.

Для каждого биогеоценоза на основе экспертной оценки была определена степень проявления опасности в зависимости от преобладающей жизненной формы, возраста

древостоя, режима увлажнения и богатства почв, наличия растительных ресурсов (грибов и ягод), степени его нарушенности, близости к берегу водоема, возможности проезда и некоторых других особенностей. Всего экспертами, на данном этапе работы использовалось 4 степени проявления опасности: 1 – 0,00 – угроза не характерна для биогеоценоза; 2 – 0,33 – фактор, слабо или редко влияющий на биогеоценоз; 3 – 0,67 – фактор, значительно влияющий на биогеоценоз; 4 – 1,00 – очень сильно влияющий фактор.

В итоге, на основании типологии лесов северо-запада России были выделены достаточно крупные по объему типы биогеоценозов (всего 33, табл. 1), для которых экспертами была определена степень проявления потенциальной опасности биоразнообразию биогеоценозов водосбора озер Липповское и Белое по выбранным факторам. Рассмотрим примеры экспертного учета степени проявления опасности.

Для выявления степени проявления опасности (Degree of danger = Ddg), связанной с рекреацией на берегу водоема (A1), учитывалось расположение биогеоценоза по его удалению от берега водоема: Ddg = 1 в пределах первых 50 м, Ddg = 0,67 на удалении 51–100 м, Ddg = 0,33 на удалении 101–200 м, Ddg = 0 на удалении свыше 201 м.

При оценке Ddg по незаконной рубке леса (A2) Ddg = 0,67 для взрослых ельников и сосняков зеленомошным; Ddg = 0,33 для взрослых сосняков и ельников сырых, молодых ельников и сосняков зеленомошных и неморальных, березняков зеленомошных; Ddg = 0,00 для остальных.

Поскольку опасность утраты биоразнообразия исходит от воздействия многочисленных угроз, будем считать необходимым и обоснованным использование композитных показателей для интегральной оценки их совокупного влияния [Godínez-Gómez *et al.*, 2020].

Для оценки совокупного действия факторов в процессе получения композитных показателей опасности, исходные характеристики (табл. 1) предварительно подвергались процедуре нормирования с целью возможности их сравнения путем перевода в единую шкалу от 0,0 до 1,0. Поскольку увеличение значений исходных характеристик (степени проявления опасности) означает ухудшение ситуации для биогеоценоза, чреватой утратой биоразнообразия, то при нормировании мы воспользовались линейной монотонно убывающей функцией согласно [Амаро Медина, Дмитриев, 2019]. В последующем проводилась процедура интеграции нормированных значений исходных параметров и расчёт композитных показателей. В нашем случае для интеграции как антропогенных, так и природно-антропогенных критериев использовалась линейная аддитивная модель свёртки [Хованов, 1996] вида:

$$Q^{(j)} = q_1^{(j)} \times w_1 + q_2^{(j)} \times w_2 + \dots + q_i^{(j)} \times w_i$$

где: $Q^{(j)}$ – композитный показатель опасности утраты биоразнообразия j -го биогеоценоза; $q_i^{(j)}$ – отдельный (нормированный) показатель, характеризующий опасность утраты биоразнообразия j -го биогеоценоза с точки зрения величины i -го критерия; w_i – весовой коэффициент i -го критерия.

В нашем случае весовой коэффициент ассоциируется с максимальным проявлением опасности фактора и рассчитывается по алгоритму рандомизации [Хованов, 1996], допускающему использование ординальной (порядковой) информации для получения весовых коэффициентов.

При расчёте весовых коэффициентов учитывалась имеющаяся нечисловая информация о максимальном проявлении опасности факторов в виде: «фактор, значительно

проявляющийся» > «очень сильно проявляющийся фактор» > «слабо или редко проявляющийся фактор».

Процедура составления интегральных карт потенциальной опасности биоразнообразию и их пространственный анализ проводилась средствами ГИС Mapinfo.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве инструмента интегральной оценки и проведения расчета композитных показателей опасности мы воспользовались авторской системой Geoexpert. Расчёт проводился по каждой из двух групп факторов (табл. 1) с учетом максимального проявления опасности.

Табл. 1. Типы биогеоценозов и экспертные оценки критериев потенциальной опасности биоразнообразию биогеоценозов водосбора озёр Липновское и Белое

Table 1. Types of biogeocenoses and expert assessments of the criteria for potential danger to biodiversity of biogeocenoses in the catchment area of Lippovskoe and Beloe Lakes

№ п/п	Биогеоценоз	Антропогенные критерии ¹					Природно-антропогенные критерии				
		A1	A2	A3	A4	A5	N1	N2	N3	N4	N5
1	Ельники зеленомошные	0,32	0,67	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,33
2	Ельники зеленомошные	0,11	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Ельники зеленомошные	0,61	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Ельники сырые	0,15	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,67	0,67	0,00	0,67
5	Ельники сырые	0,35	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00
6	Ельники сырые	0,36	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00
7	Сосняки неморальные	0,28	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,33
8	Сосняки зеленомошные	0,44	0,67	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,33
9	Сосняки зеленомошные	0,28	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
10	Сосняки сырые	0,18	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,67	0,00	0,33
11	Сосняки сырые	0,00	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00
12	Березняки зеленомошные	0,24	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00
13	Березняки зеленомошные	0,17	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
14	Березняки зеленомошные	0,21	0,33	1,00	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Березняки заболоченные	0,13	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
16	Березняки заболоченные	0,02	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	Осинники неморальные	0,27	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	Черноольшанники заболоченные	0,11	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	Луга	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00

¹ Примечание:

Группа антропогенных факторов: A1 – рекреация по берегам озер; A2 – незаконная рубка леса; посещаемость биогеоценозов при сборе полезных растительных ресурсов A3 – грибов и A4 – ягод; A5 – проезды по территории на квадрациклах и другом транспорте.

Группа природно-антропогенных факторов опасности: N1 – пожары; N2 – ветровалы; N3 – изменение гидрологического режима; N4 – инвазивные виды; N5 – болезни и вредители леса.

20	Редколесья сосновые заболоченные	0,05	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33
21	Верховые и переходные болота	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	Прибрежноводные заросли	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	Березняки зеленомошные	0,93	0,33	0,33	1,00	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
24	Ручей	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	Ельники неморальные	0,35	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	Редины	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
27	Сельскохозяйственные угодья	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00
28	Сероольшанники неморальные	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
29	Пустоши	0,02	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
30	Пустоши	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
31	Луга	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
32	Ельники неморальные	0,33	0,33	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00
33	Ельники неморальные	0,67	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Для группы антропогенных факторов опасности при расчете композитных показателей реализовано следующее условие:

$$A1 > A5 > A2 = A3 = A4.$$

Для группы природно-антропогенных факторов реализовано условие:

$$N1 = N4 > N3 = N5 > N2.$$

Результаты расчёта легли в основу составления тематических карт интегральной оценки и пространственного анализа факторов опасности биоразнообразию биогеоценозов водосборного бассейна озёр Липповское и Белое (рис. 2).

Оценочная шкала ранжирована на пять категорий опасности. Ранжирование осуществлялось методом естественных границ (Jenks Natural Breaks).

Анализ и сравнение пространственного распределения результатов двух вариантов расчета композитного показателя, построенного на основе сочетания антропогенных и природно-антропогенных территориальных детерминант, позволил выполнить ранжирование биогеоценозов водосбора озер по отношению к условиям изменения биоразнообразия. В случае воздействия только антропогенных факторов оценочные категории довольно равномерно распределяются по водосбору, при природно-антропогенном характере воздействий преобладают биогеоценозы в которых складывается ситуация с «наиболее слабой» – «слабой» и «относительно сильной» опасностью потери разнообразия. «Сильный» и «наиболее сильный» характер опасности проявляется лишь в 21% биогеоценозов, а в случае антропогенной опасности уже в 42% случаев. Как следует из рассмотренного примера, вклад в угрозу снижения биоразнообразия вносят как природно-антропогенные, так и антропогенные факторы, причем последние имеют тенденцию к увеличению и преобладанию над первыми. Этот факт находит подтверждение в работе [Yang et al., 2020].

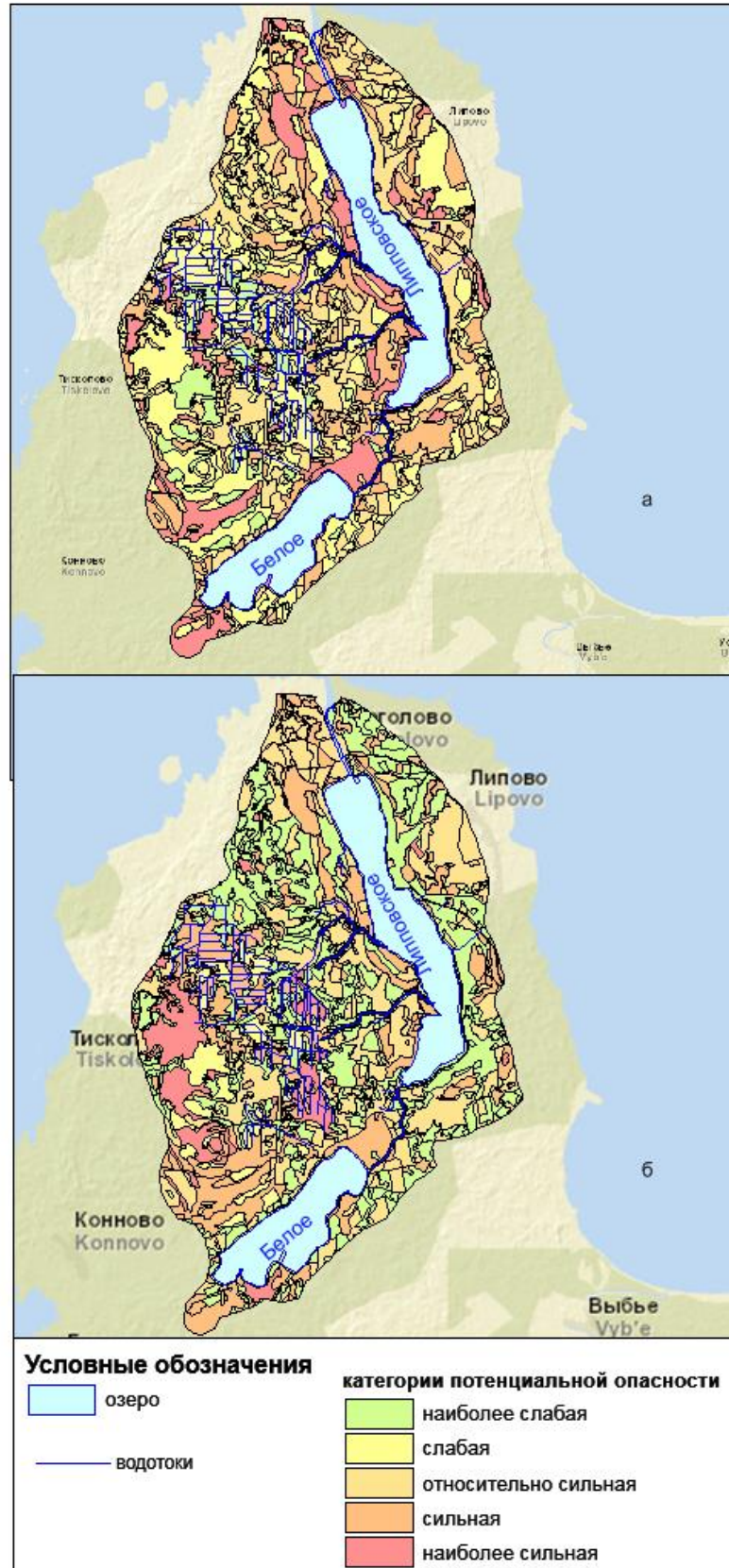


Рис. 2. Ранжирование водосборов озер по потенциальной опасности антропогенных (а) и природно-антропогенных (б) факторов утраты биоразнообразия биогеоценозами
Fig. 2. Ranking of the lake catchment area by the potential danger of anthropogenic (a) and natural-anthropogenic (b) factors of loss of biodiversity of biogeocenoses

К западу от озера Липповское (рис. 2а) на участке развития мелиоративной системы доминирование антропогенного фактора менее показательно. Здесь степень его опасности для снижения биоразнообразия «слабая» и «очень слабая». Лишь на границах этой области, на отдельных участках, проявляется очень высокая степень опасности утраты биоразнообразия. По всей видимости, мелиоративная система и заболоченность этой местности служат естественными барьерами для влияния антропогенных факторов.

Участки водосбора (рис. 2б) с наиболее сильной степенью опасности влияния природно-антропогенных факторов имеют менее широкое распространение. Главным образом угроза биоразнообразию биоценозов наиболее сильно проявляется на западной границе водосбора. В восточной части влияние природно-антропогенных факторов проявляется менее заметно.

Повсеместно встречаются участки, где антропогенные и природно-антропогенные факторы близки по степени опасности утраты биоразнообразия биогеоценозов.

ВЫВОДЫ

Исследование и интегральная оценка факторов потенциальной опасности биогеоценозам является важной составной частью решения проблемы сохранения биоразнообразия. Такие работы должны носить системный характер и проводиться с учетом сложности и многоаспектности объектов и предметов исследования, сочетания природно-антропогенных и антропогенных факторов и выявления интегративных свойств сложных систем в целом. Более того, для понимания возможных последствий необходимо учитывать важность и соотносить весомость угроз для биоразнообразия. Согласно полученным результатам и в отличие от ранее проводимых работ [Godínez-Gómez *et al.*, 2020], в рассмотренных примерах учитывается влияние инвазивных видов; с учетом анализа *ниж*-информации (неполной, неточной, нечисловой) вводятся весовые коэффициенты. На примере оценки потенциальной опасности биоразнообразию водосборных бассейнов показано, как влияние различных факторов сказывается на пространственной неоднородности угроз биоразнообразию. Полученные результаты могут служить отправной точкой для работ по сохранению биоразнообразия биогеоценозов Кургальского заказника в целом.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за поддержку исследований в рамках выполнения гранта РФФИ № 19-05-00683 А, а также Институту наук о Земле СПбГУ за помощь в организации работ.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to the Russian Foundation of Basic Research for supporting the studies on sustainability assessment within the framework of the RFBR grant No. 19-05-00683 A as well as to the Institute of Earth Sciences of St. Petersburg State University for assistance in organizing the works.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амаро Медина Д.Р., Дмитриев В.В. Интегральная оценка экологического благополучия речных систем. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 2019. № 64 (2). С. 162–184. DOI: 10.21638/spbu07.2019.201.
2. Глазкова Е.А., Гимельбрант Д.Е., Степанчикова И.С., Доронина А.Ю., Гинзбург Э.Г., Потемкин А.Д., Дорошина Г.Я., Андреев М.П. Ценные ботанические

- объекты заказника «Кургальский» (Ленинградская область). 1. Редкие и охраняемые виды. Труды КарНЦ РАН, 2018. № 8. С. 37–60.
3. Глазкова Е.А., Ликсакова Н.С., Гимельбрант Д.Е., Доронина А.Ю., Степанчикова И.С., Гинзбург Э.Г., Потемкин А.Д. Ценные ботанические объекты заказника «Кургальский» (Ленинградская область). 2. Леса, болота, луга. Труды КарНЦ РАН, 2019. № 8. С. 44–61.
 4. Глазкова Е.А., Ликсакова Н.С., Доронина А.Ю., Гимельбрант Д.Е., Степанчикова И.С., Гинзбург Э.Г., Потемкин А.Д. Ценные ботанические объекты заказника «Кургальский» (Ленинградская область). 3. Приморские, водные и прибрежно-водные биотопы. Заказник как ключевая ботаническая территория. Труды КарНЦ РАН, 2020. № 1. С. 5–16.
 5. Крижук С.Г., Теплякова Т.Е., Калибернова Н.М. Опыт анализа биоразнообразия бореальных экосистем на основе ГИС с использованием спутниковых данных (на примере Кургальского заказника). Региональная экология, 2011. № 1–2 (31). С. 30–42.
 6. Сергиенко В.Г. Разнообразие растительных сообществ и флоры заказника «Кургальский». Труды СпбНИИЛХ, 2013. № 3. С. 49–55.
 7. Смагин В.А., Галанина О.В. Болота Кургальского полуострова. Ботанический журнал. 2003. Т. 88. № 5. С. 71–92.
 8. Федорчук В.Н., Нешатаев В.Ю., Кузнецова М.Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России: Типология, динамика, хозяйственные особенности. СПб.: СпбНИИЛХ, 2005. 382 с.
 9. Хованов Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. 196 с.
 10. Шукин А.К. Экологический атлас заказника «Кургальский». СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. 90 с.
 11. De Bello Fr., Lavorel S., Gerhold P., Reier Ü., Pärtel M. A biodiversity monitoring framework for practical conservation of grasslands and shublands. Biological Conservation, 2010. V. 143. Iss. 1. P. 9–17.
 12. Dmitriev V.V., Terleev V.V., Nikonorov A.O., Ogurtsov A.N., Osipov A.G., Sergeyev Yu.N., Kulesh V.P., Fedorova I.V. Global Evaluation of the Status and Sustainability of Terrestrial Landscapes and Water Bodies. Landscape Modelling and Decision Support, Innovations in Landscape Research. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 231–253. DOI: 10.1007/978-3-030-37421-1_12.
 13. Godínez-Gómez O., Schank C., Mas J-F., Mendoza E. An integrative analysis of threats affecting protected areas in a biodiversity stronghold in Southeast Mexico, Global Ecology and Conservation, 2020. V. 24. e01297. DOI: 10.1016/j.gecco. 2020.e01297.
 14. Spangenberg J.H. Biodiversity pressure and the driving forces behind. Ecological Economics, 2007. V. 61. Iss. 1. P. 146–158.
 15. Tropek R., Hejda M., Kadlec T., Spitzer L. Local and landscape factors affecting communities of plants and diurnal Lepidoptera in black coal spoil heaps: Implications for restoration management. Ecological Engineering, 2013. V. 57. P. 252–260.
 16. Yang S., Li C., Lou H., Wang P., Wu X., Zhang Y., Zhang J., Li X. Role of the countryside landscapes for sustaining biodiversity in karst areas at a semi centennial scale. Ecological Indicators, 2021. V. 123. 107315. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107315.

REFERENCES

1. Amaro Medina D.R., Dmitriev V.V. Approaches to assessment and GIS-mapping of sustainability and environmental well-being of geosystems. Integral assessment of ecological

- status of fluvial systems. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 2019. V. 64. No 2. P. 162–184. DOI: 10.21638/spbu07.2019.201 (in Russian).
2. *De Bello Fr., Lavorel S., Gerhold P., Reier Ü., Pärtel M.* A biodiversity monitoring framework for practical conservation of grasslands and shublands. *Biological Conservation*, 2010. V. 143. Iss. 1. P. 9–17.
 3. *Dmitriev V.V., Terleev V.V., Nikonorov A.O., Ogurtsov A.N., Osipov A.G., Sergeev Yu.N., Kulesh V.P., Fedorova I.V.* Global Evaluation of the Status and Sustainability of Terrestrial Landscapes and Water Bodies. *Landscape Modelling and Decision Support, Innovations in Landscape Research*. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 231–253. DOI: 10.1007/978-3-030-37421-1_12.
 4. *Fedorchuk V.N., Neshataev V.Yu., Kuznetsova M.L.* Forest ecosystems of the north-western regions of Russia: Typology, dynamics, forest management features. St-Petersburg, 2005. 382 p. (in Russian).
 5. *Glazkova E.A., Gimel'brant D.E., Stepanchikova I.S., Doronina A.Yu., Ginzburg E.G., Potemkin A.D., Doroshina G.Ya., Andreev M.P.* Valuable botanical objects of the Kurgalsky Nature Reserve (Leningrad Region). 1. Rare and protected species. *Trans. KarRC RAS*, 2018. No 8. P. 37–60 (in Russian).
 6. *Glazkova E.A., Liksakova N.S., Doronina A.Yu., Himelbrant D.E., Stepanchikova I.S., Ginzburg E.G., Potemkin A.D.* Valuable botanical objects of the Kurgalsky nature reserve (Leningrad region). 3. Coastal, aquatic and semiaquatic biotopes of high conservation value. The Kurgalsky reserve as an important plant area. *Trans. KarRC RAS*, 2020. No 1. P. 5–16 (in Russian).
 7. *Glazkova E.A., Liksakova N.S., Gimel'brant D.E., Doronina A.Yu., Stepanchikova I.S., Ginzburg E.G., Potemkin A.D.* Valuable botanical objects of the Kurgalsky Nature Reserve (Leningrad Region). 2. Forests, mires, grasslands of high conservation value. *Trans. KarRC RAS*, 2019. No 8. P. 44–61 (in Russian).
 8. *Godínez-Gómez O., Schank C., Mas J-F., Mendoza E.* An integrative analysis of threats affecting protected areas in a biodiversity stronghold in Southeast Mexico. *Global Ecology and Conservation*, 2020. V. 24. e01297. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01297>.
 9. *Hovanov N. V.* Analysis and synthesis of indicators at information deficiency. St. Petersburg: St. Petersburg State University Press, 1996. 196 p. (in Russian).
 10. *Kritsuk S.G., Teplyakova T.E., Kalibernova N.M.* Experience in analyzing the biodiversity of boreal ecosystems based on GIS using satellite data (on the example of the Kurgalsky Nature Reserve). *Regional Ecology*, 2011. No 1–2 (31). P. 30–42 (in Russian).
 11. *Schukin A.K.* Ecological atlas of the Kurgalsky Nature Reserve. St. Petersburg: St. Petersburg State University Press, 2007. 90 p. (in Russian).
 12. *Sergienko V.G.* Diversity of plant communities and flora in reserve "Kurgalskyi". *Proceeding of the Saint Petersburg Forestry research institute*, 2013. No 3. P. 49–55 (in Russian).
 13. *Smagin V.A., Galanina O.V.* Mires of Kurgalsky peninsula. *Bot. zhurn.*, 2003. V. 88. No 5. P. 71–92 (in Russian).
 14. *Spangenberg J.H.* Biodiversity pressure and the driving forces behind. *Ecological Economics*, 2007. V. 61. Iss. 1. P. 146–158.
 15. *Tropek R., Hejda M., Kadlec T., Spitzer L.* Local and landscape factors affecting communities of plants and diurnal Lepidoptera in black coal spoil heaps: Implications for restoration management. *Ecological Engineering*, 2013. V. 57. P. 252–260.
 16. *Yang S., Li C., Lou H., Wang P., Wu X., Zhang Y., Zhang J., Li X.* Role of the countryside landscapes for sustaining biodiversity in karst areas at a semi centennial scale. *Ecological Indicators*, 2021. V. 123. 107315. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107315.