

ISSN 0869-6071

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО



# ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

январь–март

Том 155. Вып. 1

2023



# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

Том 155, номер 1, 2023

---

---

Применение геоморфометрического метода при исследовании рельефа дна Ладожского озера <i>А. О. Аксенов</i>	3
Разработка русловых карьеров в подвижных руслах рек: реакция, последствия и перспективы <i>К. М. Беркович, Л. В. Злотина, Л. А. Турыкин</i>	13
Геохимическая характеристика инфильтрационных отложений Кунгурской ледяной пещеры (Предуралье) <i>Н. В. Лаврова</i>	21
Индустриальное пространство российских регионов в системе “центр–периферия” <i>М. А. Макушин, К. В. Демидова, М. Д. Горячко</i>	30
Возможность использования современных методов и данных для исследования пространственной структуры Санкт-Петербургской агломерации <i>С. С. Лачининский, И. А. Логвинов, И. С. Сорокин</i>	43
Научное сопровождение рекультивации овражных форм рельефа острова Ольхон <i>С. В. Солодянкина, Ю. В. Вантеева, М. Ю. Опекунова, А. А. Рыбченко, Е. А. Козырева, О. А. Мазаева, Т. И. Знаменская, А. А. Юрьев</i>	59
О выделении геологических памятников регионального значения главного девонского поля <i>М. Г. Цинкобурова, Л. П. Норова</i>	73

---

---

---

---

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РЕЛЬЕФА ДНА ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

© 2023 г. А. О. Аксенов<sup>a, b, c, \*</sup>

<sup>a</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>b</sup>ФГБУ “Арктический и антарктический научно-исследовательский институт”, Санкт-Петербург, Россия

<sup>c</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: aksenov2801@gmail.com

Поступила в редакцию 31.01.2023 г.

После доработки 19.04.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

В данном исследовании приведены результаты морфологического анализа рельефа дна Ладожского озера. Для этого была выполнена полуавтоматическая инструментальная классификация цифровой батиметрической модели озера с использованием геоморфометрических параметров. В качестве классификаторов использованы индекс батиметрической позиции и уклон дна. Основываясь на этих показателях, были выделены 8 видов поверхностей, которые были отображены на морфологической схеме. На полученной схеме четко выражены равнины, склоны, а также линейные положительные (гряды, возвышенности) и отрицательные (ложбины, впадины) формы. По сочетанию этих элементов выделяются 3 зоны, соответствующие морфоструктурным районам Ладожского озера: Южно-Ладожская, Центрально-Ладожская и Северо-Ладожская. Различия этих зон зависят как от геологического строения коренных пород, так и от экзогенных геоморфологических факторов позднего неоплейстоцена (ледниковые, ледниково-озерные процессы). Предложенный метод демонстрирует свою объективность при исследовании сильно дифференцированного рельефа дна Ладожского озера.

*Ключевые слова:* Ладожское озеро, геоморфометрия, цифровая батиметрическая модель, индекс батиметрической позиции, субаквальная геоморфология

**DOI:** 10.31857/S0869607123010020, **EDN:** AARWHA

### ВВЕДЕНИЕ

Со второй половины XX века Ладожское озеро стало объектом интенсивных геологических исследований. За последние 70 лет было опубликовано большое количество работ по геологическому строению [1, 2, 4], строению и происхождению четвертичных отложений [9, 10, 15], литологии донных осадков [9]. Большое внимание уделяется и рельефу дна озера. В том числе, в Институте Озероведения СПб ФИЦ РАН была создана цифровая батиметрическая модель Ладожского озера [8, 14]. Это позволило привлечь геоморфометрические методы для изучения морфологии дна.

Геоморфометрия – относительно новое направление в науках о рельефе. Ее суть заключается в представлении земной поверхности как матрицы высот, где каждой ячейке соответствует значение высоты. Применение математических преобразований позволяет извлечь из таких матриц (гридов) различные морфометрические параметры,

**Таблица 1.** Характеристики цифровой батиметрической модели Ладожского озера  
**Table 1.** Lake Ladoga digital bathymetric model characteristics

Количество ячеек	90548
Максимальная глубина, м	–214.88
Максимальная высота, м	29.16
Среднее значение, м	–35.78
Медиана значений, м	–23.63

такие как уклон, экспозиция, кривизна. Геоморфометрические методы широко применяются при геоморфологических, гидродинамических и ландшафтных исследованиях водоемов [12]. Цель данной работы – анализ морфологии рельефа дна Ладожского озера с использованием полуавтоматической инструментальной классификации цифровой модели на основе вычисления геоморфометрических параметров, таких как индекс батиметрической позиции и уклон.

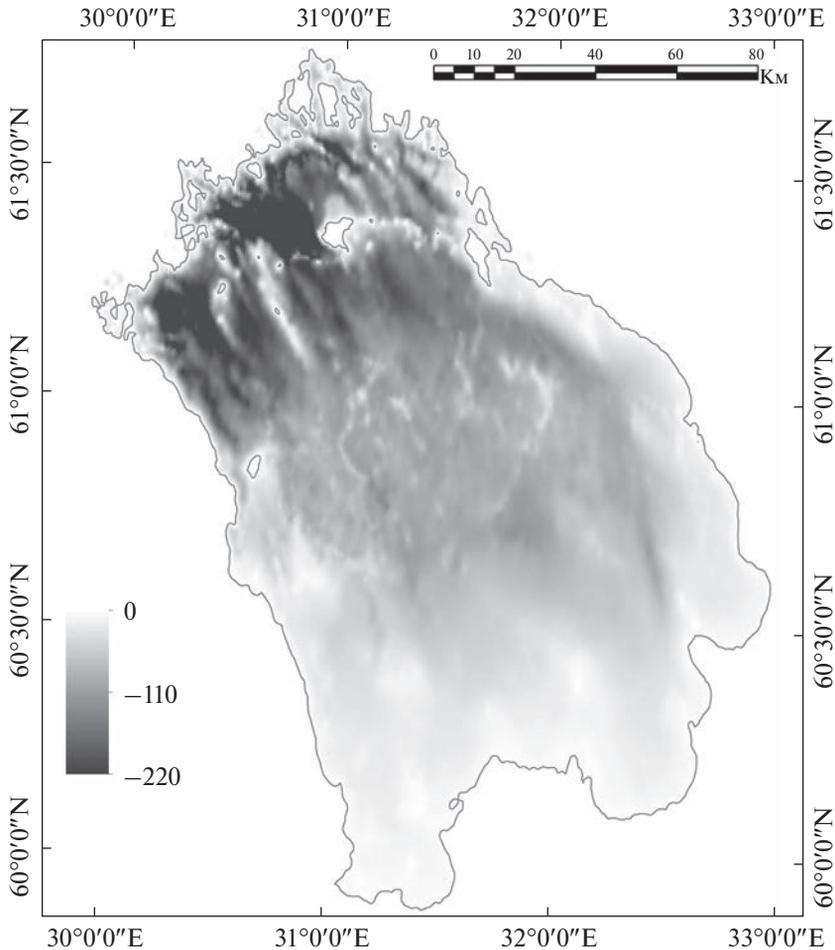
Ладожское озеро (61° с.ш., 31° в.д.) является самым крупным пресноводным водоемом Европы с площадью 17765.4 км<sup>2</sup> и объемом 847.8 км<sup>3</sup>, максимальная глубина – 233 м [14]. Оно расположено на контакте Восточно-Европейской платформы и Балтийского кристаллического щита. Рельеф дна предопределен морфоструктурой озера: плоская южная часть котловины озера сложена моноклинально залегающими осадочными породами позднего венда – раннего кембрия, северная расчлененная – сложно дислоцированными метаморфическими и кристаллическими породами архея – раннего рифея [2]. Четвертичный покров представлен отложениями позднего неоплейстоцена-голоцена: в подошве разреза залегают ледниковые и флювиогляциальные отложения поздневалдайского оледенения, которые перекрываются ледниково-озерными ленточными глинами поздневалдайских приледниковых водоемов и голоценовыми озерными илами [6].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исходных данных использована цифровая батиметрическая модель Ладожского озера Науменко М.А. [8] (рис. 1). Модель создана на основе интерполяции значений глубины с разномасштабных батиметрических карт. Она представляет собой двумерный грид значений глубины (м) с размером ячейки 500 × 500 м. Создание модели выполнено в программном обеспечении Surfer Golden Software. Информация о характеристиках модели представлена в табл. 1.

Морфологический анализ заключался в выделении и описании элементарных поверхностей рельефа дна. Для этого был использован метод Э. Лундبلاد и соавторов [13], который заключается в классификации модели с помощью крупно- и мелкомасштабного индекса батиметрической позиции (ИБП) и уклона. Использование индекса батиметрической позиции при классификации морфологии Ладожского озера обусловлено особенностями рельефа этого водоема. Контрастность поверхности дна (южная часть плоская и мелкая, северная – расчлененная и глубокая) не позволяет применять другие морфометрические параметры, такие как вертикальная расчлененность, шероховатость, относительная рельефность (разброс значений высоты в заданном окне) [12].

Изначально, индекс топографической позиции был разработан для геоморфологического картирования горных территорий [17]. Этот показатель позволяет сравнить значение ячейки грида со средним значением окрестности в определенном радиусе (рис. 2). Если значение ячейки больше среднего (положительное), то эта ячейка расположена выше относительно заданной окрестности. При отрицательных значениях, соответственно ниже. Значения, близкие к 0 представляют собой либо равнинные

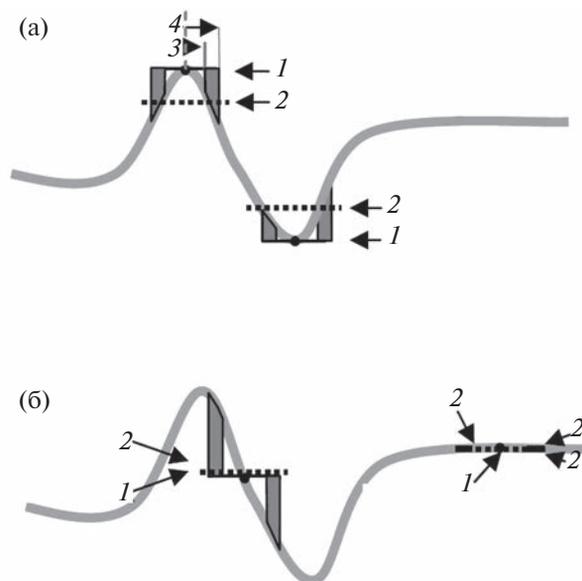


**Рис. 1.** Цифровая батиметрическая модель Ладожского озера.

**Fig. 1.** Lake Ladoga digital bathymetric model.

участки, либо склоны с постоянным углом наклона. Сочетание индекса и уклона позволило классифицировать горный рельеф и выделить такие элементы как каньоны, гряды, равнины, склоны и т.д. [17]. Лундبلاد и соавторы [13] адаптировали этот индекс под изучение субаквальных ландшафтов.

В данном исследовании классификация цифровой модели выполнена в ArcMap 10.8 ESRI. Автором был использован инструмент Benthic Terrain Modeler [16]. Для классификации используются значения уклона, а также крупно- и мелкомасштабного ИБП. Различные вариации индекса требуются для выделения как мелких (с крупномасштабным индексом) (рис. 3а), так и крупных (с мелкомасштабным индексом) (рис. 3б) форм. Для вычисления индекса подбираются два радиуса окрестности, ее ограничивающие – внутренний и внешний (рис. 2). Значение ячейки грида сравнивается с ячейками в пределах этих радиусов. Для вычисления крупномасштабного ИБП значение внутреннего радиуса равно 2 ячейкам, значение внешнего – 5. Для мелкомасштабного индекса внутренний радиус равен 12, внешний – 24. Затем мето-



**Рис. 2.** Схема определения индекса топографической позиции по [17]: а – случай, при котором значения индекса значительно отличаются от 0 (значение высоты в точке больше или меньше среднего значения высоты в окрестности); б – случай, при котором значения индекса близки к 0 (значение высоты в точке равно среднему значению высоты в окрестности). 1 – значение высоты в точке; 2 – значение высоты в окрестности; 3 – внутренний радиус окрестности; 4 – внешний радиус окрестности.

**Fig. 2.** Schematic explanation of topographic position index [17]: а – the case when index values differ significantly from 0 (elevation is higher or lower than mean elevation neighborhood); б – the case when index values are close to 0 (elevation is equal to mean elevation neighborhood). 1 – elevation at point; 2 – mean elevation neighborhood; 3 – neighborhood inner radius; 4 – neighborhood outer radius.

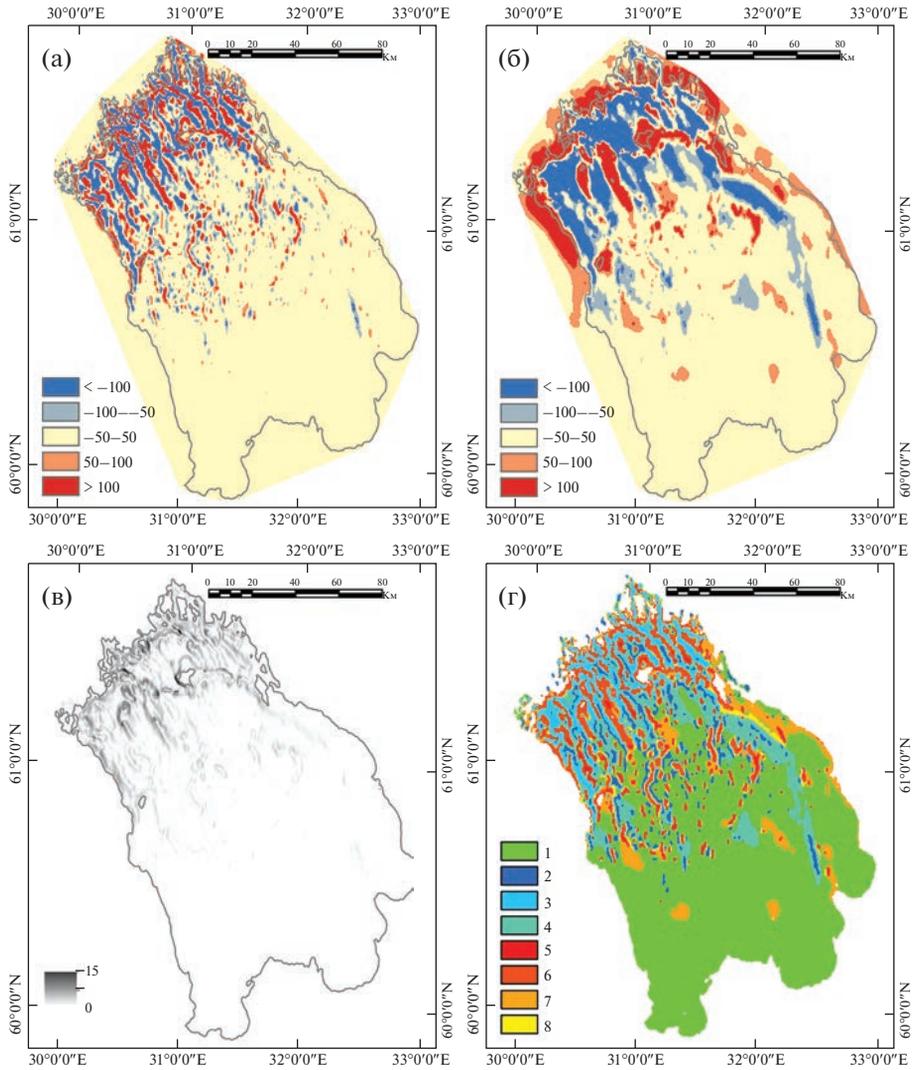
дом скользящего окна выполняется расчет ИБП для всей цифровой модели. После этого значения индекса приводятся к стандартизированной по среднеквадратичному отклонению ( $\sigma$ ) шкале (табл. 2). Уклон поверхности ( $^{\circ}$ ) рассчитан с помощью инструмента ArcMap Slope как первая производная от высоты (глубины) (рис. 3в).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Автором данной работы на основе сочетания индекса батиметрической позиции и уклона разработана классификация поверхностей дна Ладожского озера. Эти поверх-

**Таблица 2.** Стандартизированная шкала ИБП  
**Table 2.** Standardized scale of bathymetric position index

Ст. ИБП	Значения $\sigma$	Интерпретация
$< -100$	$< -\sigma$	Наиболее низко расположенные поверхности
$-100 \dots -50$	$-\sigma \dots -0.5\sigma$	Нижние поверхности
$-50 \dots 50$	$-0.5\sigma \dots 0.5\sigma$	Нейтрально расположенные поверхности
$50 \dots 100$	$0.5\sigma \dots \sigma$	Верхние поверхности
$> 100$	$> \sigma$	Наиболее высоко расположенные поверхности



**Рис. 3.** а – распределение значений крупномасштабного индекса батиметрической поверхности,  $\sigma$ ; б – распределение значений мелкомасштабного индекса батиметрической поверхности,  $\sigma$ ; в – распределение значений уклона,  $^{\circ}$ ; г – схема морфологических поверхностей.

**Fig. 3.** а – fine-scale bathymetric position index distribution,  $\sigma$ ; б – broad-scale bathymetric position index distribution,  $\sigma$ ; в – slope values distribution,  $^{\circ}$ ; г – morphological surfaces scheme.

ности отличаются друг от друга по относительной позиции (верхние, нижние) и по уклону (склоновые, субгоризонтальные). Благодаря небольшому радиусу окна крупномасштабного ИБП выделяются относительно узкие поверхности с большим значением модуля индекса батиметрической позиции ( $|\text{ст. ИБП}| > 50$ ), которые были классифицированы как гребневые поверхности гряд (положительные значения ИБП) и килевые поверхности ложбин (отрицательные значения ИБП). Всего было классифицировано 8 видов поверхностей (табл. 3). Сочетая эти поверхности, выделяются такие

**Таблица 3.** Классификация морфологических поверхностей. Условные обозначения: 1 – вид поверхности; 2 – нижний предел мелкомасштабного стандартизированного индекса батиметрической позиции; 3 – верхний предел мелкомасштабного стандартизированного индекса батиметрической позиции; 4 – нижний предел крупномасштабного стандартизированного индекса батиметрической позиции; 5 – верхний предел крупномасштабного стандартизированного индекса батиметрической позиции; 6 – нижний предел уклона; 7 – верхний предел уклона

**Table 3.** Classification of morphological surfaces. Legend: 1 – surface type; 2 – low value of fine-scale standardized bathymetric position index; 3 – high value of fine-scale bathymetric position index; 4 – low value of broad-scale bathymetric position index; 5 – high value of broad-scale bathymetric position index; 6 – low value of slope; 7 – high value of slope

1	2	3	4	5	6	7
Равнины	–50	50	–50	50	0	1
Днища впадин				–50	0	1
Килевые поверхности ложбин				–50	1	
Склоны впадин и ложбин		–50		50	1	
Вершины возвышенностей			50		0	1
Гребневые поверхности гряд			50		1	
Склоны гряд и возвышенностей	50				1	
Склоны с постоянным уклоном					1	

**Таблица 4.** Распределение поверхностей

**Table 4.** Surfaces distribution

Поверхность	Суммарная площадь, км <sup>2</sup>	Доля суммарной площади, %
Равнины	10086.8	56.92
Днища впадин	899.73	5.08
Килевые поверхности ложбин	1502.09	8.48
Склоны впадин и ложбин	1619.88	9.14
Вершины возвышенностей	560.92	3.17
Гребневые поверхности гряд	1312.05	7.40
Склоны гряд и возвышенностей	1223.33	6.90
Склоны с постоянным уклоном	515.09	2.91
Всего	17719.89	100

элементарные формы как равнины, впадины, ложбины, гряды, возвышенности, склоны (рис. 3г).

В табл. 4 представлено распределение выделенных поверхностей. Как следует из этой таблицы, наиболее распространенным элементом дна Ладожского озера являются равнинные поверхности (56.92%). Доля же субгоризонтальных поверхностей в целом составляет 65.17%, в то время как склоновых поверхностей (с уклоном более 1°) – 34.83%. Доля отрицательных форм рельефа (впадины и ложбины) – 22.70%, положительных (гряды и возвышенности) – 17.47%, форм, занимающих нейтральное положение – 59.83%.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По морфологии дна в Ладожском озере выделяются 3 зоны, соответствующие морфоструктурным районам [7]: Северо-Ладожскому, Центральнo-Ладожскому и Южно-Ладожскому. Южно-Ладожская зона представляет собой пологую равнину на глуби-

нах от 0 до 50 м. На ней выделяются несколько возвышенностей, высота этих положительных форм достигает 15 м. Эта зона является областью распространения ледниково-озерных отложений [15], а залегает она на породах осадочного чехла [2]. Эти факторы и повлияли на морфологию южной части Ладожского озера.

Морфология Центрально-Ладожской зоны более разнообразна. В целом, она представляет собой равнинную поверхность на глубинах от 50 до 80–100 м, но при этом осложненную мезомасштабными положительными и отрицательными линейными формами. Высота положительных форм составляет 5–30 м. Выделяются два типа таких форм: длинные, вытянутые, высокие (20–30 м) гряды, и короткие невысокие гряды (5–10 м). Глубина отрицательных форм (ложбин) – около 5–15 м. Все линейные формы имеют северо-западную, северную и северо-восточную ориентировку. А.В. Амантовым [3] в этой области установлено существование ледниковых форм рельефа. Предполагается, что эти линейные элементы и являются ледниковыми морфоскульптурами поздневалдайского оледенения. Кроме того, вдоль восточного края Центрально-Ладожской зоны выделяется крупная дугообразная впадина. Глубина впадины увеличивается от 15 до 30 м (с юга на север), а ширина – от 2 до 10 км.

Северо-Ладожская зона представляет собой совокупность линейно вытянутых положительных форм (гряд и возвышенностей) северо-западной ориентировки, чередующихся с отрицательными формами (впадинами и ложбинами). Перепады глубин составляют от 20 до 80 м. Наиболее крупная гряда (Воссинансаарская) расположена примерно в центре Северо-Ладожской зоны. Ее относительная высота достигает 140 м. Наиболее глубокие впадины наблюдаются вдоль северного борта котловины, днища которых залегают на глубинах больше 200 м. Также фиксируются некоторые различия между западной и восточной частями зоны. В западной части линейные формы имеют более извилистый в плане облик, при этом характеризуются большой шириной – от 3 до 8 км. В восточной, напротив, линейные формы прямые, а их ширина достигает 3–4 км в среднем. Кроме того, в восточной половине выделяется группа возвышенностей, имеющих северо-восток-восточную ориентировку. Они формируют острова Валаамского архипелага. Высота этих поднятий достигает 100 м. Морфология северо-ладожской зоны отражает сложную дислоцированную природу залегания пород Балтийского кристаллического щита с разломными тектоническими нарушениями и выходами силлов и даек [2].

Сравнивая полученную схему с аналогами, выполненными при помощи визуального анализа ЦМР [5], мы можем прийти к выводу, что положение элементов донной поверхности весьма хорошо коррелируется. Особенно заметно сходство положения линейных отрицательных и положительных форм. Тем не менее, использование ГИС-технологий позволяет минимизировать человеческий фактор и занимает гораздо меньше времени для анализа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе, впервые для исследования Ладожского озера применен геоморфометрический подход. Выполненная на основе индекса батиметрической позиции и уклона классификация цифровой батиметрической модели дна позволяет охарактеризовать морфологию субаквального рельефа с высокой детальностью. По результатам морфологического анализа выделены 3 зоны, соответствующие морфоструктурным районам: Южно-Ладожская (пологие равнины), Центрально-Ладожская (равнины с малыми положительными и отрицательными линейными формами) и Северо-Ладожская (расчлененный грядово-ложбинный рельеф). Установлено, что основные черты рельефа связаны либо с морфоструктурным фактором (грядово-ложбинный рельеф северо-ладожской зоны), либо с морфоскульптурным (ледниковые гряды и эрозионные ложбины центрально-ладожской зоны, ледниково-озерные равнины южно-ла-

дожской зоны). Благодаря принципу вычисления индекса батиметрической позиции элементы морфологии рельефа хорошо определяются как на равнинных, пологих, так и на расчлененных с большими уклонами участках, что для Ладожского озера является принципиально важным фактором. Полученная схема может быть использована при геологических, геоморфологических, гидрологических, геоэкологических, ландшафтных исследованиях, может послужить основой для планирования точек донного пробоотбора и прочих видов исследований дна. Подобный метод может быть применен и для других водоемов юго-восточной периферии Балтийского кристаллического щита со схожим геологическим строением и историей развития (Онежское озеро, Белое море, Финский залив).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00319, <https://rscf.ru/project/23-24-00319/>.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амантов А.В. Этапы геологического развития Ладожского озер // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб: РГО. 1993. С. 5–12.
2. Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения. 2014. вып. 58. С. 22–32.
3. Амантов А.В., Амантова М.Г. Развитие котловины Ладожского озера с позиций ледниковой теории // Региональная геология и металлогения. 2014. вып. 59. С. 5–14.
4. Амантов А.В., Спиридонов М.А. Геология Ладожского озера // Советская Геология. 1989. вып. 4. С. 83–86.
5. Анохин В.М., Науменко М.А., Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Рыбакин В.Н. Геоморфологические особенности дна и берегов Ладожского озера // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. СПб: Российская академия наук. 2021. С. 151–164.
6. Беляев П.Ю., Рыбалко А.Е., Субетто Д.А. Геоморфология Ладожского озера. Новые данные // Астраханский вестник экологического образования. 2020. Т. 59. вып. 5. С. 142–154. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2020-19-5-142-154>
7. Мусатов Е.Е. Геоморфология // Геоэкология Ладожского озера. СПб: ВНИИ Океангеология. 1995. С. 36–43.
8. Науменко М.А. Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели // Изв. Российской академии наук. Серия географическая. 2013. № 1. С. 62–72. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-62-72>
9. Семенович Н.И. Донные отложения Ладожского озера. Л.: Наука, 1966. 124 с.
10. Andreev A.A., Shumilovskikh L.S., Savelieva L.A., Gromig R., Fedorov G.B., Ludikova A., Wagner B., Wennrich V., Brill D., Melles M. Environmental conditions in northwestern Russia during MIS 5 inferred from the pollen stratigraphy in a sediment core from Lake Ladoga // *Boreas*. 2019. V. 48. № 2. P. 377–386. <https://doi.org/10.1111/bor.12382>
11. Gromig R., Wagner B., Wennrich V., Fedorov G., Savelieva L., Lebas E., Krastel S., Brill D., Andreev A., Subetto D., Melles M. Deglaciation history of Lake Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments // *Boreas*. 2019. V. 48. № 2. P. 330–348. <https://doi.org/10.1111/bor.12379>
12. Lecours V., Dolan M.F.J., Micallef A., Lucieer V.L. A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2016. V. 20. № 8. P. 3207–3244. <https://doi.org/10.5194/hess-20-3207-2016>
13. Lundblad E.R., Wright D.J., Miller J., Larkin E.M., Rinehart R., Naar D.F., Donahue B.T., Anderson S.M., Battista T.A. Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa // *Marine Geodesy*. 2006. V. 29. № 2. P. 89–111. <https://doi.org/10.1080/01490410600738021>
14. Naumenko M.A. Lake Ladoga Digital Bathymetric Models: Development Approaches and Insight for Limnological Investigations // *Limnological Review*. 2020. V. 20. № 2. P. 65–80. <https://doi.org/10.2478/limre-2020-0008>
15. Subetto D.A., Davydova N.N., Rybalko A.E. Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1998. V. 140. P. 113–119.
16. Walbridge S., Slocum N., Pobuda M., Wright D.J. Unified Geomorphological Analysis Workflows with Benthic Terrain Modeler // *Geosciences*. 2018. V. 94. № 8. P. 1–24. <https://doi.org/10.3390/geosciences8030094>
17. Weiss A.D. Topographic positions and landforms analysis // *ESRI International User Conference*. San Diego, USA. 2001.

**Geomorphometric Methods Application for Lake Ladoga Bottom Morphology Investigation****A. O. Aksenov<sup>1, 2, 3, \*</sup>**<sup>1</sup>*Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia*<sup>2</sup>*FSBI "Arctic and Antarctic research institute", Saint-Petersburg, Russia*<sup>3</sup>*Russian Geological Research Institute (VSEGEI), Saint-Petersburg, Russia**\*E-mail: aksenov2801@gmail.com*

**Abstract**—In present research results of Lake Ladoga bottom morphology analysis are presented. Semi-automated instrumental classification of digital bathymetric model with application of geomorphometric parameters was executed to achieve the goal. Bathymetric position index and slope were used as classifiers. As a result, 8 types of surfaces were distinguished, which were mapped on the morphological scheme. Plains, slopes and linear top (ridges, heights) and bottom (hollows, depressions) were distinguished. Combinations of such elements allow to contour 3 zones which correlate to morphostructural areas: South-Ladoga, Central-Ladoga, North-Ladoga. Differences of these zones depend on both lake's basin geological structure and exogenous factors of Late-Pleistocene-Holocene (glacial, glacial lacustrine processes). The suggested approach proves high efficiency for Lake Ladoga greatly variable morphology study.

**Keywords:** Lake Ladoga, geomorphometry, digital bathymetric model, bathymetric position index, subequal geomorphology

## REFERENCES

1. *Amantov A.V.* Jetapy geologicheskogo razvitiya Ladozhskogo ozer // Jevoljucija prirodnyh obstanovok i sovremennoe sostojanie geosistemy Ladozhskogo ozero. SPb: RGO. 1993. S. 5–12.
2. *Amantov A.V.* Geologija dochetvertichnyh obrazovanij i tektonika Ladozhskogo ozero // Regional'naja geologija i metallogenija. 2014. vyp. 58. S. 22–32.
3. *Amantov A.V., Amantova M.G.* Razvitie kotloviny Ladozhskogo ozero s pozicij lednikovoj teorii // Regional'naja geologija i metallogenija. 2014. vyp. 59. S. 5–14.
4. *Amantov A.V., Spiridonov M.A.* Geologija Ladozhskogo ozero // Sovetskaja Geologija. 1989. vyp. 4. S. 83–86.
5. *Anohin V.M., Naumenko M.A., Dudakova D.S., Dudakov M.O., Rybakin V.N.* Geomorfologicheskie osobennosti dna i beregov Ladozhskogo ozero // Sovremennoe sostojanie i problemy antropogennoj transformacii jekosistemy Ladozhskogo ozero v uslovijah izmenjajushhegosja klimata. SPb: Rossijskaja akademija nauk. 2021. S. 151–164.
6. *Beljaev P.Ju., Rybalko A.E., Subetto D.A.* Geomorfologija Ladozhskogo ozero. Novye dannye // Astrahanskij vestnik jekologicheskogo obrazovanija. 2020. T. 59. vyp. 5. S. 142–154. <https://doi.org/10.36698/2304-5957-2020-19-5-142-154>
7. *Musatov E.E.* Geomorfologija // Geojekologija Ladozhskogo ozero. SPb: VNIIOkeangeologija. 1995. S. 36–43.
8. *Naumenko M.A.* Analiz morfometricheskikh harakteristik podvodnogo rel'efa Ladozhskogo ozero na osnove cifrovoj modeli // Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Serija geograficheskaja. 2013. № 1. S. 62–72. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-62-72>
9. *Semenovich N.I.* Donnye otlozhenija Ladozhskogo ozero. L.: Nauka, 1966. 124 s.
10. *Andreev A.A., Shumilovskikh L.S., Savelieva L.A., Gromig R., Fedorov G.B., Ludikova A., Wagner B., Wennrich V., Brill D., Melles M.* Environmental conditions in northwestern Russia during MIS 5 inferred from the pollen stratigraphy in a sediment core from Lake Ladoga // Boreas. 2019. Vol. 48. № 2. P. 377–386. <https://doi.org/10.1111/bor.12382>
11. *Gromig R., Wagner B., Wennrich V., Fedorov G., Savelieva L., Lebas E., Krastel S., Brill D., Andreev A., Subetto D., Melles M.* Deglaciation history of Lake Ladoga (northwestern Russia) based on varved sediments // Boreas. 2019. Vol. 48. № 2. P. 330–348. <https://doi.org/10.1111/bor.12379>
12. *Lecours V., Dolan M.F.J., Micallef A., Lucieer V.L.* A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor // Hydrology and Earth System Sciences. 2016. Vol. 20. № 8. P. 3207–3244. <https://doi.org/10.5194/hess-20-3207-2016>

13. *Lundblad E.R., Wright D.J., Miller J., Larkin E.M., Rinehart R., Naar D.F., Donahue B.T., Anderson S.M., Battista T.A.* Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa // *Marine Geodesy*. 2006. Vol. 29. № 2. P. 89–111.  
<https://doi.org/10.1080/01490410600738021>
14. *Naumenko M.A.* Lake Ladoga Digital Bathymetric Models: Development Approaches and Insight for Limnological Investigations // *Limnological Review*. 2020. Vol. 20. № 2. P. 65–80.  
<https://doi.org/10.2478/limre-2020-0008>
15. *Subetto D.A., Davydova N.N., Rybalko A.E.* Contribution to the lithostratigraphy and history of Lake Ladoga // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1998. Vol. 140. P. 113–119.
16. *Walbridge S., Slocum N., Pobuda M., Wright D.J.* Unified Geomorphological Analysis Workflows with Benthic Terrain Modeler // *Geosciences*. 2018. Vol. 94. № 8. P. 1–24.  
<https://doi.org/10.3390/geosciences8030094>
17. *Weiss A.D.* Topographic positions and landforms analysis // *ESRI International User Conference*. San Diego, USA. 2001.

## РАЗРАБОТКА РУСЛОВЫХ КАРЬЕРОВ В ПОДВИЖНЫХ РУСЛАХ РЕК: РЕАКЦИЯ, ПОСЛЕДСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

© 2023 г. К. М. Беркович<sup>а, \*</sup>, Л. В. Злотина<sup>а, \*\*</sup>, Л. А. Турыкин<sup>а, \*\*\*</sup>

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

\*E-mail: [berkovitch@yandex.ru](mailto:berkovitch@yandex.ru)

\*\*E-mail: [zleonora@yandex.ru](mailto:zleonora@yandex.ru)

\*\*\*E-mail: [filigorod@list.ru](mailto:filigorod@list.ru)

Поступила в редакцию 22.11.2022 г.

После доработки 20.03.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

На основе многолетних полевых и аналитических исследований рассмотрена реакция русел разных рек на один из видов механического воздействия на реки – разработку русловых карьеров. Выявлены характер и темпы реакции речных русел свободных и зарегулированных рек на добычу аллювия, степень нарушения морфологии русел и гидрологического режима рек. Цель работы: на основании общих принципов теории русловых процессов оценить возможности разработки русловых карьеров и допустимые габариты карьеров с целью минимизации неблагоприятного воздействия механического нарушения такого рода на русло и пойму рек.

*Ключевые слова:* русловые карьеры, глубинная эрозия, русловые процессы

**DOI:** 10.31857/S0869607123010032, **EDN:** HCVANJ

### ВВЕДЕНИЕ

Механические нарушения речного русла и в целом системы поток-русло подразумевают различные работы и сооружения, направленные на использование ресурсов реки в целях обеспечения потребностей человека: водоснабжения, получения энергии, судоходства, а также защиты среды обитания и жизнедеятельности человека от стихийных проявлений, связанных с гидрологическим режимом рек и русловыми процессами. Среди всего многообразия видов и практик механических нарушений выделяется деятельность по добыче строительных материалов из русел и пойм рек, которая развивается в течение нескольких десятилетий на многих реках по всему миру. Особенностью нарушений, сопутствующих этой деятельности, является сочетание механического изменения морфометрических характеристик русла и поймы с изъятием из природной среды материала. Добываемые песчано-гравийные материалы относятся к современному и древнему аллювию, который, в свою очередь, является важнейшим компонентом речной геосистемы. Разработка русловых карьеров, масштабы которой в мире огромны, оказывает большое влияние на динамику системы поток-русло, нарушая статистическую [7] устойчивость русла, сложившуюся в природе, что сказывается на экологическом благополучии рек и безопасном использовании рек человеком. Добыча аллювия из русловых карьеров служит пусковым механизмом развития необратимых процессов, приводящих неблагоприятным экологическим последствиям [6].

Аллювиальные пески и гравий широко используются в строительстве, потребность в них продолжает расти по крайней мере в последние 50–60 лет. Несмотря на широкое распространение этого вида деятельности, его последствия еще недостаточно изучены. Прежде всего это относится к распространению реакции системы поток-русло по длине реки. Механизм воздействия руслового карьера на реку заключается в следующем. В ходе изъятия аллювия на дне реки и реже на части прирусловой отмели разрабатывается выемка, глубина которой в 2–3 раза превышает нормальную в плесах. Создание выемки оказывает немедленное воздействие на протекание руслового потока: увеличение уклона на верхней кромке выемки и уменьшение уклона и скорости течения в пределах выемки, которая становится “ловушкой” для наносов. Это приводит к возникновению направленных вертикальных деформаций что описано в целом ряде научных работ [14, 15, 17], причем выводы большей частью касаются сравнительно небольших рек с крупными гравийно-галечными наносами и большим уклоном. Деформации заключаются в регрессивной и трансгрессивной эрозии, распространяющейся по реке. Характерной чертой реакции на разработку карьера является то, что она распространяется намного шире, чем сам карьер, а время проявления последствий нарушения намного больше, чем время непосредственной разработки карьера. При этом данных о скорости распространения деформаций и их преобладающем виде обычно не приводится. В данной работе делается попытка исследовать характер и время распространения направленных деформаций на крупных реках России с песчано-гравийными наносами, находящихся в разных условиях, а также предложить способы регулирования и регламентации русловой добычи.

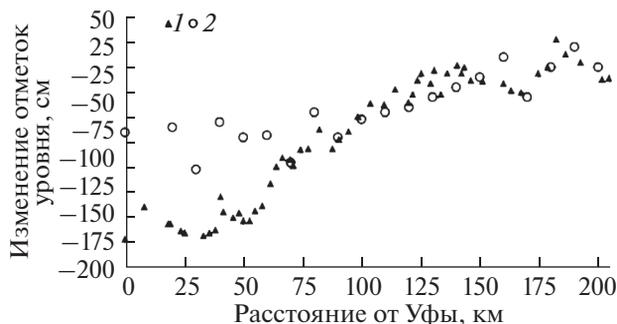
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой работы послужили многолетние полевые и аналитические исследования нескольких крупных рек России: Оби, Камы, Белой, Оки. Полевые работы включали в себя традиционные подробные батиметрические съемки русла на участках длиной в несколько десятков и сотен километров, нивелировки водной поверхности, опробывание донных наносов, измерения гидравлических элементов потока. Величины деформаций русла определялись путем сопоставления повторных съемок при помощи компьютерной программы Mapinfo. Трансформация водной поверхности выявлялась на основе сопоставления продольных профилей, полученных нивелировками с учетом данных Гидрометеослужбы. Параллельно на основе смещения песчаных гряд и аналитических формул вычислялись расходы руслообразующих наносов и транспортирующая способность потока; они сопоставлялись с объемами добычи, известными по материалам добывающих организаций.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

К рекам, русла которых глубоко изменены вследствие многолетней добычи руслового аллювия, относятся как зарегулированные средняя Кама и средняя Обь, так и свободные нижняя Тотьма, средний Иртыш, нижняя Белая, верхняя Ока. Как дальность распространения, так и темпы и вид трансформации русла различаются на разных реках. Сложность заключается в том, что объемные карьеры располагаются не в одной точке, а занимают часто большое пространство на реке, имеют разные размеры и частоту распространения (расстояния между ними).

На средней Каме русловые карьеры разрабатываются в нижнем бьефе Воткинского гидроузла, который вопреки изначальному проекту Волго-Камского каскада остался вне подпора, и поэтому последствия разработки карьеров проявились в виде усиления глубинной эрозии, свойственной нижним бьефам плотин: трансформация (понижение) продольного профиля дна и водной поверхности наибольшая у плотины и убывает вниз по течению по мере насыщения потока наносами, охватывая свободный уча-



**Рис. 1.** Понижение отметки водной поверхности р. Белой ниже Уфы: 1 – за 1962–1995 гг., 2 – за 1998–2018 гг.

**Fig. 1.** Belaya River water surface elevation lowering downstream of Ufa-city: 1 – in 1962–1995, 2 – in 1998–2018.

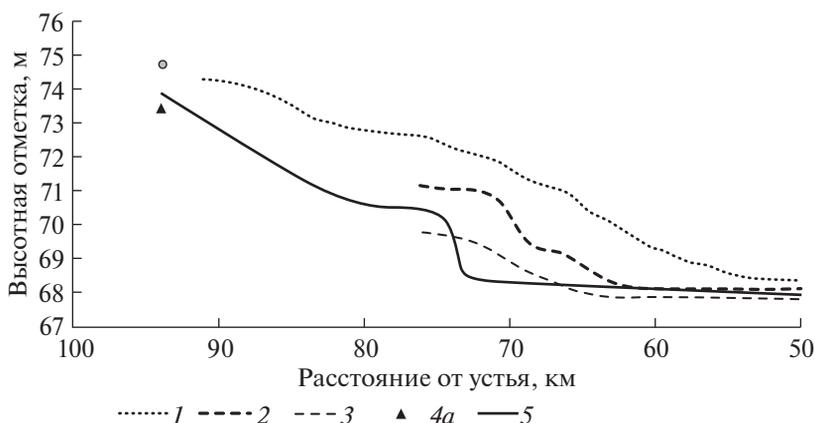
сток длиной около 50 км [2]. Этот вид трансформации продольного профиля обусловлен сильным ограничением транспорта наносов на фоне изменившегося режима стока воды. Понижение уровня у плотины, т.е. в вершине участка массовой добычи, составило около 1.6 м.

Аналогично развивались последствия добычи в нижнем бьефе Новосибирской плотины на р. Оби, где половина почти 2-метрового понижения уровня приходится на последствия добычи [3], а дальность распространения достигает 70 км вниз по течению от плотины, где оно убывает до 0.2–0.4 м. В целом развивается процесс трансгрессивной эрозии аналогично врезанию при поднятии верховьев реки с постепенным насыщением потока наносами. По понятным причинам регрессивная эрозия не развивается.

На свободных реках трансформация русла развивается по-разному в зависимости от местоположения, размеров и частоты карьеров, состава наносов, морфологического строения русла. Например, понижение дна и уровня воды на р. Белой наибольшее у г. Уфы (1.7 м), где на участке длиной около 60 км до начала 1990-х гг. были сконцентрированы основные карьеры, разрабатываемые с начала 1960-х гг. Позднее русловая добыча была перенесена ниже по течению – на 100–130 км от Уфы, где разрабатывались отдельные сравнительно небольшие карьеры, ряд из которых относятся к пойменным. В меандрирующем относительно устойчивом русле нижней Белой понижение дна и уровня распространилось вниз по течению, постепенно убывая, до 150–170 км от Уфы, т.е. трансформация продольного профиля водной поверхности в межень похожа на таковую в нижних бьефах гидроузлов (рис. 1). Несмотря на прекращение добычи на участке до 170 км от Уфы, эрозия продолжилась и в 1998–2018 гг. составила от 0.1 до 1.0 м, также убывая вниз по течению. Регрессивная эрозия, судя по данным г.п. Охлебинино, расположенном в 70 км выше Уфы, проявилась только спустя 30 лет с начала регулярной добычи в районе Уфы и привела к понижению уровня на 20–30 см.

Подобным образом развивалась трансформация русла р. Иртыша в районе г. Омска, где наибольшая посадка уровня сосредоточена в местах массовых карьеров (1.24 м) [8]; она распространилась вниз по течению более, чем на 30 км, но регрессивная эрозия почти не проявилась.

Иначе происходила трансформация русла р. Томи на нижних 100 км своего течения. Наиболее активно русловая добыча развивалась у г. Томска (50–70 км от устья) и в незначительных объемах на отдельных участках выше по течению. В течение 50–60 лет добыто до 80 млн м<sup>3</sup> песчано-галечного аллювия [4] при том, что сток русловых нано-



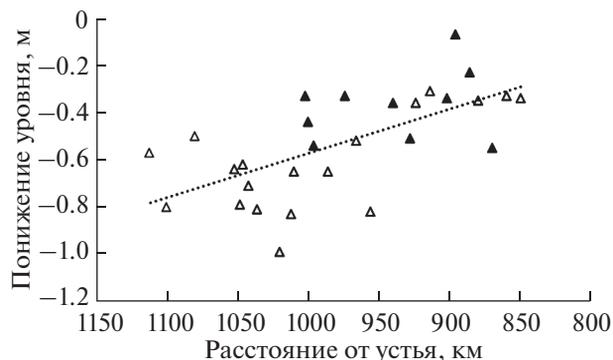
**Рис. 2.** Деформации продольного профиля р. Томи. Продольные профили водной поверхности в межень за годы: 1 – 1933, 2 – 1943, 3 – 1976, 4а – расчетное значение 1982 г., 5 – 2010.

**Fig. 2.** Tom'-River longitudinal profile transformation. Water surface longitudinal profiles by low water for years: 1 – 1933, 2 – 1943, 3 – 1976, 4а – calculated 1982, 5 – 2010.

сов не превышает 500 тыс. т (300 тыс. м<sup>3</sup>) в год [12]. Наибольшее понижение меженного уровня отмечено на г. п. Томск (2.5 м). На Томи, которая отличается большим уклоном (более 0.3‰) и высокой крупностью донных наносов (до 40 мм), значительного развития достигла регрессивная эрозия, распространившаяся не менее, чем на 20 км выше района добычи, тогда как последствия трансгрессивной эрозии добычи менее заметны (рис. 2). Развитие регрессивной эрозии, вероятно, усугублялось тем, что в ее процессе поток обнажил выступ коренных пород на 78 км от устья, образовавший порог, не типичный для равнинной реки. Показано [10], что наличие порога стимулирует регрессивную эрозию и не задерживает ее распространение. Перегиб профиля, связанный с порогом, за 40 лет сместился на 5 км против течения.

Трансформация русла р. Оки происходила на большом протяжении ее верхнего и частично нижнего течения, охватив не менее 400 км, частично включая верхние бьефы Белоомутского и Кузьминского гидроузлов. Разработка русловых карьеров ведется с конца 1940-х гг. и особенно интенсивно в 1970–1980-х гг. С 1990-х гг. интенсивность добычи аллювия существенно снизилась. Первоначально она сосредотачивалась у городов: Калуги, Алексина, Серпухова, Каширы. К настоящему времени отработанные и действующие русловые карьеры занимают около 90 км, выражаясь в наличии переглубленных до 12–15 м плесов, протягивающихся каждый на несколько километров. Объем безвозвратно удаленного аллювиального материала превысил 50 млн м<sup>3</sup> при том, что суммарный годовой сток наносов, пригодных для заполнения отработанных емкостей, едва превышает 250 тыс. м<sup>3</sup>. Особенностью р. Оки является сохранение участков бытового русла, представленного мелководными перекатными участками, которые сложены крупными гравийно-галечными наносами. Это определило характерные черты глубокой трансформации продольного профиля дна и водной поверхности – ступенчатость продольного профиля и большую неравномерность распределения уклонов, которые колеблются от 0.01 до 0.16‰.

В первой половине XX века продольный профиль водной поверхности был относительно стабильным, хотя ниже Калуги наблюдалось небольшое понижение уровней, связанное, вероятно, со слабым врезанием: оно не превышало 1 см в год. По мере уве-



**Рис. 3.** Понижение минимального уровня летне-осенней межени по длине верхней Оки в 1992–2018 гг. (участок Алексин–Коломна). Залитые точки – перекатные участки.

**Fig. 3.** Minimum water level lowering for summer-autumn low water period along upper Oka-River within 1992–2018 (Aleksin–Kolomna river reach). Filled points – shoal stretches.

личения объема добычи, достигавшего 2.5 млн м<sup>3</sup> в год, скорость понижения уровней увеличилась в 2–3 раза.

Суммарная посадка минимальных летне-осенних уровней с 1950 по 1991 г. т.е. в период наиболее интенсивной русловой добычи, составила: в Калуге 0.85 м, в Серпухове – 1.35 м, в Кашире – 1.26 м. Несмотря на снижение интенсивности русловой добычи после 1991 года, когда ее объем сократился в несколько раз, посадка уровней не прекратилась. Среднее понижение уровней на участке от Калуги до Коломны в 1991–2018 гг. составило 0.5 м. Распределение посадки уровней по длине участка от устья р. Угры до Коломны представлено на рис. 3. Наибольшее понижение уровней отмечено в районе Алексина, где до последнего времени разрабатывались карьеры. Посадка уровней постепенно убывает вниз по течению от Калуги к зоне выклинивания подпора от гидроузла Белоомут. Учитывая значительное сокращение объема добычи и преобладание малых карьеров среди вновь разработанных, можно полагать, что понижение уровней 1991–2018 гг. обязано продолжающейся эрозии дна. В сумме за указанный период минимальные уровни понизились: в Калуге – на 0.8 м, в Серпухове – на 1.1 м, в Кашире – на 0.9 м. В Коломне, несмотря на условия подпора от гидроузла Белоомут (до реконструкции), в 2008–2019 гг. также зафиксировано понижение минимального уровня на 0.5 м. Относительно высокий темп посадки в Калуге и непосредственно выше по течению вероятно обусловлен регрессивной эрозией, распространившейся от Алексинского участка добычи, что связано с его большой длиной, а также большим уклоном выше по течению (до 0.13‰). Наоборот, сравнительно небольшие величины посадки уровней в ниже 1000 км приурочены к перекатным участкам с отдельными малыми карьерами или без них. Эрозия, таким образом, охватывает все элементы русла, причем среднее понижение уровней на перекатных участках составило 0.4 м, тогда как в плесах и карьерах превысило 0.6 м. Это обусловлено высокой крупностью русловых наносов на перекатах. На перекатных участках, вероятно, происходит как трансгрессивная, так и регрессивная эрозия, что приводит к формированию отмостки. Однако скорость эрозии при наличии отмостки часто меньше, чем скорость понижения уровней; поэтому перекаты “мелеют” и требуют дноуглубления, что, в свою очередь, способствуют продвижению эрозии.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Ведущим процессом трансформации русла, развивающимся в результате русловой добычи аллювиальных материалов, является эрозия, выражающаяся в понижении дна, и увеличении крупности донных отложений и наносов. Эрозия распространяется как вверх, так и вниз по течению от разработанного карьера. Это установлено на основании аналитического и физического моделирования и ряда натуральных наблюдений [6, 13, 16] для простого случая – одиночного карьера. В реальных условиях карьеры занимают большие пространства в русле реки, располагаясь с неравномерной частотой, нередко сливаются между собой, образуя протяженные переуглубленные плесы, в некоторых случаях разделенные между собой мелководными перекатными участками. Характерно, что на больших равнинных реках широко проявляется трансгрессивная эрозия, обусловленная прерыванием транспорта наносов. Это типично не только для участков ниже плотин, но и для таких свободных рек как Иртыш в Омске или Белая ниже Уфы, где карьеры концентрировались более или менее плотно в одном месте.

Значительное проявление регрессивной эрозии, которой придается большое значение в зарубежных исследованиях [15], наиболее характерно для рек с изначально большим уклоном и крупными гравийно-галечными наносами, а также при очень большой длине участка выемки материала независимо от крупности добываемого материала. Дальность распространения регрессивной эрозии на р. Томи при уклоне более 0.3‰ достигла 20 км от начального положения вершины участка добычи песчано-гравийной смеси. Признаки развития регрессивной эрозии наблюдаются на верхней Оке в районе Калуги. Противодействовать развитию регрессивной эрозии можно регулированием длины карьера, т.к. существует определенная предельная длина карьера, при которой регрессивная эрозия не развивается [11]. В условиях верхней Оки она не превышает 200 м.

Трансгрессивная эрозия развивается на расстоянии, достаточном для восстановления баланса наносов ниже карьера. Расстояние (путь насыщения) зависит от объема изъятых материалов, гидравлических характеристик потока и крупности донных наносов [9]. Расчетный путь насыщения и условиях верхней Оки составляет от 5 до 10 км. Эта цифра характеризует расстояние, на котором должны располагаться соседние русловые карьеры. Если это расстояние не соблюдается, происходит сложение эффекта регрессивной и трансгрессивной эрозии, что приводит к увеличению деформаций русла. Это наблюдалось в большинстве изученных случаев, в частности на р. Белой, на Оке в районе Алексина, Серпухова, Каширы и Рязани в период наиболее активной разработки карьеров.

Наиболее ярким проявлением влияния русловых карьеров является понижение уровней воды в период низкой водности, которое является в определенной степени мерой величины и скорости вертикальных деформаций русла. Действительно, как показали исследования р. Белой, среднее изменение отметки дна и меженного уровня совпадают по величине и направленности. Понижение уровней является крайне неблагоприятным явлением, так как затрудняет работу водозаборных устройств, способствует понижению уровня грунтовых вод на прилегающих территориях и иссушению прибрежных природных комплексов, приводит к ухудшению условий судоходства. Удаление аллювиального материала из русла прямо влияет на некоторые физические параметры, важные для флоры и фауны, например, строение субстрата, элементы шероховатости, мутность и температура воды [1].

Большую роль играет также увеличение неравномерности глубин, скоростей течения и уклона по длине реки. В техногенных плесах, особенно при большой их длине, создаются условия для аккумуляции наносов не только влекомых, но и части взвешенных, в том числе загрязненных, поступивших дополнительно с промышленными и сельскохозяйственными сбросами. Это особенно ярко проявляется в окрестностях

крупных городов, насыщенных промышленными предприятиями и коммунальными объектами, где часто располагаются места массовой добычи. В отработанных карьерах донные отложения в отличие от естественного русла равнинной реки часто представлены смесью загрязненного ила и более крупного материала.

Регламентация русловой добычи в случае, если она обоснована по социально-экономическим соображениям, может осуществляться путем ее регулирования. Для этого тщательно выбираются места разработки. Объем единичных карьеров не может превышать объема стока руслообразующих наносов, следует разрабатывать малые короткие карьеры. Расстояние между карьерами должно быть больше пути насыщения, необходимо предусматривать защитные ограждающие сооружения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате массовой добычи аллювия происходит нарушение статистической устойчивости системы поток-русло, что выражается в возникновении направленных вертикальных деформаций – трансгрессивной и регрессивной эрозии.

Трансгрессивная эрозия преобладает на крупных равнинных реках с песчано-гравийными наносами. Она передвигается на несколько десятков километров от места добычи в течение нескольких десятков лет. Регрессивная эрозия имеет ограниченное распространение и наблюдается на реках с крупными наносами и большим уклоном, а также на отдельных участках между карьерами. Эрозия не прекращается в течение десятилетий после окончания разработки карьеров, хотя ее интенсивность снижается. Изменения русел рек в результате разработки русловых карьеров являются необратимыми в историческом масштабе времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алдохин А.С., Чемагин А.А.* Экологический риск разработки песчаного карьера в русле реки // Водные биоресурсы и их рациональное использование. Вестник АГТУ, сер. рыбное хозяйство. 2018. № 4. С. 7–14.
2. *Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А.* Природно-ориентированные подходы к добыче аллювиальных строительных материалов из речных русел и пойм // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. 2012. Вып. 3. С. 3–13.
3. *Векслер А.Б., Донеберг В.М.* Переформирование русла в нижних бьефах крупных гидроэлектростанций. М.: Энергоатомиздат. 1983. С. 142–165.
4. *Вершинин Д.А.* Техногенные воздействия на вертикальные деформации русла и гидравлику потока (на примере р. Томи). Автореферат дисс. канд. географ. наук. Томск. 2005. 13 с.
5. *Гладков Г.Л.* Обеспечение устойчивости русел судоходных рек при дноуглублении и разработке русловых карьеров: Дис. ... доктора технических наук: 05.22.17. Санкт-Петербург, 1996. 310 с.
6. *Гладков Г.Л.* Теоретические основы расчетного обоснования путевых мероприятий на судоходных реках // Журн. университета водных коммуникаций. Вып. 2. 2013. С. 18–31.
7. *Гришанин К.В.* Устойчивость русел рек и каналов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 144 с.
8. *Дегтярев В.В.* Улучшение судоходных условий сибирских рек. М.: Транспорт, 1987. 170 с.
9. *Карасев И.Ф.* Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
10. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
11. *Наумов Г.Г.* Антропогенные воздействия на русловые процессы на переходах через водотоки. М.: МАДИ, 2012. 105 с.
12. *Савичев О.Г.* Сток наносов реки Томь (Западная Сибирь) // Изв. Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 3. С. 22–25.
13. *Снищенко Б.Ф., Месерлянс Г.Г.* Развитие руслового процесса на участках выемок речного аллювия // Динамика русловых потоков. Л.: ЛПИ, 1987. С. 96–102.
14. *Galay V.J.* Causes of river bed degradation // Water resources research. V. 19. № 5. 1983. P. 1057–1090.
15. *Kondolf G.M.* Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. Landscape Urban Planning, 28. 1994. 225–243.
16. *Ponce V.M., Garcia J.L., Simons D.B.* Modelling alluvial channel bed transients. Journal of the Hydraulic Division ASCE, V. 105. 1979.

17. Rinaldi M., Wyzga B., Surian N. Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives. *River Res. Applic.* 21, 2005. 805–828.

### In-stream Mining in Alluvial River Channels: Response, Consequences and Perspectives

K. M. Berkovich<sup>1, \*</sup>, L. V. Zlotina<sup>1, \*\*</sup>, and L. A. Turykin<sup>1, \*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*Moscow State Lomonosov's University, Moscow, Russia*

\**E-mail: berkovitch@yandex.ru*

\*\**E-mail: zleonora@yandex.ru*

\*\*\**E-mail: filigorod@list.ru*

**Abstract**—On the basis of long-term field and analytical research, the response of the channels of different rivers to one of the types of mechanical impact on rivers – the in-stream mining – is considered. The nature and rates of the response of the river channels of free-flowing and regulated rivers to the in-stream mining, disturbance extent of the channel morphology and the rivers hydrological regime are revealed. The purpose of the work is to assess the possibilities of in-stream mining and allowable mine's sizes which bases on the general principles of the theory of fluvial processes, and to minimize the negative effects of given mechanical disturbances on rivers and floodplains

*Keywords:* in-stream mining, bed degradation, fluvial processes

### REFERENCES

1. Aldohin A.S., Chemagin A.A. Ekologicheskij risk razrabotki pezhchanogo kar'era v rusle reki // Vodnye bioresursy i ich racionalnoe ispolzovanie. Vestnik AGTU. Rybnoe hozjajstvo. 2018. № 4. 7–14.
2. Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A. Prirodno-orientirovannye pohody k dobyche alluvialnyh stroitelnyh materialov bz rechnyh rusel i poim // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologia. Nauki o zemle. 2012. Vyp. 3. 3–13.
3. Veksler A.B., Donenberg V.M. Pereformirovanie rusla v nizhnih b'efah krupnyh gidroelektrosnancij. M.: Energoatomizdat. 1983. 142–165.
4. Vershinin D.A. Tehnogenne vozdejstvia na vertikalnye deformacii rusla i gidravliku potoka (na primere r. Tomi). Avtoreferat diss. kand. geograf. nauk. Tomsk. 2005. 13.
5. Gladkov G.L. Obespechenie ustojchivosti rusel sudochodnyh rek pri dnouglublenii I razrabotke ruslovyh kar'erov. Diss. ... doktora technicheskikh naur. Sankt-Peterburg. 1996. 310.
6. Gladkov G.L. Teoreticheskoe osnovy raschetnogo obosnovania putevyh meroprijatij na sudochodnyh rekah // Zhurnal universiteta vodnyh kommunikacij. Vyp. 2. 2013. 18–31.
7. Grishanin K.V. Ustojchivost' rusel rek i kanalov. L.: gidrometeoizdat. 1974. 144.
8. Degtiarev V.V. Uluchshenie sudohodnyh uslovij sibirskih rek. M.: Transport. 1987. 170.
9. Karasiov I.F. Ruslovyje processy pri perebroske stoka. L.: gidrometeoizdat. 1975. 288.
10. Makkaveev N.I. Ruslo reki i erozia v ee bassejne. M.: izd-vo AN SSSR. 1955. 355.
11. Naumov G.G. Antropogennye vozdejstvia na ruslovyje process na perehodah cherez vodotoki. M.: MADI, 2012. 105.
12. Savichev O.G. Stok nanosov reki Tom' (Zapadnaia Sibir') // Izvestia Tomskogo politehnicheskogo universiteta. 2007. T. 310. № 3. 22–25.
13. Snishchenko B.F., Meserlians G.G. Razvitie ruslovogo process ana uchastkah vyemok rechnogo alluvia // Dinamika reslovyh potokov. L.: LPI, 1987. 96–102.
14. Galay V.J. Causes of river bed degradation // Water resources research. 1983. V. 19. № 5. P. 1057–1090.
15. Kondolf G.M. Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape Urban Planning*, 28. 1994. 225–243.
16. Ponce V.M., Garcia J.L., Simons D.B. Modelling alluvial channel bed transients. *Journal of the Hydraulic Division ASCE*, Vol. 105. 1979.
17. Rinaldi M., Wyzga B., Surian N. Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives // *River Res. Applic.* 2005. 21. P. 805–828.

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ (ПРЕДУРАЛЬЕ)

© 2023 г. Н. В. Лаврова\*

*Горный институт УрО РАН, Пермь, Россия*

*\*E-mail: nlavrova08@mail.ru*

Поступила в редакцию 21.02.2023 г.

После доработки 12.05.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

Представлены результаты спектральных анализов инфильтрационных отложений крупной карстовой системы в карбонатно-сульфатных отложениях. Перемещение рыхлого материала с поверхности по деформационным зонам в пределах массива мощностью 80–90 м приводит к скоплениям древесно-глинистых отложений в нижней части гротов и галерей. Локализация отложений приурочена к определенным формам подземного карстового рельефа – органным трубам – вертикальным структурам высотой до 20–25 м, свободных либо заполненных обломками. Выявлены закономерности в распределении отдельных оксидов и элементов, их значения сопоставлены с остаточными отложениями, а также породами матрикса. Инфильтрационные воды, поступающие в карстовый массив в допалеогенный этап, определяли условия формирования криогенных минералов при промерзании пород. Цикличность поступления материала сопоставлена с периодами позднплейстоценовых климатических событий.

*Ключевые слова:* инфильтрационные отложения, карстовая система, органные трубы, криогенез, Кунгурская Ледяная пещера, поздний плейстоцен, климатические ритмы  
**DOI:** 10.31857/S0869607123010056, **EDN:** HCPSRZ

### ВВЕДЕНИЕ

Карст является одним из ведущих процессов разрушения и преобразования растворимых пород различного состава. При этом образуются новейшие континентальные отложения как на поверхности, так и внутри скальных массивов карстующихся пород. В базовых и частных классификациях пещерных отложений выделяются обвальные, остаточные, химические, инфильтрационные и т.д. Как правило, определение инфильтрационных отложений в карстовых пустотах затруднено в силу большого сходства их с остаточными отложениями. Редкую возможность для изучения состава инфильтрационных отложений предоставляет Кунгурская пещера, где эти отложения формируются под органными трубами, через которые происходит периодическое поступление поверхностных (талых и дождевых) вод (рис. 1).

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Кунгурская Ледяная пещера в Предуралье является эталонной карстовой полостью в карбонатно-сульфатных отложениях [7]. Разрез Ледяной горы, в недрах которой развита лабиринтовая спелеосистема с общей длиной ходов почти 6 км, представлен чередованием карбонатных пачек мощностью 5–10 м и сульфатных пачек мощностью



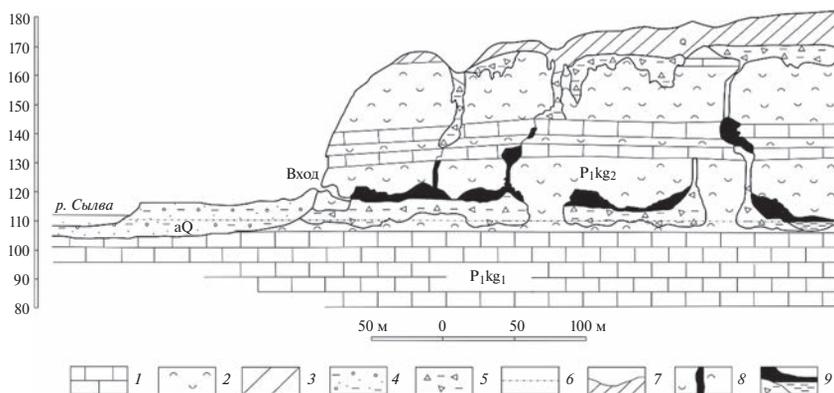
Рис. 1. Местоположение Кунгурской Ледяной пещеры.

Fig. 1. Location of the Kungur Ice Cave.

20–25 м иренского горизонта кунгурского яруса пермской системы. Гроты и галереи развиты в пределах нижней сульфатной ледяно-пещерской пачки мощностью 25 м (рис. 2).

Среди форм подземного ландшафта выделяются вертикальные органые трубы, которых в настоящее время зафиксировано 146. Форма их в плане варьирует от круглой или овальной до извилистой сложной. Поперечник составляет 1–10 м, высота до 20 м. Подавляющая часть органых труб “упирается” в плоские плиты карбонатных пород неволинской пачки на высоте 20–25 м. Отдельные трубы не доходят до неволинских доломитов и вскрывают верхние слои сульфатных отложений ледяно-пещерской пачки. В этом случае органые трубы имеют меньшие размеры – поперечник 1–3 м, высота не более 5 м. Своды округлые, что свидетельствует о напорной модели их формирования. Последнее подтверждается фрагментами сохранившихся извилистых подводящих каналов в устьях органых труб высотой до 1 м, образующихся при восходящем движении подземных вод (рис. 3).

Органые трубы делятся на открытые и закрытые. Закрытые органые трубы полностью заполнены обломочным материалом карбонатных пород. Под открытыми трубами, как правило, образуются осыпи, состоящие из хаотично нагроможденных обломков известняка и доломита с глинистым заполнителем. Но встречаются исключения. Осенью 2022 г. в Кунгурской пещере в отдельных гротах проведены расчистки



**Рис. 2.** Схематический разрез Ледяной горы и Кунгурской пещеры [2]. 1 – известняки и доломиты; 2 – гипсы и ангидриты; 3 – глинистые отложения; 4 – песчано-глинистые отложения; 5 – крупнообломочные отложения; 6 – уровень подземных вод; 7 – карстовые воронки; 8 – вертикальные каналы, трубы; 9 – подземные пустоты.

**Fig. 2.** Schematic section of the Ice Mountain and the Kungur cave [2]. 1 – limestones and dolomites; 2 – gypsum and anhydrites; 3 – clay deposits; 4 – sandy-clay deposits; 5 – coarse-grained deposits; 6 – groundwater level; 7 – sinkholes; 8 – vertical channels, pipes; 9 – underground voids.

осыпей. В гроте Колизей верхняя часть осыпи высотой 6 м (поперечник 15 м) состоит из щебня гипса и доломита с глинистым заполнителем. В основании осыпи – щебень гипса. Шурф глубиной 1.0 м пройден в средней части. В геологическом разрезе выделяются 3 ненарушенных слоя глины коричневой влажной пластичной мощностью 15–20 см, разделенных двумя маломощными (1–2 см) прослоями светло-коричневой глины. Угол падения слоев  $40^{\circ}$ – $45^{\circ}$ . В гротах Дружбы Народов и Шапка Мономаха в осыпях также выделяются прослой глины, но менее отчетливые. Для сравнения пройден шурф в гроте Центральный в остаточных отложениях, сформировавшихся далеко за пределами высыпания обломочного материала их органичных труб.

Отобраны образцы алевритово-глинистого материала для валового (силикатного) анализа (рис. 4). Слои 1–3 рассматриваются как инфильтрационные отложения, слой 4 – дезинтегрированные растворимые карбонатно-сульфатные отложения. Геохимические исследования инфильтрационных и остаточных отложений проведены в Секторе наноминералогии ПГНИУ флуоресцентным рентгеноспектральным методом (аналитик И.В. Бадьянова).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Химический анализ показал определенные закономерности распределения оксидов в инфильтрационных отложениях, результаты которого представлены на рис. 5. Отмечается значительная разница в содержании оксидов в привнесенных и дезинтегрированных отложениях в основании осыпи под органичной трубой – 2–3 раза. Для инфильтрационных образований в слоях 1–3 определяется постепенное синхронное увеличение двуоксида кремния  $\text{SiO}_2$ , оксида титана  $\text{TiO}_2$  и оксида алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а также уменьшение  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ . Содержание оксидов в остаточных отложениях аналогично содержанию оксидов в инфильтрационных отложениях.

Представление о водной миграции химических элементов в инфильтрационных отложениях представлено на рис. 6.

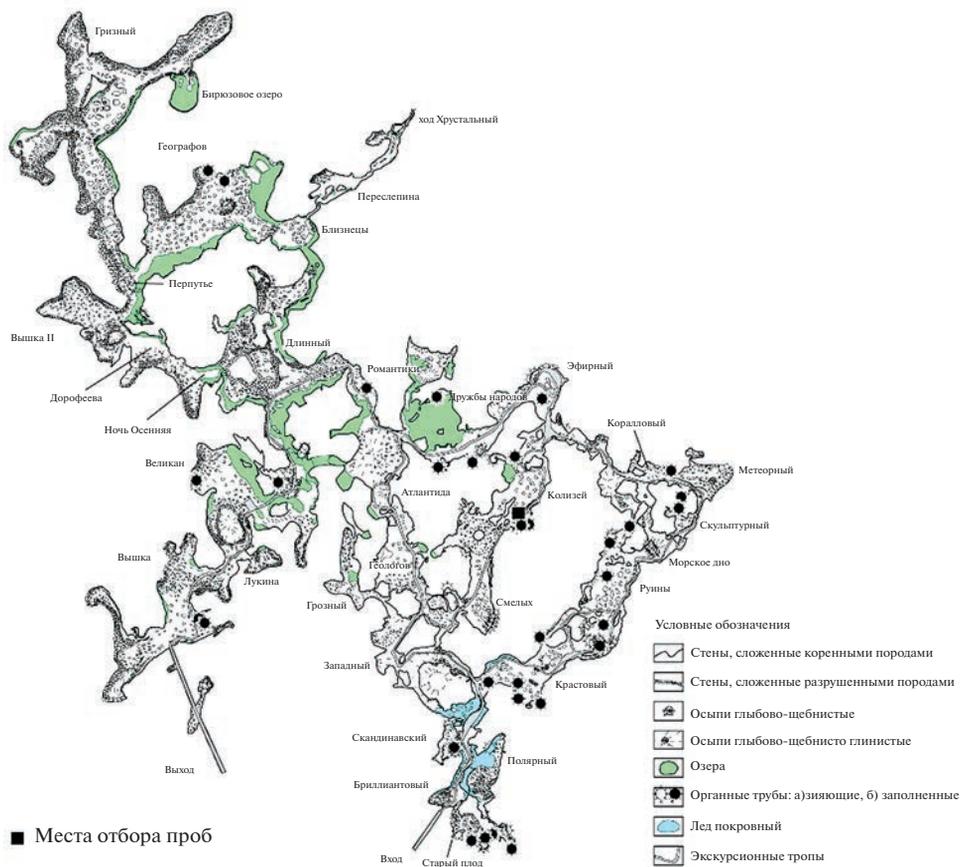


Рис. 3. Карта Кунгурской ледяной пещеры [7] с обозначением места отбора проб.

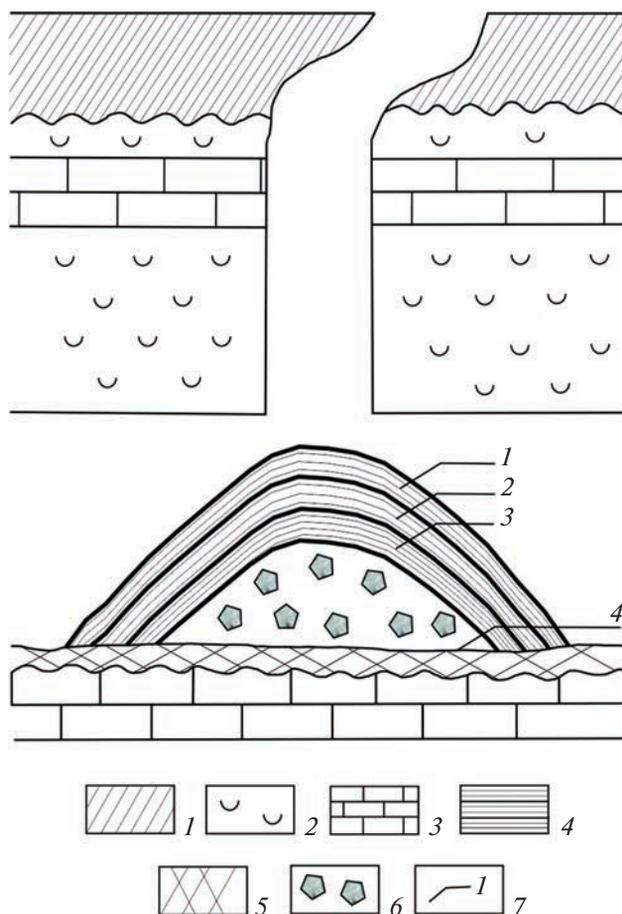
Fig. 3. Map of the Kungur ice cave [7] with the designation of the sampling site.

Как и в случае с оксидами, содержание всех элементов в инфильтрационных и остаточных отложениях в 2–3 раза больше, чем в дезинтегрированных вмещающих породах. Для Zn, Sr, Mo, Sn отмечается постепенное уменьшение к нижним слоям, для Y, Nb, Cs – наоборот, увеличение. La в коренных породах отсутствует, Ce в них же меньше в 6 раз.

### ОБСУЖДЕНИЕ

В типе водных механических отложений в Кунгурской Ледяной пещере выделены инфильтрационные отложения. К ним отнесены отложения тонких (глинистых) фракций, кольматирующие крупнообломочные отложения осыпей (щебень и более крупные обломки карбонатных и дресва сульфатных пород), расположенных непосредственно под органическими трубами. Наличие понор на дне карстовых воронок на поверхности Ледяной горы позволяет предполагать, что обнаруженная в осыпях под органическими трубами галька также поступала в пещеру с поверхности [7].

В результате комплексных исследований последних десятилетий в Кунгурской пещере изучен новообразованный кальцит непосредственно из инфильтрационных



**Рис. 4.** Места отбора проб из инфильтрационных отложений в схематическом геологическом разрезе органной трубы. 1 – четвертичные отложения: суглинок, супесь; 2 – гипс, ангидрит; 3 – известняк, доломит; 4 – глина; 5 – древесно-щебнистые отложения; 6 – обвалы; 7 – номера проб.

**Fig. 4.** Sampling sites from infiltration deposits in a schematic geological section of an organ pipe. 1 – quaternary deposits: loam, sandy loam; 2 – gypsum, anhydrite; 3 – limestone, dolomite; 4 – clay; 5 – gravel-gravelly deposits; 6 – landslide deposits; 7 – sampling site.

сульфатно-кальциевых вод [6]. Объем, скорость, а также периодичность движения инфильтрационных вод в зоне вертикальной циркуляции, мощность которой составляет около 60 м, весьма разнообразны. Это и отдельные капли, падающие равномерно в течение всего года, либо сливающиеся в небольшие струйки весной. Иногда весной на короткий период до 7–10 дней расход воды увеличивается до 2.0 л в минуту. В большинстве случаев инфильтрация воды с поверхности происходит в районе органических труб. В отдельных случаях капля со свода происходит без видимой связи с трещинами и другими водоподводящими структурами.

При общем нисходящем движении инфильтрационных вод проследить весь путь на каждом отдельном участке геологического разреза практически невозможно. Однако

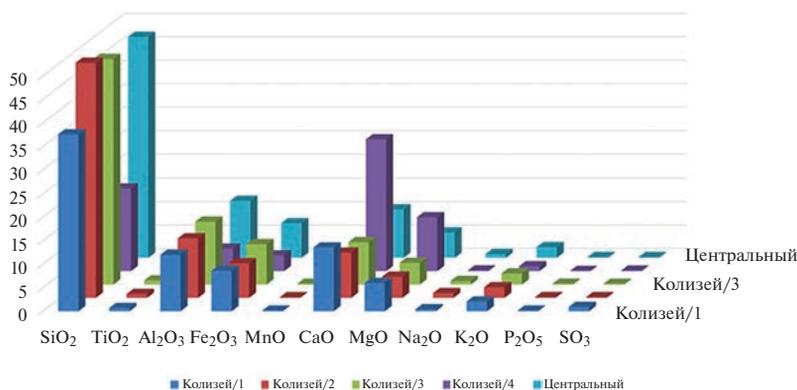


Рис. 5. Химический состав инфильтрационных и остаточных отложений в Кунгурской Ледяной пещере.

Fig. 5. Chemical composition of infiltration and residual deposits in the Kungur Ice Cav.

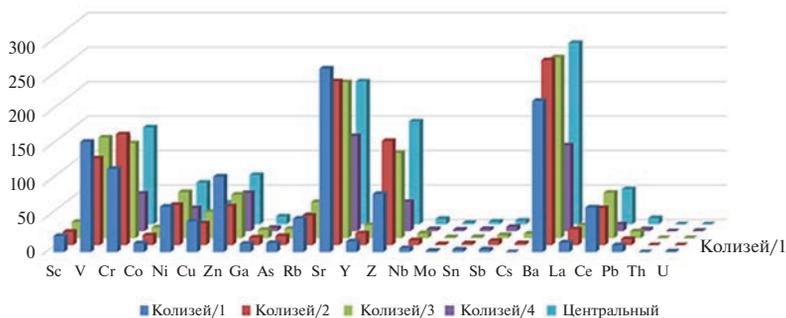


Рис. 6. Содержание химических элементов в инфильтрационных и остаточных отложениях Кунгурской ледяной пещеры.

Fig. 6. Content of chemical elements in infiltration and residual deposits of the Kungur Ice Cave.

на подходе к гроту Космический удалось зафиксировать промежуточный уровень стояния инфильтрационных вод на абсолютной отметке 130 м в зоне вертикальной циркуляции. Отметка кровли грота Космический является одной из самых высоких в Кунгурской пещере. В сводах и стенах вскрыты доломиты неволинской пачки, которые перекрывают гипсы и ангидриты ледянопещерской пачки, в пределах которой образовалось подавляющее большинство гротов и галерей пещеры на уровне водоносного горизонта 112–113 м.

Подход к гроту представляет собой крупнообломочную осыпь высотой 20 м крутизной от 30 градусов у основания до 60 – вверх. В верхней части северо-западного сектора осыпь покрыта сплошным покровом остаточной глины мощностью до 20 см, площадью 10 м<sup>2</sup> с отчетливыми следами течения воды. Сверху отмечается тонкий черный налет, предположительно, четырехвалентных окислов марганца. Аналогичный черный налет отмечается в нижней части нависающего свода. Разница в окраске гипсового целика фиксирует уровень инфильтрационных вод, задержанных на достаточно длительный период. Подпор стекающих с поверхности Ледяной горы вод происхо-

дил вглубь массива, по всей видимости, на более ранних стадиях формирования пещеры [8].

При замерзании инфильтрационных вод в первичных пустотах будущей карстовой системы и в дальнейшем – в периоды промерзания происходили криоминералогические процессы. В настоящее время отмечаются морфологические и кристаллические особенности криогенного кальцита для всех температурных зон Кунгурской пещеры. Разнообразие криогенного материала определяется микроклиматическими факторами и нано-условиями [1].

К микроклиматическим факторам можно отнести особенности промерзания пород на определенных этапах существования многолетнемерзлых пород. У\Th датировки криогенных минеральных образований в пещерах Урала позволяют достаточно точно определять периоды межледниковий и, соответственно, динамику границы распространения многолетнемерзлых пород. В каждой из трех крупных пещер на границе Соликамской впадины в пределах Предуральяского прогиба обнаружен разновозрастный криогенный кальцит в интервале от 11–13 до 430–480 тыс. лет [4, 5].

Сеть лабиринтовых ходов Кунгурской пещеры заложена на уровне первой надпойменной террасы р. Сылвы. Согласно данным археологических находок, период формирования первой террасы – 8000–7000 лет до н.э., второй – 12000 тыс. лет до н.э. [3], что свидетельствует о молодом возрасте пещеры. Исходя из геометрических параметров гrotов и галерей, а также из скорости растворения сульфатных пород, можно рассчитать абсолютный возраст пещеры. В этом случае цифра будет выше – более 50 тыс. лет [10]. Особенности геологического строения массива, в котором заложена карстовая система, геоморфологические условия, условия развития водоносных горизонтов, биоспелеологические данные свидетельствуют о более длительном развитии Кунгурской пещеры в течение всего четвертичного периода [7].

Отсутствие нарушенности в залегании глинистых слоев в осыпи под органной трубой предполагает цикличность поступления материала в спелосистему, которую можно сопоставить с многократными изменениями в ходе экзогенных процессов при чередовании глобальных похолоданий и потеплений. В перигляциальной зоне промывание рыхлых отложений могло происходить водами, в т.ч. напорными, циркулирующими в многолетнемерзлых породах на значительном удалении от фронта ледника. Периодическая инфильтрация вод способствовала также растворению сульфатных пород и перемещению глинистых частиц по трещиноватым и деформационным зонам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Составляющая инфильтрационных вод в общем водном балансе массива несоизмеримо мала по сравнению с карстовыми водами. Однако формирование органной трубы невозможно без просачивающихся с поверхности Ледяной горы дождевых и талых вод на различных этапах формирования карстовой системы [8].

В позднем плейстоцене отмечаются несколько этапов криогенеза, интенсивность которого нарастала и закончилась деградацией мерзлоты [9]. В отсутствие проявлений мерзлотных процессов на поверхности инфильтрационные отложения Кунгурской пещеры можно сопоставить с криогенными горизонтами верхнего плейстоцена.

Климатические ритмы отражаются в лесово-почвенных разрезах в наземных условиях, а также в слоистых инфильтрационных отложениях карстовых пустот и различных типах криогенных минералов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрейчук В.Н., Галускин Е. Криогенные минеральные образования Кунгурской Ледяной пещеры // Пещеры. Пермь, 2001. С. 108–116.

2. Вейсман Л.И., Дорофеев Е.П., Андрейчук В.Н. Кунгурская Ледяная пещера. Фотоальбом. Пермь, 1990. 295 с.
3. Лукин В.С. Условия и этапы формирования Кунгурской пещеры // Карст Урала и Приуралья: Матер-лы Всеросс. Совещ. Пермь, 1968. С. 39–42.
4. Кадебская О.И. Минеральные и геохимические индикаторы природных процессов в подземных карстовых ландшафтах Урала // Автореф. докт геогр. наук. Пермь, 2017. 39 с.
5. Кадебская О.И. Периоды оттаивания многолетнемерзлых пород в плейстоцене в районе Соликамской впадины // Горное эхо. Пермь, Горный ин-т УрО РАН, 2021. № 3 (84). С. 3–9.
6. Кадебская О.И., Калинина Т.А., Чайковский И.И. Изотопия и морфология новообразованных карбонатов карбонатно-сульфатного массива Ледяная гора // Вест. Пермского ун-та. Геология. Вып. 2 (27). Пермь, 2015. С. 6–16.
7. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / Под ред. В.Н. Дублянкого. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 376 с.
8. Лаврова Н.В., Красиков А.В. К вопросу обводненности массива Ледяной горы / Пещеры: сб. науч. тр. / Естественнонауч. ин-т Перм. Гос. нац. ун-та; ГИ УрО РАН. Пермь, 2018. Вып. 41. С. 6–8.
9. Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (Атлас-монография). М.: Наука, 1982. 175 с.
10. Турышев А.В. Подземные воды Кунгурской Ледяной пещеры // Специальные вопросы карстования. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 62–67.

### Geochemical Characteristics Infiltration Deposits Kungur Ice Cave (Preduralie)

N. V. Lavrova\*

*Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia*

*\*E-mail: nlavrova08@mail.ru*

**Abstract**—The results of spectral analyses of infiltration deposits of a large karst system in carbonate-sulfate deposits are presented. The movement of loose material from the surface through deformation zones within an array with a capacity of 80–90 m leads to accumulations of gravel-clay deposits in the lower part of grottoes and galleries. The localization of deposits is confined to certain forms of underground karst relief – organ pipes: vertical structures up to 20–25 m high, free or filled with debris. Regularities in the distribution of individual oxides and elements are revealed, their values are compared with residual deposits, as well as matrix rocks. Infiltration waters entering the karst massif in the pre-paleogenic stage determined the conditions for the formation of cryogenic minerals during the freezing of rocks. The cyclical nature of the material intake is compared with the periods of Late Pleistocene climatic events.

**Keywords:** infiltration deposits, karst system, organ pipes, cryogenesis, Kungur Ice Cave, Late Pleistocene, climatic rhythms

### REFERENCES

1. Andrejchuk V.N., Galuskin E. Kriogennye mineralnye obrazovaniya Kungurskoj Ledyanoj peshhery // Peshhery. Perm, 2001. S. 108–116.
2. Vejsman L.I., Dorofeev E.P., Andrejchuk V.N. Kungurskaja Ledjanaja peschera. Fotoalbm. Perm, 1990. S. 295.
3. Lukin V.S. Usloviya i etapy formirovaniya Kungurskoj peshhery // Karst Urala i Priuralya: Materly Vseross. Soveshh. Perm, 1968. S. 39–42.
4. Kadetskaya O.I. Mineralnye i geoximicheskie indikatory prirodnyx processov v podzemnyx karstovyx landshaftax Urala // Avtoref. dokt geogr. nauk. Perm, 2017. S. 39.
5. Kadetskaya O.I. Periody ottaivaniya mnogoletnemerzlyx porod v plejstocene v rajone Solikamskoj vpadiny // Gornoe exo. Perm, Gornyj in-t UrO RAN. 2021. № 3 (84). S. 3–9.
6. Kadetskaya O.I., Kalinina T.A., Chajkovskij I.I. Izotopiya i morfologiya novoobrazovannyx karbonatov karbonatno-sul'fatnogo massiva Ledyanaya gora // Vest. Permskogo un-ta. Geologiya. Vyp. 2 (27). Perm, 2015. S. 6–16.

- 
7. Kungurskaya Ledyanaya peshhera: opyt rezhimnyh nablyudenij / Pod red. V.N. Dublyankogo. Ekaterinburg: UrO RAN, 2005. S. 376.
  8. *Lavrova N.V., Krasikov A.V.* K voprosu obvodnennosti massiva Ledyanoj gory / Peshhery: sb. nauch. tr. / Estestvennonauch. in-t Perm. Gos. nacz. un-ta; GI UrO RAN. Perm, 2018. Vyp. 41. S. 6–8.
  9. Paleogeografiya Evropy za poslednie sto tysyach let (Atlas-monografiya). M.: Nauka, 1982. 175 s.
  10. *Turyshchikov A.V.* Podzemnye vody Kungurskoj Ledyanoj peshhery // Specialnye voprosy karstovedeniya. M.: Izd-vo AN SSSR, 1962. S. 62–67.

## ИНДУСТРИАЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ В СИСТЕМЕ “ЦЕНТР–ПЕРИФЕРИЯ”

© 2023 г. М. А. Макушин<sup>а</sup> \*, К. В. Демидова<sup>а</sup> \*\*, М. Д. Горячко<sup>а</sup> \*\*\*

<sup>а</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Россия

\*E-mail: mihmakush@mail.ru

\*\*E-mail: metsan\_henki@mail.ru

\*\*\*E-mail: mgoryachko@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.01.2023 г.

После доработки 26.04.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

Модель “центр–периферия” активно используется для объяснения современных географических процессов и явлений, однако отсутствуют работы, которые системно изучают положение российских регионов в системе центр–периферийных отношений – текущее исследование направлено на ликвидацию данного пробела. Цель исследования состоит в апробации методики выделения центральных и периферийных регионов в индустриальном пространстве России и выявление основных особенностей развития промышленности разных типов регионов. Используются статистические и математико–статистические методы исследования, базирующиеся на данных Росстата по развитию промышленности в регионах России в 2005–2020 гг. В выборку попали 83 субъекта федерации (за исключением Республики Крым и г. Севастополя), по которым имеются сопоставимые ряды данных за указанный период исследования. Все регионы отнесены к одному из типов в системе “центр–периферия”: ядро, субядро, субпериферия, периферия. К ядерным регионам отнесены сильнопромышленные регионы с высокой базой и конкурентоспособными отраслями. В группу субядерных регионов попали среднепромышленные регионы с высокой динамикой. Субпериферия сконцентрировала в себе 40% российских регионов, поэтому дополнительно регионы этой группы были подразделены на подтипы по динамике промышленного развития и специализации на ресурсных или обрабатывающих отраслях. Периферия была подразделена на 2 подтипа: 1) депрессивные регионы с высокой базой, сжимающейся в постсоветский период; 2) слаборазвитые регионы с низкой базой. Отмечено, что сдвиги в положении регионов в системе “центр–периферия” инерционны. За 15 лет усилилась концентрация промышленного производства в ядрах и субядрах, однако инвестиционная динамика выше в субядрах. Наиболее сильно снижается роль в промышленном производстве старопромышленных субпериферийных регионов. Увеличивается роль слаборазвитой периферии в промышленной занятости населения. Полученные выводы можно использовать для дальнейшей корректировки региональной промышленной политики и разработки стратегии пространственного развития России.

*Ключевые слова:* ядро, периферия, промышленное производство, инвестиции, добычающий сектор, эффект колеи

DOI: 10.31857/S0869607123010068, EDN: AGZESN

## ВВЕДЕНИЕ

Уровень индустриального развития российских регионов неоднороден. Выделяют-ся регионы с высоким уровнем развития промышленности, которые являются экономическими ядрами с точки зрения, как производственного потенциала, так и продуцирования инноваций для индустрии [1]. Регионы с низким уровнем промышленного развития являются периферией и находятся в определенной зависимости от регионов-ядер [18]. Сложившиеся системы отношений “центр–периферия” довольно устойчивы, что усложняет развитие периферии и усиливает процесс концентрации ресурсов в центрах.

Целью данного исследования выступает разработка и апробация количественной методики выделения центральных и периферийных регионов в индустриальном пространстве России.

Гипотезы:

1. Структура регионов в системе “центр–периферия” консервативна и инерционна.
2. Усиливается концентрация промышленного производства в регионах-центрах.

## ТЕОРИЯ

Концепция “ядро–периферия” [16] находится в рамках общеполитического ядерно-сферического подхода, рассматривающего ядро-периферийные отношения в рамках диалектического единства противоположностей, предполагая как сотрудничество, так и конкуренцию между этими элементами системы. При таком подходе периферия является внешней оболочкой системы и испытывают на себе частичное, временное и фрагментарное воздействие со стороны ядра системы. В ядре локализуются структурные связи, диффундирующие в направлении периферии. При этом ядро выступает в качестве креативного центра, полупериферия – сильный акцептор, а периферия – слабый [1].

По мнению Миньяр-Белоручева, первым кто обратил внимание на возможности использования парадигмы “центр–периферия” для разработки теории зависимого развития был Р. Пребиш, обозначивший промышленно-развитые страны как “центр”, а аграрно-сырьевые как “периферию” [16].

В экономической географии центр-периферийный подход обычно связывают с Дж. Фридманом и И. Валлерстайном, которые рассматривают доминирование центра над периферией в условиях свободных потоков информации, капитала, товаров, рабочей силы. Дж. Фридман попытался интегрировать районное и городское направления в региональных исследованиях и построить общую теорию регионального развития на базе модели “центр–периферия” [23]. Согласно этой концепции, неравномерность экономического роста и процесс пространственной поляризации неизбежно порождают диспропорции между ядром и периферией [7]. В отличие от центра периферия неоднородна, в ней выделяется внутренняя (ближняя), более тесно связанная с центром (в российской практике часто переводимая как полупериферия, и внешняя (дальняя), испытывающая слабое влияние центра подсистемы [3]. Ядрами и периферией при этом могут выступать как отдельные населенные пункты, города, так и регионы и даже государства [17], хотя внутри государства будут выделяться территории, которые в большей степени тяготеют к ядру или к периферии. Подобные идеи можно найти в работах А. Вебера, А. Леша и В. Кристаллера [4, 15].

В рамках теории территориально-производственного комплекса (ТПК) Н.Н. Коловского “связки” энерго-производственных циклов выступали в качестве технологических ядер ТПК, а сами комплексы являлись ядерными структурами для районов нового освоения [11]. Позже на западе возникла теория кластеров, концентрирующая внимание на формах организации производственных отношений (институты), в т.ч. и территориальных [12].

Концепция “ядро—периферия” получила свое развитие в рамках теории “полюсов роста”, которая обычно ассоциируется с именами Ф. Перру, Х. Ласуена, Х. Гирша [25, 26, 29] и др. В рамках теории выдвинута идея о том, что национальный экономический рост генерируют определенные точки роста за счет импульса, создаваемого наиболее конкурентоспособными отраслями и предприятиями, стимулирующего развитие смежных отраслей. Х. Ричардсон предполагает, что импульс распространяется также на периферию, окружающую точки роста, за счет выноса предприятий из города в границы агломерации [30]. Экономистам впоследствии принадлежали попытки объяснить причины формирования центров и периферии и предложения по управлению этими территориями [24].

Среди отечественных специалистов в данной области следует прежде всего назвать имена О. Грицай, Г. Иоффе, А. Трейвиша [5], приложивших эту теорию к многообразию советского/российского социально-экономического пространства и показавших в рамках циклического подхода смены ядерно-периферийных фаз развития регионов. Позже А. Трейвиш рассмотрел центр-периферийные отношения через призму базовых категорий регионального развития — неравномерность и структурное разнообразие [20].

Центро-периферийную концепцию для объяснения неравномерности развития российских регионов используют также Т. Нефедова [27, 28] и Н. Зубаревич [9, 10]. Опыт типологии регионов России по уровню промышленного развития принадлежит таким исследователям, как А. Татаркин, О. Романова [19] и О. Кузнецова [13], однако их подход напрямую не связан с выделением регионов-центров и периферии.

На уровне регионов центры роста выявляют [21] и объясняют их формирование [14] специалисты Центра экономики инфраструктуры. Отдельное внимание в их исследованиях отводится агломерационным эффектам. Значительная роль в центр-периферийной теории отводится также предпринимательству [8] и социальной активности населения [6].

Из наиболее заметных современных отечественных работ по данной проблематике можно отметить П. Бакланова, который подчеркивал, что пространственное развитие страны, региона, рассматриваемое в количественно-качественных приращениях, вызывает изменения их пространственных характеристик [2]. Это позволяет проводить не только комплексные, но и более узконаправленные исследования, в т.ч. и в рамках центр-периферийной модели.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методика исследования состоит в типологизации регионов в системе “центр—периферия” по 4 основным типам: ядро, субъядро, субпериферия, периферия. Типологизация выполняется по 6 основным параметрам, характеризующим уровень и динамику развития промышленности в российских регионах (табл. 1). Предельные значения в каждой категории определялись с помощью кластерного анализа по методу Евклидова расстояния (методом разбиения на оптимальное число примерно равных между собой групп регионов — от 5 до 7 групп).

Впервые в исследованиях такого типа используется показатель базы промышленного производства (за базу взят уровень промышленного производства в 2005 г.) [22], рассматривается динамика производства и взаимоувязывается с объемом инвестиций в основной капитал в промышленности. Для исследований “Центро-периферии” является нетипичным выделение ресурсоориентированности экономики как фактора типологизации, а ресурсные регионы сильно выделяются в индустриальном ландшафте России, поэтому в статье особое внимание уделено роли добывающего сектора в промышленности региона. Ресурсные регионы более осторожно распределены по

**Таблица 1.** Параметры типологизации регионов; составлено авторами  
**Table 1.** Parameters of typologization of regions; compiled by the authors

Параметр типологизации	Статистический показатель	Расчет*	Уровень		
			высокий и очень высокий	средний	низкий и очень низкий
База (эффект кол-ва) промышленного производства, млрд руб.	Промышленное производство, 2005 г.	$Q_{2005}$	Более 200	70–200	Менее 70
Уровень промышленного производства, млрд руб.	Промышленное производство, 2020 г.	$Q_{2020}$	Более 650	250–650	Менее 250
Динамика промышленного производства	Промышленное производство, 2020 к 2005 г.	$\Delta Q = \frac{Q_{2020}}{Q_{2005}}$	Более 300%	125%–300%	Менее 125%
Уровень производительности труда в промышленном производстве, млн руб./занятого	Промышленное производство на занятых в промышленности, 2020 г.	$P = \frac{Q_{2020}}{L_{2020}}$	Более 4	2.5–4	Менее 2.5
Ресурсоориентированность промышленности	Доля добывающего сектора в промышленном производстве, 2020 г.	$\varphi_M = \frac{M_{2020}}{Q_{2020}}$	Более 50%	15%–50%	Менее 15%
Потенциал развития промышленности, тыс. руб./чел.	Инвестиции в основной капитал в промышленности, 2018–2020 гг.	$I = \frac{\sum I_{2018-2020}}{3}$	Более 900	500–900	Менее 500

\*  $Q$  – промышленное производство региона,  $\Delta Q$  – динамика промышленного производства в регионе,  $P$  – производительность труда в промышленности региона,  $L$  – занятые в промышленном производстве региона,  $M$  – объем промышленного производства региона по виду деятельности “добыча полезных ископаемых” (ОКВЭД-2 “05”),  $\varphi_M$  – доля добывающего сектора в промышленном производстве региона,  $I$  – инвестиции в основной капитал промышленности региона, 2005, 2018, 2020 – индексы, обозначающие год, за который взяты данные для расчета.

типам с учетом классических показателей типологизации: уровня, динамики промышленного производства и производительности труда.

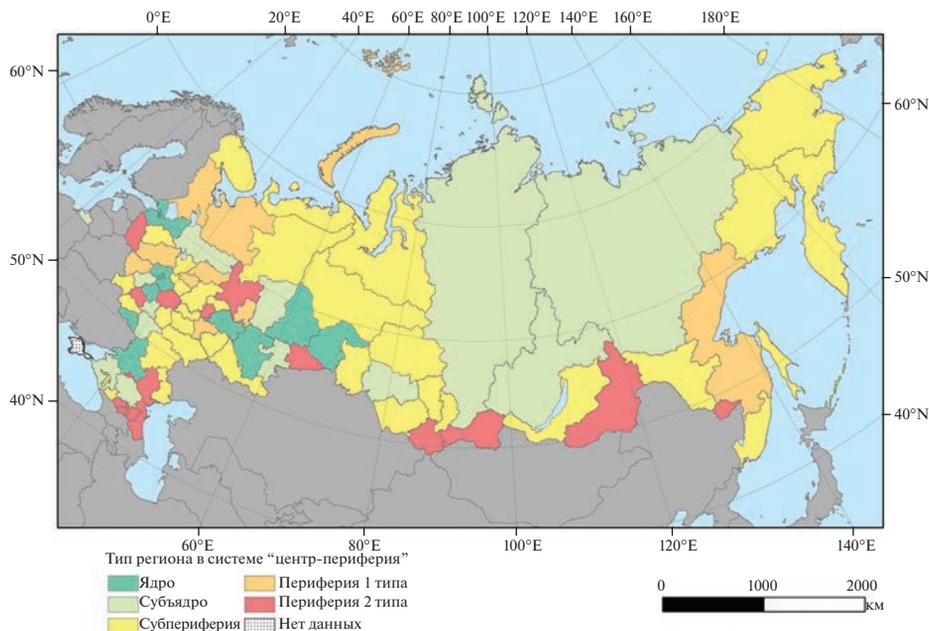
Источником данных для показателей служит Росстат, выбранный период – 2005–2020 гг. с наиболее полным охватом всех выбранных показателей. Все финансовые показатели пересчитаны в ценах 2005 года.

Из анализа исключены Республика Крым и г. Севастополь в связи с несопоставимостью рядов данных. Города Москва и Санкт-Петербург рассматриваются совместно с сопредельными регионами – Московской областью (далее – Московский регион) и Ленинградской областью (далее – Санкт-Петербургский регион) соответственно.

В ходе типологизации регионы разделились на 4 основных типа в системе “Центр–периферия”:

*Ядро (центр)* – регион с высокой базой, высоким уровнем промышленного производства и производительностью труда, высокой динамикой. Преимущественно диверсифицированный (3 ведущие отрасли составляют 50% или меньшую долю промышленного производства) или полиотраслевой (3 ведущие отрасли составляют более 70% промпроизводства).

*Субядро (субцентр)* – регион со средней базой, средней производительностью труда и сильной динамикой. Может быть представлен моноотраслевыми регионами с вы-



**Рис. 1.** Типология российских регионов в системе “центр–периферия”. Составлено авторами.

**Fig. 1.** Typology of Russian regions in “core–periphery” system. Compiled by the authors.

сокими значениями производительности труда. От ядра его отличают “новизна” промышленного развития и/или зависимость от одной отрасли.

*Субпериферия (полупериферия)* – 1) регион с высокой базой и замедлением развития на современном этапе; 2) регион с низкой базой и высокими темпами развития. Основная особенность – субпериферия в высокой степени воспринимает инновации от центров и связана с ними (кооперативными, отраслевыми, социальными связями). Центры во многом “выкачивают” ресурсы из субпериферии.

*Периферия* – регион с относительно низкой базой и слабой динамикой развития. Наименее активно воспринимают инновации и развиваются.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты типологизации представлены в табл. 2.

К *ядерным регионам* отнесены преимущественно диверсифицированные или полиотраслевые сильнопромышленные регионы с высокой базой и конкурентоспособными отраслями (металлургия, химическая промышленность, машиностроение оборонно-промышленного комплекса) (рис. 1).

В группу *субядерных регионов* выделены преимущественно среднепромышленные регионы со средней базой и высокой динамикой. Среди них моноотраслевые регионы со специализацией на металлургии (Липецкая, Вологодская области), регионы “новой” промышленности (Калужская область, Краснодарский край) и ресурсно-промышленные регионы (Красноярский край, Иркутская область и др.).

*Субпериферия* сконцентрировала в себе 40% российских регионов, разделившись на три типа регионов по динамике, среди которых дополнительно были выделены ресурсные и индустриальные регионы.

**Таблица 2.** Усредненные показатели промышленного производства по типам регионов; расчеты авторов по данным Росстата**Table 2.** Average indicators of industrial production by type of regions; authors' calculations according to Rosstat data

Положение в системе "Центр—периферия"	Регионы	Объем пром. производства, млрд руб.		Средний прирост за 2005–2020 гг., %	Доля добычи в пром. производстве, %		Производительность труда, тыс. руб./занятого	
		2005	2020		2005	2020	2005	2020
Национальный уровень	Российская Федерация	165.3	590.7	24%	22%	18%	935.1	3771.6
Ядро	Белгородская, Ростовская, Свердловская, Тульская, Тюменская (без АО) области, Ленинградский регион, Московский регион, Республики Башкортостан, Татарстан	429.6	1875.1	29%	8%	9%	1052.3	4739.9
Субъядро	Вологодская, Воронежская, Иркутская, Калининградская, Калужская, Липецкая, Новосибирская, Челябинская области, Краснодарский, Красноярский, Ставропольский края, Якутия	204.4	1002.7	33%	10%	14%	886.7	4839.3
Субпериферийные регионы со слабой динамикой								
А) Ресурсные	Кемеровская, Мурманская, Оренбургская, Томская области, Коми, НАО, ХМАО, ЯНАО	356.9	438.8	8%	74%	66%	2193.0	2953.3
Б) С крупнородскими агломерациями	Волгоградская, Нижегородская, Самарская, Ярославская области	301.0	400.3	9%	6%	6%	843.3	1474.5
Субпериферийные регионы со средней динамикой								
А) Ресурсные	Камчатский край, Магаданская область, Чукотский АО	16.3	99.1	41%	41%	17%	768.5	4863.5
Б) Крупнопромышленные	Алтайский край, Владимирская, Курская, Новгородская, Омская области, Мордовия, Хакасия	94.2	296.8	21%	5%	5%	679.8	2695.0

Таблица 2. Окончание

Положение в системе “Центр–периферия”	Регионы	Объем пром. производства, млрд руб.		Средний прирост за 2005–2020 гг., %	Доля добычи в пром. производстве, %		Производительность труда, тыс. руб./занятого	
		2005	2020		2005	2020	2005	2020
Субпериферийные регионы с высокой динамикой								
А) Ресурсные	Амурская, Астраханская, Сахалинская области, Бурятия	41.3	742.1	120%	36%	80%	686.8	13245.6
Б) Перерабатывающие сх продукцию	Брянская, Пензенская, Саратовская, Тамбовская области, Приморский край, Адыгея, Марий Эл, Карачаево-Черкессия	44.9	337.4	50%	5%	3%	396.2	3602.2
Депрессивная периферия	Архангельская (без АО), Ивановская, Кировская, Костромская, Орловская, Рязанская, Смоленская, Тверская, Ульяновская области, Хабаровский край, Карелия, Удмуртия, Чувашия	69.0	130.6	13%	10%	8%	496.5	1219.4
Слаборазвитая периферия	Еврейская АО, Забайкальский край, Кабардино-Балкария, Курганская, Псковская области, Алтай, Дагестан, Ингушетия, Тыва, Северная Осетия, Чечня	12.6	43.0	23%	14%	17%	321.3	1069.7

Так, субпериферийные ресурсные и промышленные регионы со *слабой динамикой* отличаются высокой базой. Ресурсные регионы в данной группе обладают месторождениями с истощающимися запасами и, как следствие, замедляющимися темпами развития. Промышленные регионы в данной группе представлены крупногородскими агломерациями (Нижегородской, Самарско-Тольяттинской, Ярославской и Волгоградской) со специализацией на машиностроении и нефтехимии. Трудоемкое и фондоемкое машиностроение указанных регионов, а также кризис в отрасли не позволяет добиться высоких темпов прироста промышленного производства. При этом указанные крупные агломерации продолжают генерировать инновации в промышленности, что является интересной иллюстрацией теории вулкана Гирша.

*Субпериферийные регионы со средней динамикой* отличаются менее конъюнктурной структурой промышленного производства и относительно низкой базой. Ресурсные регионы представлены золотодобычей, которая в высокой степени подвержена конъюнктурным колебаниям спроса на золото. Промышленные регионы в данной группе преимущественно моноотраслевые с “новыми” конъюнктурными отраслями – нефтепереработкой (Омская область), металлургией (Республика Хакасия – дополнитель-

но к динамичной угольной отрасли), производством удобрений (Новгородская область) и пищевой промышленностью (переработка сельскохозяйственной продукции – Мордовия, Курская область, Алтайский край, производство пищевой продукции для мощного агломерационного рынка – Владимирская).

*Субпериферийные регионы с высокой динамикой* включают в себя ресурсные и индустриальные регионы с низкой базой (за счет которой и обеспечен быстрый рост). К ресурсным регионам этой группы относятся нефтегазовые (Астраханская, Сахалинская области), угольные (Бурятия), золотодобывающие с новой специализацией по переработке газа (Амурская область). Индустриальные регионы выделенной группы специализируются на переработке собственной сельскохозяйственной продукции. В данный подтип попали как черноземные регионы центральной части России, так и южные регионы, занятые агрохолдингами, а также Приморский край, активно работающий не столько на относительно большой региональный потребительский рынок, сколько на Китай.

*Периферия* была разделена на *депрессивные регионы* со средней базой и слабой динамикой – по большей части машиностроительные регионы Европейской части России и Дальнего Востока (Хабаровский край) с кризисной деиндустриализацией, которые не смогли в полной степени встроиться в новые рыночные условия. Тем не менее, за счет имеющейся фондовой базы и компетенций указанные регионы еще имеют промышленный потенциал для восстановления.

Другой тип периферии – это *слабопромышленные (или слаборазвитые) регионы* с низкой базой и слабой динамикой. Данный тип включает республики Северного Кавказа, Тыву, Псковскую, Курганскую области и Еврейскую автономную область. Выделенные регионы характеризуются низким уровнем и потенциалом развития промышленности и имеют слабые перспективы для дальнейшего ее развития. Среди наиболее перспективных отраслей для регионов данного типа выделяется пищевая промышленность по переработке собственного сельскохозяйственного сырья.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Промышленное производство продолжает концентрироваться в регионах-центрах, и концентрация только усиливается (табл. 3). Среди основных причин данного процесса является сдвиг структуры промышленности в сторону пищевой (которая активно растет в самых сельскохозяйственных регионах и вблизи крупнейших городских агломераций) и нефтехимической (наиболее сильно развита в крупных агломерациях и вблизи сырья). Московский и Санкт-Петербургский регионы остаются ядерными центрами за счет активного развития как потребительских отраслей промышленности, так и за счет высокотехнологичных отраслей на базе высокого человеческого капитала. При этом сами столицы активно теряют промышленные функции, оставляя тем не менее генерацию индустриальных инноваций. Состав ядерных регионов остается довольно стабильным, в них продолжают концентрироваться инвестиционные и бюджетные ресурсы, а также человеческий капитал.

Усиливается концентрация промышленного производства в субцентрах в основном на фоне роста пищевой промышленности и металлургии. Среди субцентров выделяются регионы с крупными металлургическими компаниями (Северсталь, НЛМК, Мечел, Русская медная компания, Мечел), эффекты от результатов деятельности которых во многом концентрируются в регионах базирования. Сибирской стратегией развития субцентра является сочетание нефтегазовой отрасли (Роснефть, Иркутская нефтяная компания) и цветной металлургии (алюминиевой – РУСАЛ, медно-никелевой – Норникель) и/или добычи драгоценных камней (Алроса) и благородных металлов (Полюс, Полиметалл и др.). Развитием пищевой и строительной отраслей характеризуются крупные центры, генерирующие высокий спрос на производство продук-

**Таблица 3.** Участие типов регионов в генерации производственных показателей; расчеты авторов по данным Росстата**Table 3.** Participation of regional types in the generation of production indicators; authors' calculations according to Rosstat data

Тип в системе “Центр–периферия”	Промышленное производство, трлн руб.		Экспорт, млрд долл.		Занятые в промышленности, млн чел.		Инвестиции в промышленность, трлн руб.	
	2005	2020	2005	2020	2005	2020	2005	2020
Ядро	34%	42%	62%	5%	31%	33%	29%	25%
Субъядро	19%	27%	13%	70%	20%	21%	19%	21%
Субпериферийные регионы со слабой динамикой	30%	10%	15%	4%	19%	17%	31%	34%
Субпериферийные регионы со средней динамикой	5%	5%	5%	5%	7%	6%	5%	5%
Субпериферийные регионы с высокой динамикой	4%	12%	2%	15%	8%	7%	8%	8%
Депрессивная периферия	7%	3%	2%	0%	12%	11%	6%	4%
Слаборазвитая периферия	1%	1%	1%	0%	3%	4%	2%	2%
Всего	13.7	49.0	218.3	4583.3	14.7	13.0	15.4	25.9

ции и ее дистрибуцию в своих регионах – это Новосибирская область, Краснодарский и Ставропольский края. При этом в Новосибирской области высокую роль играют также высокотехнологичные отрасли, а в Ставрополье – химическая промышленность, представленная компанией ПАО “Еврохим”. Практически уникальная стратегия развития субцентров – это появление успешной особой экономической зоны (Калининградская область) или индустриального парка (Калужская область) за счет высокого спроса и дешевых производственных ресурсов. Как правило, субцентры имеют высокую советскую производственную базу, которая в постсоветский период либо модернизировалась, либо дополнилась новыми конъюнктурными отраслями.

Субпериферийные регионы со слабой динамикой уступают место субпериферии с высокой динамикой (ХМАО, ЯНАО, НАО слабеют, уступая Сахалинской, Амурской областям), но оба типа все еще испытывают значимое влияние и зависимость от регионов-центров. В современных геополитических реалиях (на фоне выхода зарубежных компаний из проектов Сахалин-1 и Сахалин-2) мы можем увидеть сильное снижение экономического роста в субпериферии.

Слабую динамику демонстрируют различные по специализации регионы субпериферии, объединенные фактом старопромышленности – угольные Кемеровская область – Кузбасс (ПАО “УГМК”, АО “СУЭК”, АО “УК “Кузбассразрезуголь” и др.) и Коми (ПАО “Северсталь”), металлургическая Мурманская область (ПАО “Норникель”, АО “МХК “Еврохим”), преимущественно нефтедобывающие ХМАО и Томская область (ПАО “Роснефть”, ПАО “Лукойл”, ПАО “Сургутнефтегаз”), газодобывающие Оренбургская область, ЯНАО и НАО (ПАО “Газпром”). Все указанные регионы испытывают зависимость от колеи. При этом отдельные регионы пытаются искать отрасли диверсификации промышленности (ХМАО, Мурманская область), другие стараются углубить имеющуюся специализацию за счет экстенсивного развития и разработки новых месторождений (ЯНАО, НАО). Остальные регионы столкнулись с ситуацией, при которой потеря доминирующей отрасли станет для них фатальной и замены ей пока не существует.

Наиболее активно снижается роль депрессивной периферии (практически полностью представленной Нечерноземьем), что сопровождается убылью населения и чис-

ленности занятых в промышленности. Для депрессивной периферии значимым лимитом роста остается отток кадров в крупногородские агломерации (прежде всего в Московскую и Санкт-Петербургскую). Регионы данного типа тоже подвержены сильному эффекту колеи, однако в более негативной коннотации, чем это характерно для старопромышленной субпериферии – продолжающееся “вымывание” кадров из периферии не позволяет сформироваться здесь достаточно компетентному слою предпринимателей для ведения производственной деятельности. Тем не менее, близость к столицам двояко влияет на периферийные регионы. К примеру, в г. Гагарин Смоленской области работает крупный лесоперерабатывающий завод компании EGGER, обслуживающий емкий московский рынок. Завод, с одной стороны, создает значительное число рабочих мест в городе, а с другой – способствует ухудшению экологической обстановки.

Роль слаборазвитой периферии в российском индустриальном пространстве остается неизменно низкой, однако увеличивается ее доля в численности населения (за счет высокой рождаемости северокавказских республик) и занятости в промышленности (преимущественно за счет выхода отдельных предприятий из теневого сектора).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Сдвиги в положении регионов в системе “Центр–периферия” инерционны. Структура консервативна и практически не изменилась за последние 15 лет.

- За 15 лет усилилась концентрация промышленного производства в регионах-ядрах и субъядрах. При этом инвестиционная динамика говорит о том, что пальма первенства в индустриальном развитии постепенно переходит от ядер к субъядрам.

- Наиболее сильно в структуре промышленного производства по России снизилась роль старопромышленных субпериферийных регионов со слабой динамикой на фоне роста ресурсной субпериферии, у которой динамика высокая. Однако увеличение доли первого типа регионов в структуре инвестирования в промышленность указывает на постепенное смещение акцентов во многом в связи с окончанием инвестиционного цикла крупных ресурсных проектов в регионах второго типа.

- Основными отраслями, способствующими промышленному развитию регионов, являются нефтегазовая, металлургическая и пищевая отрасли. Дополнительное сильное положительное влияние оказывают добыча драгоценных камней и благородных металлов, алюминиевая промышленность, индустрия строительных материалов.

- Постепенно увеличивается роль слаборазвитой периферии в промышленной занятости населения. Это происходит быстрее, чем увеличивается ее роль в промышленном производстве. Основная причина этого – выход небольших промышленных компаний из теневого сектора.

- Дальнейшие исследования центрo-периферийных градиентов должны проводиться на внутрирегиональном уровне с целью выявления локальных центров и периферии в территориальной промышленной структуре региона.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена в рамках работ по гранту РНФ “Центро-периферийность российского индустриального пространства” (проект № 22-27-00425) и в рамках ГЗ № 1.18 “Агломерационные эффекты в развитии территориальных социально-экономических систем”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабурин В.Л.* Инновационные циклы в экономике. М., Эдиториал УРСС, 2002. 120 с.
2. *Бакланов П.Я.* Пространственное развитие региона: основные принципы и подходы к анализу и оценкам // Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2017. № 6. С. 4–12.

3. *Валлерстайн И.* Периферия. Экономическая теория. Под ред. Дж. Итуэлла, М. Милгейта, П. Ньюмена. М., 2004. 671 с.
4. *Гранберг А.Г.* Основы региональной экономики. М.: ГУ ВШЭ, 2000. С. 445–495.
5. *Грицай О.В., Иоффе Г.В., Трейвиш А.И.* Центр и периферия в региональном развитии. М.: Наука, 1991. 167 с.
6. *Замятина Н.Ю.* Антропология зональности: природа и культура в пространственной дифференциации человеческой деятельности // Вестник археологии, антропологии и этнографии (электронный журнал). 2019. № 4 (47). С. 174–185.  
<https://doi.org/10.20874/2071-0437-2019-47-4-14>
7. *Занадворов В.С., Занадворова А.В.* Экономика города. М.: Академкнига, 2003. 272 с.
8. *Земцов С., Царева Ю., Павлов П.* Рыночный потенциал регионов и развитие предпринимательства в России // География и природные ресурсы. 2021. № 3. С. 139–147.  
<https://doi.org/10.15372/GIPR20210315>
9. *Зубаревич Н.В.* Неравенство регионов и крупных городов России: что изменилось в 2010-е годы? // Общественные науки и современность. 2019. № 4. С. 57–70.  
<https://doi.org/10.31857/S086904990005814-7>
10. *Зубаревич Н.В.* Регионы России в период пандемии: социально-экономическая динамика и доходы бюджетов // Журнал новой экономической ассоциации. 2021. № 3. С. 208–218.  
<https://doi.org/10.31737/2221-2264-2021-51-3-10>
11. *Киселева Н.Н. и др.* Территориально-производственные комплексы как форма пространственной организации производства: эволюция и перспективы развития // Региональная экономика и управление. № 5. 2021.
12. *Киселева Н.Н.* Методология исследования пространственной организации промышленности: монография. Пятигорск: РИА-КМВ, 2016. 92 с.
13. *Кузнецова О.В.* Структура экономики российских регионов и уровень их социально-экономического развития // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2018. С. 473–493.  
[https://doi.org/10.29003/m275.sp\\_ief\\_ras2018/473-493](https://doi.org/10.29003/m275.sp_ief_ras2018/473-493)
14. *Лавриненко П.А. и др.* Агломерационные эффекты как инструмент регионального анализа // Проблемы прогнозирования. 2019. № 3 (174). С. 50–60.
15. *Лёш А.* Пространственная организация хозяйства: пер. с нем. / Август Лёш; под редакцией академика А.Г. Гранберга. М.: Наука, 2007. 663 с.
16. *Миньяр-Белоручев К.В.* Ядро и периферия системы международных отношений: характер взаимодействия. Новая и новейшая история. 2019. № 6. С. 5–18.  
<https://doi.org/10.31857/S013038640007606-4>
17. *Родионова И.А., Рубцов В.А., Трофимов А.М.* Классификация стран мира, отражающая тенденции глобального процесса индустриализации. Вестник РУДН, сер. Экономика, 2004. Т. 10. № 1. С. 42–54.
18. *Самойлова Н.А.* Генезис экономического пространства территории // Архитектура и строительство России. 2009. № 11. С. 3–12.
19. *Татаркин А.И., Романова О.А.* Промышленная политика: генезис, региональные особенности и законодательное обеспечение // Экономика региона. 2014. № 2. С. 9–21.
20. *Трейвиш А.И.* Неравномерность и структурное разнообразие пространственного развития экономики как научная проблема и российская реальность // Пространственная экономика. 2019. Т. 15. № 4. С. 13–35.  
<https://doi.org/10.14530/se.2019.4.013-035>
21. *Чистяков П.А. и др.* Центры экономического роста Российской Федерации на муниципальном уровне // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2020. № 4. С. 58–68.
22. *Baburin V.L.* Influence of path dependence on the evolution of industrial areas in Russia // Regional Research of Russia. 2021. V. 11, № 1. P. 80–90.  
<https://doi.org/10.1134/S2079970521010032>
23. *Friedmann J.* Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela. MIT Press. 1966.
24. *Fujita M., Krugman P.R., Venables A.* The spatial economy: Cities, regions, and international trade. MIT press. 1999.
25. *Giersch H.* Aspects of growth, structural change, and employment A schumpeterian perspective. Review of World Economics, 115 (4), 1979. С. 629–652.
26. *Lasuén J.R.* Urbanisation and development – the temporal interaction between geographical and sectoral clusters. Urban studies. 10 (2). 1973. С. 163–188.
27. *Nefedova T.G., Treivish A.I.* Uneven development of old industrial regions in the middle Urals // Regional Research of Russia. 2021. V. 11. № 2. P. 153–167.  
<https://doi.org/10.1134/S207997052102012X>
28. *Nefedova T.G., Treivish A.I., Sheludkov A.V.* Spatially uneven development in Russia // Regional Research of Russia. 2022. V. 12. P. 4–19.  
<https://doi.org/10.1134/S2079970522020071>

29. *Perroux F.* Economic space: theory and applications. The quarterly journal of economics. 64 (1). 1950. С. 89–104.
30. *Richardson H.W.* Regional growth theory. 1973.

### Industrial Regional Space in the “Core–Periphery” System in Russia

M. A. Makushin<sup>1</sup> \*, K. V. Demidova<sup>1</sup> \*\*, and M. D. Gorjachko<sup>1</sup> \*\*\*

<sup>1</sup>*Lomonosov Moscow State University (MSU), Moscow, Russia*

\**E-mail: mihmakush@mail.ru*

\*\**E-mail: metsan\_henki@mail.ru*

\*\*\**E-mail: mgoryachko@yandex.ru*

**Abstract**—the center-periphery model is used to explain modern geographical processes and phenomena, but nobody systematically studies the position of Russian regions in the system of center-peripheral relations. The current study is aimed at eliminating this gap. The purpose of research is to test the methodology for identifying central and peripheral regions in the Russian industrial space and the main features of the industrial development of different types of regions. Statistical and mathematical-statistical research methods based on Rosstat data in 2005–2020. The sample included 83 subjects of the Federation (with the exception of the Republic of Crimea and Sevastopol), for which there are comparable data series. All regions are assigned to one of the types: core, sub-center, sub-periphery, periphery. The nuclear regions include highly industrial regions with a high base and competitive industries. The group of sub-center regions includes medium-sized industrial regions with high dynamics. The sub-periphery concentrated 40% of the Russian regions. Regions of this group were further divided into subtypes according to the dynamics of industrial development and specialization. The periphery was divided into 2 subtypes: 1) depressed regions with a high base shrinking in the post-soviet period; 2) underdeveloped regions with a low base. It is noted that shifts in the center-periphery system are inertial. Over the past 15 years, the concentration of industrial production in cores and sub-centers has increased, but the investment dynamics is higher in sub-centers. The role of old-industrial sub-peripheral regions is most strongly reduced. The role of the underdeveloped periphery in industrial employment of the population is increasing. The findings can be used to further adjust the regional industrial policy and develop a strategy for the spatial development of Russia.

*Keywords:* core, periphery, industrial production, investments, mining, path dependency

### REFERENCES

1. *Baburin V.L.* Innovacionnye cikly v jekonomike. M., Jeditorial URSS, 2002. 120 s.
2. *Baklanov P.Ja.* Prostranstvennoe razvitie regiona: osnovnye principy i podhody k analizu i ocenkam // Social'no-jekonomicheskaja geografija. Vestnik Associacii rossijskih geografov-obshhestvedov. 2017. № 6. S. 4–12.
3. *Vallerstajn I.* Periferija. Jekonomicheskaja teorija. Pod red. Dzh. Itujella, M. Milgejta, P. N'jumena. M.: 2004. 671 s.
4. *Granberg A.G.* Osnovy regional'noj jekonomiki. M.: GU VShJe, 2000. S. 445–495.
5. *Gricaj O.V., Ioffe G.V., Trejvish A.I.* Centr i periferija v regional'nom razvitii. M.: Nauka, 1991. 167 s.
6. *Zamjatina N.Ju.* Antropologija zonal'nosti: priroda i kul'tura v prostranstvennoj differenciacii chelovecheskoj dejatel'nosti // Vestnik arheologii, antropologii i jetnografii (jelektronnyj zhurnal). 2019. № 4 (47). S. 174–185.  
<https://doi.org/10.20874/2071-0437-2019-47-4-14>
7. *Zanadorov V.S., Zanadorova A.V.* Jekonomika goroda. M.: Akademkniga, 2003. 272 s.
8. *Zemcov S., Careva Ju., Pavlov P.* Rynochnyj potencial regionov i razvitie predprinimatel'stva v Rossii // Geografija i prirodnye resursy. 2021. № 3. S. 139–147. <https://doi.org/10.15372/GIPR20210315>
9. *Zubarevich N.V.* Neravenstvo regionov i krupnyh gorodov Rossii: chto izmenilos\ v 2010-e gody? // Obshhestvennyye nauki i sovremennost\ . 2019. № 4. S. 57–70.  
<https://doi.org/10.31857/S086904990005814-7>
10. *Zubarevich N.V.* Regiony Rossii v period pandemii: social'no-jekonomicheskaja dinamika i dohody bjudzhetov // Zhurnal Novoj jekonomicheskoi associacii. 2021. № 3. S. 208–218.  
<https://doi.org/10.31737/2221-2264-2021-51-3-10>

11. *Kiseleva N.N. i dr.* Territorial'no-proizvodstvennye komplekсы kak forma prostranstvennoj organizacii proizvodstva: jevoljucija i perspektivy razvitija // Regional'naja jekonomika i upravlenie. № 5. 2021.
12. *Kiseleva N.N.* Metodologija issledovanija prostranstvennoj organizacii promyshlennosti: monografija. Pjatigorsk: RIA-KMV, 2016. 92 s.
13. *Kuznecova O.V.* Struktura jekonomiki rossijskih regionov i uroven' ih social'no-jekonomicheskogo razvitija // Nauchnye trudy: Institut narodnohozajstvennogo prognozirovanija RAN. 2018. S. 473–493.  
[https://doi.org/10.29003/m275.sp\\_ief\\_ras2018/473-493](https://doi.org/10.29003/m275.sp_ief_ras2018/473-493)
14. *Lavrinenko P.A. i dr.* Aglomeracionnye jeffekty kak instrument regional'nogo analiza // Problemy prognozirovanija. 2019. № 3 (174). S. 50–60.
15. *Ljosh A.* Prostranstvennaja organizacija hozajstva: per. s nem. / Avgust Ljosh; pod redakciej akademika A.G. Granberga. M.: Nauka, 2007. 663 s.
16. *Min'jar-Beloruchev K.V.* Jadro i periferija sistemy mezhdunarodnyh otnoshenij: harakter vzaimodejstvija. Novaja i novejšhaja istorija. 2019. № 6. S. 5–18.  
<https://doi.org/10.31857/S013038640007606-4>
17. *Rodionova I.A., Rubcov V.A., Trofimov A.M.* Klassifikacija stran mira, otrazhajushhaja tendencii global'nogo processa industrializacii. Vestnik RUDN, ser. Jekonomika, 2004. T. 10. № 1. S. 42–54.
18. *Samojlova N.A.* Genezis jekonomicheskogo prostranstva territorii // Arhitektura i stroitel'stvo Ros-sii. 2009. № 11. S. 3–12.
19. *Tatarkin A.I., Romanova O.A.* Promyshlennaja politika: genezis, regional'nye osobennosti i zakonodateľ'noe obespechenie // Jekonomika regiona. 2014. № 2. S. 9–21.
20. *Trevish A.I.* Neravnomernost' i strukturnoe raznoobrazie prostranstvennogo razvitija jekonomiki kak nauchnaja problema i rossijskaja real'nost' // Prostranstvennaja jekonomika. 2019. T. 15. № 4. S. 13–35.  
<https://dx.doi.org/10.14530/se.2019.4.013-035>
21. *Chistjakov P.A. i dr.* Centry jekonomicheskogo rosta Rossijskoj Federacii na municipal'nom urovne // Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 5: Geografija. 2020. № 4. S. 58–68.
22. *Baburin V.L.* Influence of path dependence on the evolution of industrial areas in Russia // Regional Research of Russia. 2021. Vol. 11. № 1. P. 80–90. <https://doi.org/10.1134/S2079970521010032>
23. *Friedmann J.* Regional Development Policy: A Case Study of Venezuela. MIT Press. 1966.
24. *Fujita M., Krugman P.R., Venables A.* The spatial economy: Cities, regions, and international trade. MIT press. 1999.
25. *Giersch H.* Aspects of growth, structural change, and employment A schumpeterian perspective. Review of World Economics. 115 (4). 1979. S. 629–652.
26. *Lasuén J.R.* Urbanisation and development the temporal interaction between geographical and sectoral clusters. Urban studies. 10 (2). 1973. S. 163–188.
27. *Nefedova T.G., Trevish A.I.* Uneven development of old industrial regions in the middle Urals // Regional Research of Russia. 2021. Vol. 11. № 2. P. 153–167.  
<https://doi.org/10.1134/S207997052102012X>
28. *Nefedova T. G., Treivish A. I., Sheludkov A. V.* Spatially uneven development in Russia // Regional Research of Russia. 2022. Vol. 12. P. 4–19.  
<https://doi.org/10.1134/S2079970522020071>
29. *Perroux F.* Economic space: theory and applications. The quarterly journal of economics. 64 (1), 1950. S. 89–104.
30. *Richardson H.W.* Regional growth theory. 1973.

---

---

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ И ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

© 2023 г. С. С. Лачининский<sup>a</sup>, \*, И. А. Логвинов<sup>b</sup>, \*\*, И. С. Сорокин<sup>c</sup>, \*\*\*

<sup>a</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>b</sup>Институт территориального планирования “Урбаника”, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>c</sup>Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: lachininsky@gmail.com

\*\*E-mail: ilia.logwinov@yandex.ru

\*\*\*E-mail: IvannSPb@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.01.2023 г.

После доработки 29.03.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

Статья посвящена обзору, обоснованию современных методов исследования и источников данных по динамике пространственной структуры крупнейших российских городских агломераций. Объектом исследования являются – современные методы и источники данных, а предметом – возможности их использования. На примере второй агломерации в России – Санкт-Петербургской городской агломерации – показано, что междисциплинарный синтез в рамках социально-экономической географии, региональной экономики, городских исследований, геоинформатики и картографии, землеустройства, с применением разнообразных источников данных (данные сотовых операторов, налоговая статистика, жилищное строительство, данные спутниковых наблюдений, деятельность розничных сетей, дорожная сеть), а также использование современных ГИС-комплексов, позволяют оценить эту структуру, ее изменения и пульсацию. Основная задача данного исследования в том, чтобы сделать обзор и критически переосмыслить методы изучения пространственной структуры одной из крупнейших городских агломераций России (Санкт-Петербургской), развивающейся в турбулентный период между 2014 и 2022 гг. Была проведена инвентаризация различных методов и источников данных, с помощью метода рассуждений. Далее выявлены преимущества и недостатки каждой группы методов. Благодаря глубокому библиографическому анализу были выявлены ограничения и возможности эмпирического наполнения (наличие конкретных источников данных). На основе критического анализа преимуществ и недостатков получена итоговая балльная оценка применимости и полезности рассмотренных методов для Санкт-Петербургской городской агломерации. Авторский вклад заключается в адаптации современных групп методов исследования пространственной структуры городов для изучения рассмотренной агломерации, с учетом локальной специфики и оценка применимости и полезности рассмотренных методов именно для Санкт-Петербургской городской агломерации. Предполагается, что разработка современной методики изучения пространственной структуры Санкт-Петербургской городской агломерации, основанной на симбиозе современных методов и источников данных внесет определенный вклад в исследования крупнейших российских агломераций.

*Ключевые слова:* Санкт-Петербургская городская агломерация, пространственная структура, динамика, методика, источники данных, возможности использования

**DOI:** 10.31857/S0869607123010044, **EDN:** ICAKMQ

## ВВЕДЕНИЕ

Города играют важную роль в жизни общества и эта роль продолжает расти по мере роста урбанизации в мире: в 2020 г. в городах проживало уже более 56%, а к 2030 г. доля горожан в мире увеличится до 60% или 5.2 млрд чел. [43]. Развитие городов и их эффективность зависит от множества факторов: экономико-географического положения; влияния экономической ситуации на уровне региона, страны, мира; смена технологических укладов и, не в последнюю очередь, от пространственной структуры города [17]. Функциональные (варианты землепользования) и морфологические (этажность застройки, взаиморасположение домов и др.) элементы пространства города влияют на комфортность городской среды и эффективность организации пространства, что, в конечном счете, влияет на социально-экономическое развитие города [33].

Актуальность исследований пространственной структуры возрастает и не в последнюю очередь это связано с увеличением количества, качества и особенно доступностью данных, позволяющих применять новые или эффективнее использовать старые методы исследования. К таким данным относятся материалы спутникового зондирования (например, изменения в землепользовании по территории) [35]), данные сотовых операторов [1, 2], реестров субъектов экономической деятельности (например, на основе базы данных СПАРК-Интерфакс [18]), материалы открытых картографических основ (например, данные проекта Open Street Map (OSM) [36]), данные о точках интересов [44], данные о возрасте домов (например, данные реформы ЖКХ [10] и другие, а также их интеграция (например, интеграция данных дистанционного зондирования и данных OSM для выделения типов новой застройки [41]). Особенностью обозначенных данных является то, что они игнорируют административно-территориальное деление (АТД), позволяющие получить более объективную картину пространственных явлений и исключить ошибку модифицируемых площадных ареалов [42].

Однако большинство данных (в целом это не касается только данных дистанционного зондирования), которыми пользуются исследователи, обладают своими индивидуальными особенностями. Например, данные о субъектах экономической деятельности исследователи извлекают из реестров, формируемых с разной полнотой и в том же контексте они могут включать или только юридических лиц [18], но и физических лиц (индивидуальных предпринимателей) [27]. Здесь в пример можно поставить данные о жилом фонде, когда исследователи из Польши применяют только информацию о местоположении зданий и годе их постройки [39], а в России, в рамках проекта реформы ЖКХ, имеются данные по этажности, жилой и нежилой площади зданий [20]. Имеются и варианты, когда исследователи создают уникальные наборы данных, которые сложно сформировать для других территорий (например, данные о жилищных проектах) [11]. Обозначенные различия в целом связаны с различиями в темпах цифровизации, доступности открытых данных, что с одной стороны является препятствием для абсолютно точного повторения исследований для любой территории, а с другой стороны дает возможности для улучшений или создания нового.

Индивидуальность данных обуславливает необходимость актуализации методики и эмпирической базы в контексте исследования Санкт-Петербурга. Это позволит рассмотреть пространственную структуру Санкт-Петербургской агломерации по-новому, получить более объективную картину тех или иных элементов пространства агломерации.

## МЕТОДЫ И ДАННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для актуализации методов и источников данных для исследования городских агломераций были рассмотрены современные географические и социально-экономические работы, на основе общей междисциплинарной пространственной парадигмы, по городской проблематике, опубликованные в высокорейтинговых зарубежных и отечественных журналах. Разобранные методы *были разбиты на группы* в зависимости от применяемых данных и были адаптированы для целей исследования Санкт-Петербургской городской агломерации с учетом имеющейся обеспеченности данными.

На основе анализа современного опыта изучения пространственной структуры городских агломераций можно в целом выделить 4 группы методов исследования, в зависимости *от используемых типов данных*:

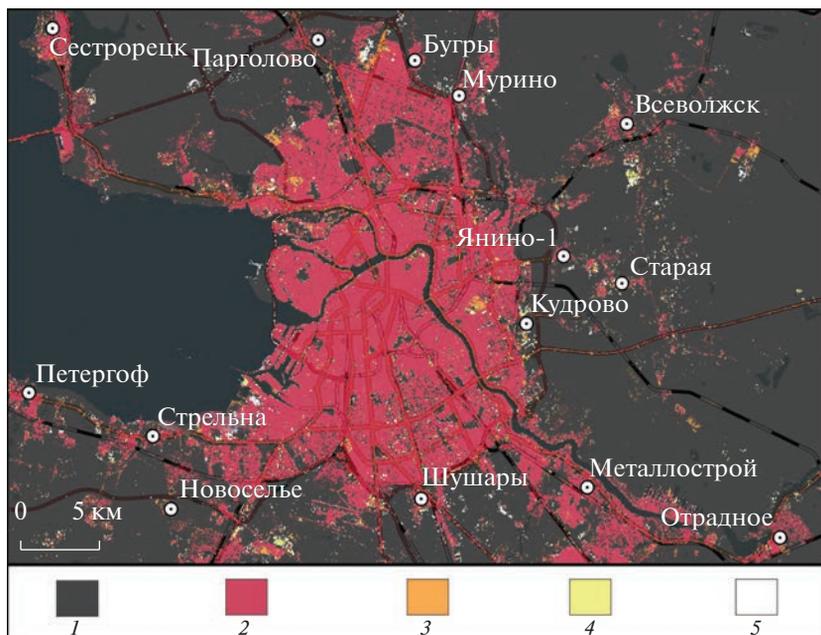
- 1) данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ);
- 2) данные о зданиях, данные о местоположении экономических акторов (юридические лица и розничные сети);
- 3) данные сотовых операторов;
- 4) данные о дорожной сети.

Обозначенный перечень не является исчерпывающим, однако в контексте Санкт-Петербургской агломерации является наиболее применимым, т.к. эти группы методов уже прошли определенную апробацию и могут быть использованы в ближайших исследованиях.

*Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ).* Использование мультиспектральных космических снимков для изучения пространственной структуры городов является крайне распространённым методом исследования, особенно в развивающихся странах [35, 37]. Наиболее часто для таких работ используются космоснимки проекта Landsat, имеющие продолжительный временной ряд, но данные космические снимки, с пространственным разрешением до 30 м, не позволяют учесть функциональную неоднородность города и его новых территорий [40]. Конечно, часть исследователей в целом используют возможности и получают космические снимки очень высокого разрешения (1–10 м), которые позволяют выделить функциональные особенности территории [35]. Однако получить аналогичные данные могут не все. В целом качественная классификация космоснимков зачастую является трудоемким процессом, воспроизводимость которого для других территорий последующими исследователями затруднена (особенно не профильными специалистами в области ДДЗЗ) [31].

Исходя из этого использование данных дистанционных зондирования можно адаптировать для Санкт-Петербургской агломерации путем использования уже обработанных ДДЗЗ. Это позволит задействовать такие материалы для большего круга исследователей, а также упростит возможность повторения такого исследования для других территорий. Наиболее качественным вариантом обработанных ДДЗЗ, по мнению авторов, являются данные из проекта *Global Human Settlement Layer (GHSL)* [41].

Летом 2022 г. был выпущен обновленный набор материалов, содержащий данные на 2018 год о *городской застройке* в пространственном разрешении 10 м (классификация на основе машинное обучение снимков Sentinel-2), *этажности* (на основе интеграции с цифровой моделью рельефа) и *функциональном назначении* (на основе интеграции с функциональным зонированием в проекте OSM), *застройки* в пространственном разрешении 100 м для исследования пространственной структуры в моменте. Для исследования динамики застройки можно использовать более старые данные с пространственным разрешением 30 м (снимки Landsat) на 1975–2015 гг. (рис. 1). Также возможно извлечение количественных характеристик на основе агрегирования данных по регулярной сетке (например, 250 м или 1 км [31]) по административно-территориальным единицам.



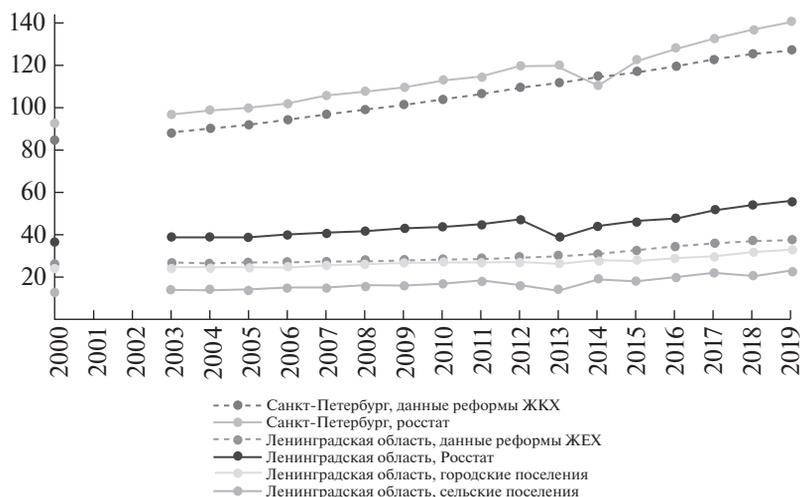
**Рис. 1.** Период появления городской застройки, 1 – застройка отсутствует, 2 – была в 1975 г., 3 – с 1975 по 1990 гг., 4 – с 1990 по 2000 гг., 5 – с 2000 по 2015 гг., на основе данных проекта GHSL, пространственное разрешение 30 м.

**Fig. 1.** Built-Up dynamics based on GHSL data, spatial resolution 30 m.

Данный способ оценки пространственного развития агломерации *применим для выявления и описания практически всех процессов в агломерации*. Возможно охарактеризовать урбанизацию, выражающуюся в данном способе появлением новых ячеек городской застройки, примыкающих к городскому ядру, или субурбанизацию, выражающуюся в появлении городских ячеек.

*Преимуществами данной методики* является полное игнорирование данных статистических служб, т.к. они абсолютно не используются при дистанционном зондировании Земли. Также эти данные обладают таким важным свойством как запечатление полноценного временного среза: космоснимок представляет однозначную информацию о пространстве в исследуемом периоде, в отличие от данных по возрасту зданий, когда неизвестно, что было на этом месте до года постройки. *Недостатком данного способа* можно считать создание новой ошибки модифицируемых площадных ареалов в виде ячеек космоснимка (в целом не столь критична при разрешении 30 на 30 м). Также недостатком является отсутствие учета наполнения пространства ячейки с застройкой: т.к. ячейки с размером  $30 \times 30$  м просто делятся на застройку и не застройку (без учета той же этажности), то ячейка застройки может являться, например, индустриальным центром, зоной исторического центра, многоэтажными новостройками и т.д., в то время как по ДДЗЗ определить это будет невозможно.

**Данные о зданиях.** Исследование застройки на основе данных о большинстве зданий города стали значительно доступнее в наши дни за счет развития геоинформационных средств и доступности данных [32]. Качество доступных данных влияет на то, что можно исследовать: наличие данных о возрасте построек позволяет исследовать динамику пространственной структуры города, а наличие данных по этажности и особен-



**Рис. 2.** Площадь жилого фонда Ленинградской области и Санкт-Петербурга, млн. м<sup>2</sup>, по данным Росстата (сплошные линии) и оценка на основе данных реформы ЖКХ (пунктирная линия), составлено автором по [23].

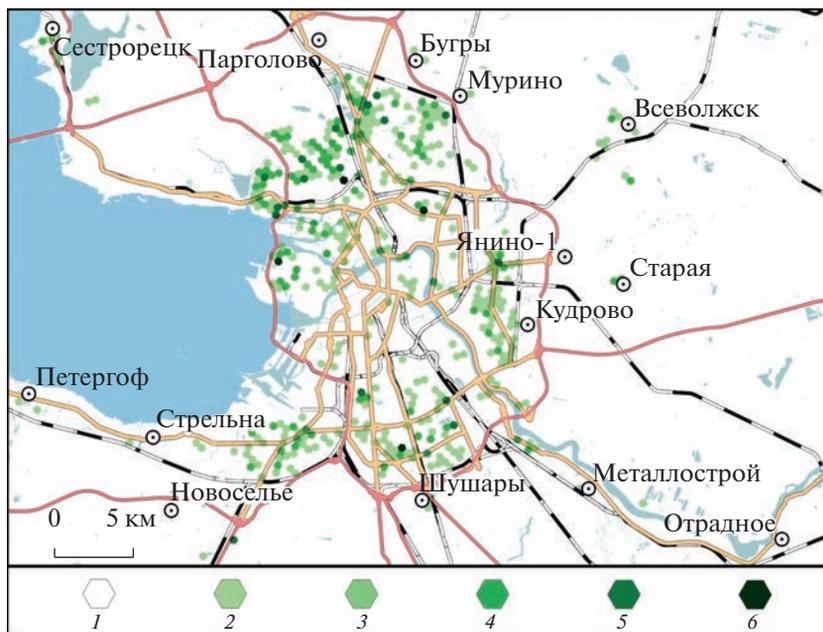
**Fig. 2.** The area of the housing stock in the Leningrad Oblast and St. Petersburg, million m<sup>2</sup>, according to Federal State Statistics Service (solid lines) and an estimate based on based on Housing and Utilities reform data (dashed lines), compiled by the author based on.

но жилой площади позволяет косвенно рассмотреть плотность населения в пространстве города [39]. Также возможно изучение жилищного строительства, основанное на картографировании крупных жилищных проектов и их анализе [11].

Однако, по мнению авторов, наиболее значимыми являются данные реформы ЖКХ, которые являются открытыми и доступными для скачивания с сайта [23]. Они содержат данные о площади жилых помещений многоквартирных домов, годе и серии постройки, инфраструктуре многоквартирного дома и самое главное, адрес в соответствии с федеральной информационно-адресной системой (ФИАС). Это позволяет сделать географическую привязку данных реформы ЖКХ в виде точек при помощи геокодирования и в дальнейшем использовать для анализа жилищного строительства, с отрывом от АГД. Данные реформы ЖКХ уже активно используются в исследованиях градостроителей, планировщиков и архитекторов [10], урбанистов [20], или картографов [3] и другие. Жилищное строительство является важным элементом. масштабное жилищное строительство вызывает изменения пространственной структуры расселения, рабочих мест, маятниковой миграции, транспортных потоков в агломерации, а через миграционный приток связано с национальной системой расселения и межрегиональным неравенством [12].

Данный метод можно адаптировать для Санкт-Петербургской агломерации, из-за того, что в целом жилой фонд представлен, прежде всего, многоквартирными домами: недооценка жилищного фонда из-за отсутствия данных по индивидуальному жилищному строительству по Санкт-Петербургу составляет 7.8%, а по Ленинградской области 31.8% (рис. 2).

В качестве примера можно привести использование сетки гексагонов, для отображения пространственных закономерностей о вводе жилого фонда в 2000–2008 гг. (рис. 3), периода, по которому затруднены количественные оценки из-за преобладания точечной, уплотнительной застройки [7].



**Рис. 3.** Объем ввода жилого фонда многоквартирных домов в 2000–2008 гг., тыс. м<sup>2</sup> в гексагоне 0.25 км<sup>2</sup>: 1 – отсутствует, 2 – 1–50, 3 – 50–100, 4 – 100–150, 5 – 150–250, 6 – 250–400, на основе данных реформы ЖКХ.  
**Fig. 3.** Spatial distribution of housing stock apartment house in 2000–2008, based on Housing and Utilities reform data.

Данные реформы ЖКХ позволяют исследовать *косвенное распределение населения в агломерационном пространстве*, как напрямую, через показатель жилищной обеспеченности, так и косвенно, за счет перераспределения данных статистики по домам на основе их площади (основа дазиметрического метода отображения пространственных явлений [38]). Также за счет данных о годе постройки следует рассматривать пространственно-временную динамику жилищного строительства.

Что касается *недостатков*, то следует отметить невозможность фиксации полноценного временного среза (данные просто обновляются, а архивных версий еще не предусмотрено), т.к. невозможно установить, что было на месте многоквартирного дома, до его постройки (станет особенно актуально в случае полноценной реновации в Санкт-Петербурге). Недостатком также является отсутствие данных по многоквартирным домам, из-за чего использование данного метода для исследования пригородных территорий за пределами городского ядра может быть затруднительно.

**Данные о местоположении экономических акторов.** Базы данных по юридическим лицам, активно используемые при изучении экономики предприятий, также начинают активно использовать в экономико-географических исследованиях [18, 27, 34].

Данные о локализации и выручке юридических лиц являются первичными статистическими данными, которые агрегируются на уровне АТД. Соответственно исследователь за счет этих данных получает возможность игнорировать АТД и самостоятельно преобразовывать первичные данные. Развитие данного направления во многом стало возможно за счет увеличения доступности инструментов геокодирования, позволяющих перевести огромное количество адресов юридических лиц в географические координаты. Также данные о размещении экономических акторов предоставля-

ются картографическими справочниками, причем компания 2ГИС в конце 2022 г. представила свой продукт “2ГИС Про”, являющийся инструментом для анализа и визуализации данных на карте [28], который можно использовать в городских исследованиях.

В контексте агломерации Санкт-Петербурга возможны исследования пространственной структуры на основе базы данных “СПАРК-Интерфакс”, к которой получают доступ все большее количество университетов России [5] и, следовательно, исследователей. Данная система позволяет получать информацию о показателях бухгалтерской отчетности, в том числе о выручке, через которую косвенно оценивался валовой внутренний продукт (ВВП) муниципальных образований [25, 27] и, соответственно, также можно оценить произвольные территории города. Это позволяет получить представление о пространственном распределении экономической активности в городе. Также на основе данных реестров юридических лиц, возможно, исследовать дачную субурбанизацию, которую исследуют преимущественно по муниципальным образованиям на основе сельскохозяйственных переписей [9, 13]. Из реестров юридических лиц, возможно, сформировать пространственные данные по некоммерческим товариществам (основной форме существования дачников) и получить картину их распространения в пригородах.

*Достоинств* у методик, опирающихся на базу данных СПАРК-Интерфакс, несколько.

Во-первых, исследователи получают возможность оценить экономическую активность той или иной территории без привязки к АТД.

Во-вторых, временной ряд базы данных СПАРК-Интерфакс существенно длиннее, чем у большинства данных из базы данных показателей муниципальных образований: 1999 год против 2009–2011 гг.

В-третьих, данные реестров юридических лиц включают строки из бухгалтерской отчетности, из которых можно самостоятельно вычислить макроэкономические показатели для анализа (например, [25, 27]).

Однако имеется ряд *недостатков* в данных реестров по юридическим лицам. Во-первых, база данных СПАРК-Интерфакс использует постоянно обновляемую базу данных единого государственного реестра юридических лиц (ЕГРЮЛ), из-за чего адреса организаций в выборках являются актуальным на сегодняшний день. Поэтому, например, в выборке данных за 2000 г. адрес у ПАО “Газпром” уже будет “г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Лахта-Ольгино, пр-т Лахтинский, д. 2, к. 3, стр. 1” или Лахта-Центр, что не соответствует действительности. Это существенно ограничивает пространственно-временные исследования на основе данных реестра юридических лиц. Во-вторых, в выгрузках указывается адрес только главного подразделения, без адресов филиалов, из-за чего нельзя получить полную картину распределения экономической активности на территории. Последний недостаток, в целом, можно решить за счет интеграции с данными справочников, такими как 2ГИС для наших дней или “Желтые страницы” для более ранних периодов.

*Данные сотовых операторов* активно используются в исследованиях пространственной структуры городов, их суточных ритмов, позволяя рассматривать перемещения и размещение населения [1]. В России исследования на основе сотовых данных проводятся, прежде всего, в Москве [2]. К сожалению, подобное исследование для других городов России не может быть реализовано по причине отсутствия доступа к данным мобильных операторов. В контексте Санкт-Петербурга данное направление является пока лишь перспективным и декларированным, т.к. только недавно была получена данная система [4], а крупные исследования отсутствуют.

Данные сотовых операторов позволяют оценить ночное и дневное население с последующей делимитацией городской агломерации [15], оценивать реальное население в агломерации [16], изучать особенности дачного населения [14] и т.д. Важнейшим

преимуществом данных сотовых операторов является возможность рассмотрения не просто годовой, но и сезонной, месячной и суточной динамики, выделить ночное и дневное население территории. *Недостатком* же является вопрос доступности данных, из-за которого повторять исследования на основе данных операторов другими исследователями и в других городах пока невозможно.

**Данные о дорожной сети.** Транспортная инфраструктура является важнейшим элементом любой городской агломерации. Е.Н. Перцик сформулировал следующее определение понятия “городская агломерация”: “Система территориально сближенных и экономически взаимосвязанных населенных мест, объединенных устойчивыми трудовыми, культурно-бытовыми и производственными связями, общей социальной и технической инфраструктурой, а также интенсивными маятниковыми передвижениями” [19]. Очевидно, что даже в самом определении этого понятия заложена определяющая роль транспортной инфраструктуры: именно с ее помощью осуществляются все виды связей, а также маятниковые передвижения населения.

Транспортная инфраструктура городской агломерации выполняет три основные функции [8]:

1. Обеспечение внутригородских связей. Эту роль выполняет улично-дорожная сеть городов, входящих в агломерацию.

2. Обеспечение агломерационных связей. Эту роль выполняют автодороги, связывающие между собой населенные пункты, входящие в состав городской агломерации.

3. Обеспечение внешних связей. Эту роль выполняют автодороги, связывающие транспортную инфраструктуру агломерации с внешним миром.

Связующие функции выполняют автодороги различных классов. Классификация улично-дорожной сети города регламентируется СНиП 2.07.01-89 [26]. В рамках данного документа выделяются различные классы автомобильных дорог, среди которых: скоростные дороги, магистрали непрерывного движения, магистрали городского значения регулируемого движения I и II классов, магистрали районного значения.

Пространственный анализ данных о дорожной сети, в совокупности с использованием прочих видов данных, позволяет сделать выводы об уровне развития отдельных территорий городской агломерации, а также степени связности их между собой и с ядром агломерации. Кроме того, возможен анализ внешних связей, выявление контактных зон на пересечении границ городской агломерации и основных внешних магистралей, которые обладают особой значимостью и часто являются промышленными и логистическими центрами.

Особую роль играют *данные о перспективном развитии дорожной сети*, которые позволяют получить информацию о направлениях пространственного развития городской агломерации. Источников таких данных могут являться документы территориального планирования, среди которых можно выделить: схемы территориального планирования (региональные и муниципальные), генеральные планы, прочие документы (например “Концепция совместного градостроительного развития Санкт-Петербурга и территорий Ленинградской области”, “Концепция развития транспортной системы Санкт-Петербурга”). В таких документах содержится информация о важнейших проектах в области транспортной инфраструктуры.

Однако строительство и реконструкция транспортной инфраструктуры зачастую является сложным и дорогостоящим мероприятием, в связи с чем далеко не всегда даже самые важные проекты удается быстро воплотить в жизнь. Поэтому особую роль играют документы, содержащие информацию о первоочередных проектах в области транспортной инфраструктуры, реализация которых намечена на ближайшее время. Источниками данных могут служить региональные инвестиционные программы в области транспорта, материалы национального проекта “Безопасные качественные дороги”, утвержденные проекты планировки территории (для линейных объектов).

Использование данных о перспективном развитии дорожной сети позволяет определить направления пространственного развития агломерации, предсказать возможную трансформацию роли отдельных территорий агломерации и динамику связей между ними.

Важным *плюсом* использования данных о дорожной сети является их универсальность, доступность, простота обработки и интерпретации. Важно помнить, что наибольших результатов можно достичь при использовании данных о дорожной сети в комплексе с прочими видами данных.

Обозначенные группы методов являются крайне актуальными при исследовании Санкт-Петербургской агломерации (табл. 2) как по одиночке, так и в комплексе. Проведенная их полная или частичная апробация показывает возможность их применения, а балльная оценка применимости и полезности рассмотренных методов для Санкт-Петербургской городской агломерации дала возможность понять применимость именно здесь (см. табл. 1).

Тренд на использование новых данных и, соответственно, подходов и методов к исследованию городов очевиден. Современный уровень развития информационных технологий позволяет взглянуть на пространственную структуру агломераций по-новому. Арсенал этих новейших методов и источников данных, в целом, достаточно широк, но в контексте Санкт-Петербургской агломерации применима часть данных методов. Связано это в целом с доступностью данных на современном развитии в стране и городе, в частности цифровизации, от которой зависит спектр доступных данных.

Несомненным преимуществом рассмотренных подходов и методов является возможность рассмотрения пространственной структуры города без привязки к АТД, т.к. оно перекрывает собой или не полностью вмещает в себя те или иные пространственные явления в городе.

Также важно понимать, что на рассмотренные методы и подходы имеется спрос в практике городского планирования и управления.

Данные не о размещении населения, объектов ритейла, рекреации и др. не по АТД активно используются предпринимателями при принятии решения о размещении бизнеса [28].

Однако использование описанных авторами методов обладает рядом недостатков. В первую очередь это касается информативности и полноты данных. Например, данные о жилом фонде многоквартирных домов или выручке юридических лиц все-таки менее информативны для исследователя, чем просто данные о численности населения или фонде заработной платы, которые предоставляются Росстатом [29]. С другой стороны, на основе данных сотовых операторов можно получить куда более информативные данные о ночном и дневном населении территории, увидеть суточные пульсации в городском пространстве. Однако в большинстве своем данные не статистических служб уступают по своей информативности. В целом обозначенная проблема в перспективе может исчезнуть, т.к. обозначился тренд на предоставление обезличенных микроданных статистических служб [24]. Соответственно и данные статистических служб в целом будут использоваться исследователями аналогично новейшим подходам и методам.

Важнейшим недостатком обозначенных методов является то, что *они не совсем пригодны с управленческой точки зрения, т.к. решения местных властей принимаются прежде всего на уровне АТД*. Данная особенность в целом является проблемой в развитии городских агломераций, т.к. построение межмуниципального сотрудничества является отдельной трудностью [30]. Проблема межмуниципального сотрудничества активно рассматривается государством, о чем свидетельствует стратегия пространственного развития [25], проект федерального закона о городских агломерациях [21], появление горизонтальных межбюджетных трансфертов [22] и другие. Исходя из этого можно

**Таблица 1.** Балльная оценка рассмотренных методов, источников данных в целях исследования пространственной структуры Санкт-Петербургской агломерации**Table 1.** The scoring of the considered methods and data sources in order to research of the spatial structure of the Saint-Petersburg agglomeration

Исследовательская задача	Группа методов	Оценка (от 1 до 5)	
		полезности метода для данной задачи	реалистичности применения метода для данной агломерации
Обзор и критическое переосмысление методов изучения пространственной структуры Санкт-Петербургской агломерации, развивающейся в турбулентный период между 2014 и 2022 гг.	Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ)	5	5
	Данные о зданиях (в том числе жилом фонде)	3	4
	Данные о местоположении экономических акторов (юридические лица и розничные сети)	3	3
	Данные сотовых операторов	5	2
	Данные о дорожной сети	4	5
	Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ)	4	4
Выявлены преимущества и недостатки каждой группы методов	Данные о зданиях (в том числе жилом фонде)	4	4
	Данные о местоположении экономических акторов (юридические лица и розничные сети)	4	3
	Данные сотовых операторов	4	1
	Данные о дорожной сети	5	5
	Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ)	4	5
	Данные о зданиях (в том числе жилом фонде)	4	4
Благодаря глубокому библиографическому анализу выявлены ограничения и возможности эмпирического наполнения (наличие конкретных источников данных)	Данные о местоположении экономических акторов (юридические лица и розничные сети)	4	2
	Данные сотовых операторов	3	2
	Данные о дорожной сети	5	5
	Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ)	13	14
	Данные о зданиях (в том числе жилом фонде)	11	12
	Данные о местоположении экономических акторов (юридические лица и розничные сети)	11	8
Итоговая балльная оценка применимости и полезности рассмотренных методов для Санкт-Петербургской городской агломерации	Данные сотовых операторов	12	5
	Данные о дорожной сети	14	15

считать, что в ближайшем будущем ориентированность на АТД при принятии решений на муниципальном уровне снизится и рассмотренные современные подходы и методы будут все более актуальны и при управленческих решениях.

Еще одним недостатком можно считать *известную трудность визуализации и количественных расчетов*. В большинстве своем новые данные, используемые современными исследователями городского пространства, представляют собой совокупность то-

**Таблица 2.** Особенности Санкт-Петербургской агломерации, определяющие применимость рассмотренных методов**Table 2.** The Saint-Petersburg agglomeration features that determine the applicability of considered methods

Особенность агломерации	Применимый метод	Обоснование использования метода
Доминирование в жилом фонде многоквартирных домов	Данные о зданиях (в том числе о жилом фонде)	Разница между данными Росстата и данными с сайт реформы ЖКХ об объеме жилого фонда незначительна
Доминирование в жилищном строительстве многоквартирных домов	Данные о зданиях (в том числе о жилом фонде)	По данным Росстата, на жилые дома, построенные населением за счет собственных и привлеченных средств, приходится в среднем менее 10% от общего ввода жилья в Санкт-Петербурге
Фактическое отсутствие реновации	Данные о зданиях (в том числе о жилом фонде)	Из-за отсутствия реновации, данные о жилом фонде пригодны для исследования динамики жилого фонда, т.к. не происходит последние полвека (массовая) смена одного жилого здания на другое
Развитость сервисов онлайн справочников, в том числе архивных	Данные о местоположении экономических акторов (юридические лица и розничные сети)	Имеется возможность извлечения текущих (с помощью сервиса 2ГИС) и архивных (онлайн версии "Желтых страниц") данных о ритейле
Наличие крупных центров деловой активности регионального и странового масштаба	Данные о местоположении экономических акторов (юридические лица и розничные сети)	За счет сервисов, агрегирующих данные о юридических лицах (например, база данных "СПАРК-Интерфакс"), можно получить пространственные данные о размещении деловой активности
Вхождение в зону покрытия большинства космических съемок	Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ)	Возможность использования общедоступных ДДЗЗ
Наличие доступа к геоаналитическим данным сотовых операторов у властей Санкт-Петербурга	Данные сотовых операторов	Теоретическая возможность получения данных в исследовательских целях (по аналогии с опытом Московских исследователей)

чных локализованных объектов: предприятия, жилые дома, абоненты сотовой связи и др. Их отображение на картах привычными методами картограмм или картодиаграмм является не совсем уместным, т.к. важнейшей задачей является избегание АТД в целом. Но возможно при коррекции территориальных единиц *на основе дазиметрического метода* [38]. К *методам отображения точечных явлений и объектов*, в целом, можно отнести: 1) так называемые *теплокарты*, где кластеризация точек происходит в группах, а агрегация происходит по территориальным единицам (например, АТД или городские кварталы); 2) искусственные регулярные сетки различной формы (квадраты, гексагоны и другие); 3) производные геометрии и их площади (полигоны Вороного или Триангуляции Делоне); 4) атрибуция точек через матрицу расстояний; 5) трехмерная визуализация (производные от карт-агрегаций и теплокарт) [6]. Однако несмотря на то, что описанные способы визуализации в целом могут сразу быть восприняты, количественные характеристики явлений проще анализировать по АТД.

В целом обозначенные недостатки не стоит считать критическими и причиной для отказа от использования рассмотренных методов исследования городских агломераций. Тем более что намечается тренд на минимизацию данных недостатков. В то же время преимущества являются значимым доводом к использованию новых методов.

## ВЫВОДЫ

В современных исследованиях городских агломераций все активнее используются новые методы и источники данных в исследовании, имеющие ряд преимуществ и определенные недостатки. Их актуализация в контексте исследования Санкт-Петербургской агломерации крайне необходима, для получения все более комплексных и информативных данных о городском пространстве. Предложенная актуализация современных подходов и методов по критерию используемых данных и апробация части из них на примере Санкт-Петербургской агломерации существенно расширяет арсенал применимых инструментов для исследования городских агломераций авторами и другими исследователями, из-за возможности масштабирования и повторения другими исследователями на примере других агломераций.

На основе балльной оценки рассмотренных методов, источников данных в целях исследования пространственной структуры Санкт-Петербургской агломерации было выявлено, что данные о дорожной сети получили максимально возможный балл (14) в рамках полезности метода и максимальный балл (15) в рамках реалистичности применения метода для данной агломерации. Высокую полезность и реалистичность имеют: данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ); данные о зданиях (в том числе жилком фонде).

В апробированных методах обозначены основные преимущества, связанные, прежде всего: с возможностью *избежать часто меняемое и далекое от реальных задач АТД*, а также, в некоторых случаях, *возможность анализа длительного временного ряда* (например, данные дистанционного зондирования, отчасти данные реформы ЖКХ) или *получение производных данных* (например, ВВП по данным выручки юридических лиц). Однако имеются и недостатки, такие как: *преимущественное использование АТД и данных по нему при управленческих решениях на местном уровне; сложность визуализации и количественных оценок и, конечно же, пониженная информативность большинства данных* в сравнении с имеющимися данными у статистических служб. Однако влияние этих недостатков постепенно снижается в условиях развития информационных технологий, повышения качества государственного управления, повышения открытости и разнообразия данных. Исходя из этого можно считать, что применение новейших методов в исследовании городских агломераций крайне необходимо.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование проведено в рамках реализации научного проекта № 23-27-00084 “Пространственная и функциональная структура крупнейших городских агломераций России, в условиях возросших геоэкономических рисков: новые подходы, инструментарий и рекомендации по совершенствованию”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабкин Р.А.* Опыт использования данных операторов сотовой связи в зарубежных экономико-географических исследованиях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. Т. 66. № 3. С. 416–439.
2. *Бабкин Р.А.* Динамика расселения Московского региона по данным сотовых операторов. Дисс. на соиск. Уч. ст. к-та географ. наук, М.: МГУ. 2020. URL://istina.msu.ru/dissertations/333129487/.
3. *Барышкин П.А., Алексеенко Н.А.* Изучение структуры жилищного фонда шахтерских моногородов с помощью картографического метода (на примере городов Кимовск и Кировск) / ББК 26.1 Н34. 2022. С. 3.
4. *Власти Петербурга соберут данные сим-карт жителей и гостей города [Электронный ресурс] URL: [https://www.rbc.ru/spb\\_sz/05/10/2021/615c1d8d9a79475c9ac44ce4](https://www.rbc.ru/spb_sz/05/10/2021/615c1d8d9a79475c9ac44ce4) (дата обращения 18.07.2022).*

5. Интерфакс ЛАБ расширяет академическое взаимодействие с университетами [Электронный ресурс] – URL: <https://spark-interfax.ru/articles/interfax-lab-rashiryayet-sotrudnichestvo-s-universitetami/> (дата обращения 20.05.2022).
6. Казаков Э. Десять подходов к визуализации плотности точечных данных в QGIS 3 [Электронный ресурс] – URL: [http://spbgeotex.ru/6\\_urban](http://spbgeotex.ru/6_urban) (дата обращения 18.12.2022).
7. Как менялись новостройки Петербурга: от 40-х годов до наших дней [Электронный ресурс] – URL: <https://www.fontanka.ru/2018/05/18/066/> (дата обращения 20.05.2022).
8. Кельбах В.С. Транспортная инфраструктура как элемент городской агломерации // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2013. Вып. 2. С. 135–144.
9. Краснов А.И., Логвинов И.А. Летнее население Псковской области: качественная и количественная оценка // Псковский регионологический журнал. 2022. Т. 18. № 1. С. 117–129.
10. Кукина И.В. и др. Особенности трансформации среды современного города (на примере Красноярска) // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2021. № 43. С. 55–74.
11. Куричев Н.К., Куричева Е.К. Пространственная структура жилищного строительства в Московской агломерации: радиально-секторальная дифференциация // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2020. Т. 65. № 1. С. 74–95.
12. Куричева Е.К. Жилищное строительство в Московской агломерации: пространственные последствия // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. № 3. С. 87–90.
13. Махрова А.Г. Сезонное дачное расселение как индикатор контрастов пространственного развития // Региональные исследования. 2020. № 3. С. 40–55.
14. Махрова А.Г., Бабкин Р.А., Кириллов П.Л. Трансформация дачного жилья: от сезонного к постоянному (на примере Московского региона) // Проблемы современной урбанизации: преемственность и новации. 2022. С. 112–125.
15. Махрова А.Г., Бабкин Р.А. Методические подходы к делимитации границ Московской агломерации на основе данных сотовых операторов // Региональные исследования. 2019. № 2. С. 48–57.
16. Махрова А.Г., Бабкин Р.А. Города Московского столичного региона: официальные и реальные // Региональные исследования. 2022. № 1. С. 4–16.
17. Ланно Г.М. География городов: учеб. пособие для географических факультетов вузов // М.: Гуманит. изд. центр “ВЛАДОС”, 1997. 479 с.
18. Лачининский С.С., Сорокин И.С. Пространственная структура и особенности развития поселений Санкт-Петербургской агломерации // Балтийский регион. 2021. Т. 13. № 1. С. 48–69.
19. Перцик Е.Н. Крупные городские агломерации: развитие, проблемы проектирования // Проблемы развития агломераций России. М.: КРАСАНД, 2009. С. 34–46.
20. Планирование разрастания. Пространственная политика городов России / А.В. Головин и др. Нац. исслед. ун-т “Высшая школа экономики”. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. 248 с.
21. Проект Федерального закона “О городских агломерациях” (подготовлен Минэкономразвития России, текст по состоянию на 04.09.2020) [Электронный ресурс] URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PRJ&n=199079#ZgZo7RT-WOz7suerC2>.
22. Путин Владимир подписал закон, меняющий порядок предоставления межбюджетных трансфертов [Электронный ресурс] URL: <https://tass.ru/ekonomika/6729513> (дата обращения 18.07.2022).
23. Реформа ЖКХ, открытые данные [Электронный ресурс] – URL: <https://www.reformagkh.ru/orendata> (дата обращения 18.07.2022).
24. Росстат откроет доступ к микроданным постсоветских переписей населения России в 2022 году [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/obschestvo/12876949> (дата обращения 18.07.2022).
25. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года. Утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2019 г. № 207-р. [Электронный ресурс] URL: [www.economy.gov.ru](http://www.economy.gov.ru).
26. Строительные нормы и правила СНиП 2.07.01-89\* “Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений” (утв. постановлением Госстроя СССР от 16 мая 1989 г. № 78).
27. Чистяков П.А. и др. Центры экономического роста Российской Федерации на муниципальном уровне // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2020. № 4. С. 58–68.
28. 2ГИС про: визуализируем массивы данных [Электронный ресурс] URL: <https://vc.ru/services/557545-2gis-pro-vizualiziruem-massivy-dannyh> (дата обращения 26.12.2022).
29. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: [www.gks.ru](http://www.gks.ru) (дата обращения 18.07.2022).
30. Шугрина Е.С. Модели управления российскими агломерациями // Государственная власть и местное самоуправление. 2018. № 2. С. 39–43.

31. Atlas of the Human Planet 2020, Open geoinformation for research, policy, and action, Luxembourg: European Commission, 2020. 139 p.
32. *Carra G., Barthelemy M.* A fundamental diagram of urbanization // *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. 2019. Т. 46. № 4. P. 690–706.
33. *Conzen M.R.G.* Thinking about Urban Form: Essays on Urban Morphology / M.R.G. Conzen. Oxford, 2002.
34. *Hegyí F.B. et al.* Measuring the impact of urban innovation districts // Publications Office of the European Union. 2021.
35. *Li J. et al.* Spatiotemporal pattern of urbanization in Shanghai, China between 1989 and 2005 // *Landscape ecology*. 2013. Т. 28. № 8. P. 1545–1565.
36. *Li X. et al.* Twenty years of post-Soviet Union urban land use change of St. Petersburg // *Applied Spatial Analysis and Policy*. 2020. Т. 13. № 4. С. 1019–1033.
37. *Perez J., Fusco G., Moriconi-Ebrard F.* Identification and quantification of urban space in India: Defining urban macro-structures // *Urban Studies*. 2019. Т. 56. № 10. С. 1988–2004.
38. *Petrov A.* One hundred years of dasymmetric mapping: back to the origin // *The Cartographic Journal*. 2012. Т. 49. № 3. С. 256–264.
39. *Prowski T., Bartos K.* Detailed mapping of the distribution of a city population based on information from the national database on buildings // *Geodetski vestnik*. 2018. Т. 62. № 3.
40. *Roni R.* High resolution population modeling for urban areas: дис. University of Twente, 2018.
41. *Schiavina M. et al.* GHSL Data Package 2022, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
42. Science Direct: Modifiable Areal Unit Problem [Электронный ресурс] URL: [www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/modifiable-areal-unit-problem](http://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/modifiable-areal-unit-problem) (дата обращения 20.05.2022).
43. World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities UN Habitat [Электронный ресурс]. URL: <https://unhabitat.org/wcr/> (дата обращения 18.12.2022).
44. *Zhou D. et al.* Dynamic and drivers of spatial change in rapid urban renewal within Beijing inner city // *Habitat International*. 2021. Т. 111. С. 102349.

### The Possibility of Using Modern Methods and Data to Study the Spatial Structure of the St.-Petersburg Agglomeration

S. S. Lachininskii<sup>1, \*</sup>, I. A. Logvinov<sup>2, \*\*</sup>, and I. S. Sorokin<sup>3, \*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*St.-Petersburg State University, Institute of Regional Economy Problems, Russian Academy of Sciences, St.-Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Territorial Planning “Urbanika”, St.-Petersburg State University, St.-Petersburg, Russia*

<sup>3</sup>*Institute of Regional Economy Problems of RAS, St.-Petersburg State University, St.-Petersburg, Russia*

\*E-mail: [lachininsky@gmail.com](mailto:lachininsky@gmail.com)

\*\*E-mail: [ilia.logvinov@yandex.ru](mailto:ilia.logvinov@yandex.ru)

\*\*\*E-mail: [IvannSPb@yandex.ru](mailto:IvannSPb@yandex.ru)

**Abstract**—The article is devoted to the review and substantiation of modern research methods and data sources on the dynamics of spatial structure of the largest Russian urban agglomerations. The object of the study is modern methods and data sources, and the subject is the possibilities of their use. On the example of the second agglomeration in Russia — St.-Petersburg urban agglomeration — it is shown that interdisciplinary synthesis within the framework of socio-economic geography, regional economics, urban studies, geoinformatics and cartography, land management, using a variety of data sources (data of cellular operators, tax statistics, housing construction, satellite data, retail chains, road network), as well as the use of modern GIS-complexes, allow us to assess this structure, its changes, as well as to analyze the spatial structure of the largest Russian urban agglomerations. The main objective of this study is to review and critically rethink the methods of studying the spatial structure of one of Russia’s largest urban agglomerations (St.-Petersburg) developing in the turbulent period between 2014 and 2022. An inventory of different methods and data sources was made, using the method of reasoning. Further, the advantages and disadvantages of each group of methods were identified. Through an in-depth bibliographic analysis, the limitations and possibilities of empirical content (availability of specific data sources) were identified. Based on the critical analysis of advantages and disadvantages, a final point estimate of applicability and usefulness of the considered methods for the St. Petersburg urban agglom-

eration is obtained. The author's contribution lies in the adaptation of modern groups of methods for the study of the spatial structure of cities for the study of the considered agglomeration, taking into account the local specificity and assessment of applicability and usefulness of the considered methods for St. Petersburg urban agglomeration. It is assumed that the development of a modern methodology for studying the spatial structure of the St. Petersburg urban agglomeration based on the symbiosis of modern methods and data sources will make a certain contribution to the study of the largest Russian agglomerations.

*Keywords:* St. Petersburg urban agglomeration, spatial structure, dynamics, methodology, data sources, possibilities of use

## REFERENCES

1. *Babkin R.A.* Experience of using data of cellular operators in foreign economic and geographical studies // *Vestnik of St. Petersburg University. Earth Sciences.* 2021. T. 66. № 3. C. 416–439.
2. *Babkin R.A.* Dynamics of the Moscow region settlement according to the data of cellular operators. Diss. Uch. st. k-ta geograf. nauk, Moscow: MSU. 2020. URL://istina.msu.ru/dissertations/333129487/.
3. *Baryshkin P.A., Alekseenko N.A.* Studying the structure of the housing stock of the miners' monotonowns with the help of cartographic method (by the example of Kimovsk and Kirovsk) / *BBK* 26.1 N34. 2022. C. 3.
4. St. Petersburg authorities will collect the data of SIM cards of residents and guests of the city [Electronic resource] URL: [https://www.rbc.ru/spb\\_sz/05/10/2021/615c1d8d9a79475c9ac44ce4](https://www.rbc.ru/spb_sz/05/10/2021/615c1d8d9a79475c9ac44ce4) (date of address 18.07.2022).
5. Interfax LAB expands academic interaction with universities [Electronic resource] URL: <https://spark-interfax.ru/articles/interfax-lab-rashiryayet-sotrudnichestvo-s-universitetami/> (date of address 20.05.2022).
6. *Kazakov E.* Ten approaches to visualization of point data density in QGIS 3 [Electronic resource]. URL: [http://spbgeotex.ru/6\\_urban](http://spbgeotex.ru/6_urban) (accessed 18.12.2022).
7. How new buildings of St. Petersburg changed: from the 40s to the present day [Electronic resource] URL: <https://www.fontanka.ru/2018/05/18/066/> (date of address 20.05.2022).
8. *Kelbakh V.S.* Transport infrastructure as an element of urban agglomeration // *Vestnik SPbSU.* Ser. 7. 2013. Vyp. 2. C. 135–144.
9. *Krasnov A.I., Logvinov I.A.* Summer population of the Pskov Oblast: qualitative and quantitative assessment // *Pskov Regionology Journal.* 2022. T. 18. № 1. C. 117–129.
10. *Kukina I.V. et al.* Features of transformation of the environment of the modern city (on the example of Krasnoyarsk) // *Bulletin of Tomsk State University. Cultural studies and art history.* 2021. № 43. C. 55–74.
11. *Kurichev N.K., Kuricheva E.K.* Spatial structure of housing construction in the Moscow agglomeration: radial-sectoral differentiation // *Vestnik of St. Petersburg University. Earth Sciences.* 2020. T. 65. № 1. C. 74–95.
12. *Kuricheva E.K.* Housing construction in Moscow agglomeration: spatial implications // *Vestnik of Moscow University. Series 5. Geography.* 2017. № 3. C. 87–90.
13. *Makhrova A.G.* Seasonal dacha settlement as an indicator of contrasts in spatial development // *Regional Studies.* 2020. № 3. C. 40–55.
14. *Makhrova A.G., Babkin R.A., Kirillov P.L.* Transformation of dacha housing: from seasonal to permanent (on the example of the Moscow region) // *Problems of modern urbanization: continuity and innovation.* 2022. C. 112–125.
15. *Makhrova A.G., Babkin R.A.* Methodological approaches to delimit the boundaries of the Moscow agglomeration based on the data of cellular operators // *Regional Studies.* 2019. № 2. C. 48–57.
16. *Makhrova A.G., Babkin R.A.* Cities of the Moscow Metropolitan Region: official and real // *Regional Studies.* 2022. № 1. C. 4–16.
17. *Lappo G.M.* Geography of cities: textbook for geographical faculties of universities // Moscow: Humanit. izd. center "VLADOS", 1997. 479 c.
18. *Lachninskii S.S., Sorokin I.C.* Spatial structure and features of development of settlements of St. Petersburg agglomeration // *Baltic region.* 2021. T. 13. № 1. C. 48–69.
19. *Pertsik E.N.* Large urban agglomerations: development, design problems // *Problems of agglomerations development in Russia.* M.: KRASAND, 2009. C. 34–46.
20. Sprawl planning. Spatial policy of Russian cities / A.V. Golovin et al. National Research University "Higher School of Economics". Moscow: Izd. dom Higher School of Economics, 2021. 248 c.
21. Draft Federal Law "On Urban Agglomerations" (prepared by the Ministry of Economic Development of Russia, text as of 04.09.2020). [Electronic resource] URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PRJ&n=199079#ZgZo7RTWOz7suerC2>.

22. Putin Vladimir signed the law changing the order of interbudget transfers [Electronic resource] URL://tass.ru/ekonomika/6729513 (date of circulation 18.07.2022).
23. Reform of the housing and utilities sector, open data [Electronic resource] URL: https://www.reformagkh.ru/opendata (date of address 18.07.2022).
24. Rosstat will open access to microdata of post-Soviet censuses of the population of Russia in 2022 [Electronic resource]. URL: https://tass.ru/obschestvo/12876949 (date of address 18.07.2022).
25. Strategy of spatial development of the Russian Federation for the period up to 2025. Approved by the Order of the Government of the Russian Federation from February 13, 2019 № 207-р. [Electronic resource] URL: www.economy.gov.ru.
26. Construction norms and rules SNIIP 2.07.01-89\* “Urban Planning. Planning and building of urban and rural settlements” (approved by the decree of the USSR Gosstroy from May 16, 1989 № 78).
27. *Chistyakov P.A. et al.* Centers of economic growth of the Russian Federation at the municipal level // Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography. 2020. № 4. С. 58–68.
28. 2GIS pro: visualizing data arrays [Electronic resource] URL: https://vc.ru/services/557545-2gis-pro-vizualiziruem-massivy-dannyh (date of address 26.12.2022).
29. Federal State Statistics Service [Electronic resource]. URL: www.gks.ru (date of address 18.07.2022).
30. *Shugrina E.S.* Models of management of Russian agglomerations // State power and local self-government. 2018. № 2. С. 39–43.
31. Atlas of the Human Planet 2020, Open geoinformation for research, policy, and action, Luxembourg: European Commission, 2020. 139 p.
32. *Carra G., Barthelemy M.* A fundamental diagram of urbanization // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. 2019. Т. 46. № 4. P. 690–706.
33. *Conzen M.R.G.* Thinking about Urban Form: Essays on Urban Morphology / M. R. G. Conzen. Oxford, 2002.
34. *Hegyí F.B. et al.* Measuring the impact of urban innovation districts // Publications Office of the European Union. 2021.
35. *Li J. et al.* Spatiotemporal pattern of urbanization in Shanghai, China between 1989 and 2005 // Landscape ecology. 2013. Т. 28. № 8. P. 1545–1565.
36. *Li X. et al.* Twenty years of post-Soviet Union urban land use change of St. Petersburg // Applied Spatial Analysis and Policy. 2020. Т. 13. № 4. С. 1019–1033.
37. *Perez J., Fusco G., Moriconi-Ebrard F.* Identification and quantification of urban space in India: Defining urban macro-structures // Urban Studies. 2019. Т. 56. № 10. С. 1988–2004.
38. *Petrov A.* One hundred years of dasymetric mapping: back to the origin // The Cartographic Journal. 2012. Т. 49. № 3. С. 256–264.
39. *Pirowski T., Bartos K.* Detailed mapping of the distribution of a city population based on information from the national database on buildings // Geodetski vestnik. 2018. Т. 62. № 3.
40. *Roni R.* High resolution population modeling for urban areas: дис. University of Twente, 2018.
41. *Schiavina M. et al.* GHSL Data Package 2022, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
42. Science Direct: Modifiable Areal Unit Problem [Электронный ресурс] – URL: www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/modifiable-areal-unit-problem (дата обращения 20.05.2022).
43. World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities UN Habitat [Электронный ресурс]. URL: https://unhabitat.org/wcr/ (дата обращения 18.12.2022).
44. *Zhou D. et al.* Dynamic and drivers of spatial change in rapid urban renewal within Beijing inner city // Habitat International. 2021. Т. 111. С. 102349.

---

---

## НАУЧНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОВРАЖНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА ОСТРОВА ОЛЬХОН

© 2023 г. С. В. Солодянкина<sup>a, \*</sup>, Ю. В. Вантеева<sup>a, \*\*</sup>, М. Ю. Опекунова<sup>a, \*\*\*</sup>,  
А. А. Рыбченко<sup>b, \*\*\*\*</sup>, Е. А. Козырева<sup>b, \*\*\*\*\*</sup>, О. А. Мазаева<sup>b, \*\*\*\*\*</sup>,  
Т. И. Знаменская<sup>a, \*\*\*\*\*</sup>, А. А. Юрьев<sup>b, \*\*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>b</sup>Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

\*E-mail: solodyankinasv@gmail.com

\*\*E-mail: ula.vant@mail.ru

\*\*\*E-mail: opek@mail.ru

\*\*\*\*E-mail: rybchenk@crust.irk.ru

\*\*\*\*\*E-mail: kozireva@crust.irk.ru

\*\*\*\*\*E-mail: moks@crust.irk.ru

\*\*\*\*\*E-mail: tiznam@mail.ru

\*\*\*\*\*E-mail: zuzua2016@gmail.com

Поступила в редакцию 03.04.2022 г.

После доработки 16.05.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

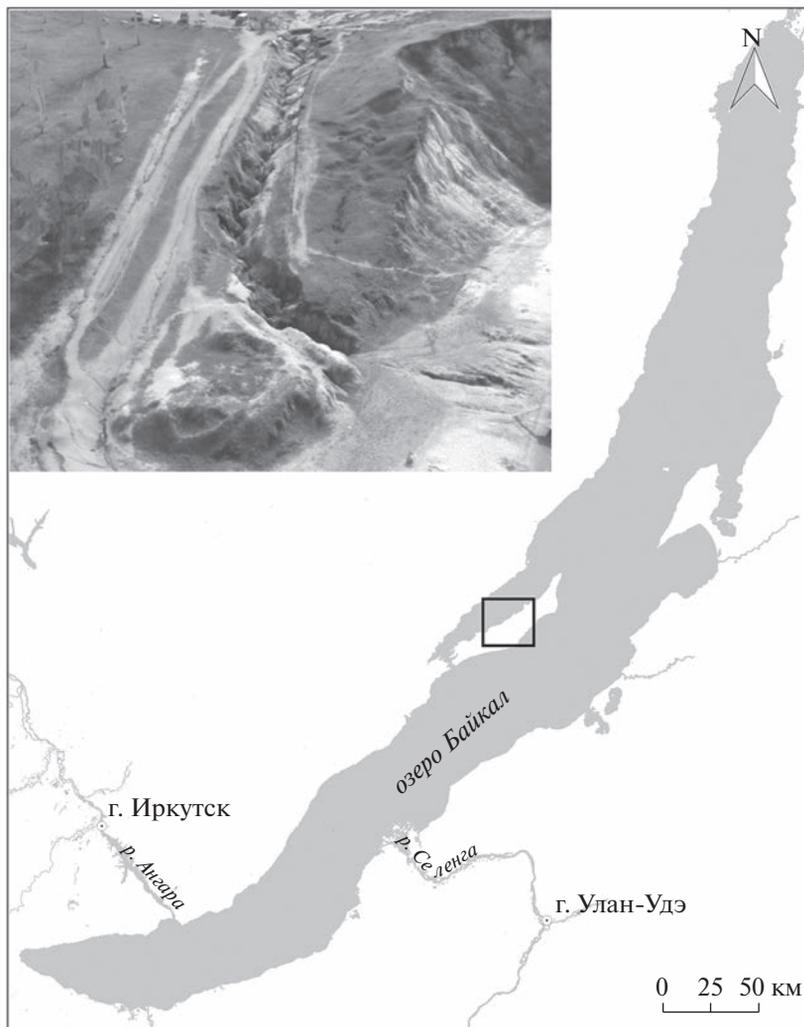
В статье рассмотрен опыт научного обоснования работ по рекультивации оврага на мысе Бурхан на острове Ольхон (юг Восточной Сибири, оз. Байкал). Памятник природы мыс Бурхан обладает высокой туристической привлекательностью, и как следствие подвержен интенсивным рекреационным нагрузкам. Особенности литолого-геологического строения и морфологических параметров обуславливают здесь развитие процессов линейной эрозии, которые усиливаются под воздействием техногенного фактора. В результате исследования проведен комплексный анализ территории: исходные условия, причины и факторы дигрессии почвенно-растительного покрова и активизации эрозионных процессов. Проанализированы различные подходы к техническому и биологическому этапам рекультивации оврага. Разработаны подробные рекомендации для снижения рекреационной нагрузки на рельеф и проведения рекультивационных работ. Предлагаемые подходы к рекультивации могут быть применены для других овражных форм на о. Ольхон и Приольхонском плато.

*Ключевые слова:* остров Ольхон, мыс Бурхан, степной ландшафт, стадии дигрессии, памятник природы, опасные геоморфологические процессы, рекреационные нагрузки

**DOI:** 10.31857/S086960712301007X, **EDN:** HEVTGD

### ВВЕДЕНИЕ

На примере территории о. Ольхон рассмотрены подходы к предотвращению процессов плоскостного и линейного размыва, являющихся следствием естественных и антропогенных факторов. Объектом исследования выбран мыс Бурхан на о. Ольхон в акватории оз. Байкал (рис. 1), где расположен один из крупнейших на острове оврагов техногенного происхождения. Формирование оврага произошло по проложенной в 1976 году по склону траншее под водовод, который так и не был сооружен.



**Рис. 1.** Расположение объекта исследования. На врезке: Вид оврага – аэрофотосъемка с использованием БПЛА DJI Phantom 4Pro RTK, август 2021 г.

**Fig. 1.** Location of the research object. Inset: View of the gully – aerial photography using DJI Phantom 4Pro RTK drone, August 2021.

Мыс Бурхан является самым известным и наиболее посещаемым туристами историко-природным памятником природы Байкала. Большая часть изображений, генерируемых в ответ на поисковой запрос “Озеро Байкал” в Яндекс и Google, отображают именно мыс Бурхан. На территории мыса сформировалась овражная сеть, размеры и динамика роста которых угрожают целостности памятника.

Работы по предотвращению развития опасных геоморфологических процессов и восстановлению почвенно-растительного покрова нарушенных участков обычно подразделяются на два этапа – технический и биологический. основополагающим документом, регламентирующим выполнение восстановительных работ в настоящий период, является Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 “О проведении рекультивации и консервации земель”. Помимо этого, необходимо учитывать требо-

вания в области охраны окружающей среды, санитарно-эпидемиологические требования, законодательные нормы, ограничивающие определенные виды деятельности в зонах с особыми условиями использования территории (ЗОУИТ), а также региональные ландшафтно-климатические условия и локальные особенности местоположения земельного участка.

В настоящее время исследуемый земельный участок с оврагом располагается на землях населенных пунктов в составе Прибайкальского национального парка и входит в центральную экологическую зону Байкальской природной территории, установленную в соответствии со ст. 2 Федерального закона от 1 мая 1999 г. №94-ФЗ “Об охране озера Байкал”. Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 года № 2399 утвержден перечень видов деятельности, запрещенных в центральной экологической зоне Байкальской природной территории. Помимо этого, данный земельный участок входит в водоохранную и рыбоохранную зоны оз. Байкал, установленные в соответствии со ст. 3 ФЗ “Об охране озера Байкал” распоряжением Правительства РФ от 5 марта 2015 г. № 368-р “Об установлении границ водоохранной зоны и рыбоохранной зоны оз. Байкал”, а также попадает в прибрежную защитную полосу шириной 200 м от уреза воды в соответствии со ст. 13 Водного кодекса РФ от 3.06.2006 г. № 74-ФЗ, где хозяйственная деятельность также жестко регламентируется. Вид разрешенного использования земель – отдых (рекреация). Включение данного участка в состав национального парка и нахождение в ЗОУИТ разных категорий накладывают строгие ограничения на хозяйственную и иную деятельность, предъявляют высокие требования к сохранению и поддержанию средоформирующих и водоохранных функций ландшафта и, соответственно, обеспечивают нормативными инструментами для принятия мер по снижению антропогенной нагрузки на исследуемый участок.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Материалами для работы послужили полевые и картографические данные, накопленные за разные годы в Институте земной коры СО РАН и Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. На основе маловысотной плановой аэрофотосъемки с использованием беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4Pro RTK в августе 2021 г. построен ортофотоплан (см. рис. 1) и трехмерная модель овражной формы. По этим данным в соответствии с апробированной методикой [14] выполнен бассейновый анализ, получены количественные данные овражной формы и морфометрии склона. Проведено зонирование рассматриваемой территории по степени геоморфологической опасности. Данные исследования включали оценку опасных геоморфологических процессов в совокупности с геолого-геоморфологическим строением территории и учетом рекреационной нагрузки в пределах участка [2]. На основе комплексных рекреационно-географических исследований в период с 2017 по 2021 гг. произведена оценка состояния ландшафтов в районе мыса Бурхан и прилегающего к нему Сарайского пляжа. Степень нарушенности и стадии дигрессии растительного покрова определялись по апробированной методике [5, 9] на основе анализа описаний флористического состава по ярусам и данных о проективном покрытии и высоты каждого вида растения, характере распределения и т.д.

Для оценки состояния почвенного покрова участка исследования была изучена его структура, выделены основные типы почв. Проведена комплексная оценка показателей состава и физико-химических свойств почв с применением стандартных методик [3, 10–11, ГОСТ 12536–2014<sup>1</sup>; ГОСТ 5180–2015<sup>2</sup>].

<sup>1</sup> ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава М.: Стандартинформ, 2015. 22 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик М.: Стандартинформ, 2016. 20 с.

Дополнительно производилась оценка рекреационной нагрузки по следующим показателям:

1) максимальная единовременная рекреационная нагрузка в пик летнего сезона (чел./га) – суммарный показатель единовременного числа организованных отдыхающих (по числу мест в объектах размещения), самодеятельных туристов, а также экскурсантов по данным муниципальных образований и материалам полевых работ 2017–2018 гг.;

2) площадь ареала рекреационного воздействия вычислялась на основе космических снимков, корректировалась по фотографиям и снимкам с БПЛА.

Исследуемый овраг расположен в пределах береговой геоморфосистемы мыса Бурхан, который разграничивает Хужирский и Сарайский заливы о. Ольхон, на склоне северо-восточной экспозиции с уклоном  $11^{\circ}$ – $13^{\circ}$  слева от грунтовой дороги. Мыс представляет собой конусообразную двухвершинную скалу, сложенную мрамором и доломитизированным известняком палеозойского возраста [4]. Высоты поверхностей варьируют от 456 м (урез озера Байкала) до 525 м (высшая безымянная точка с базовой станцией на территории п. Хужир). Углы наклонов поверхностей изменяются от  $0^{\circ}$  до  $30^{\circ}$ . Поверхности с максимальной крутизной представлены береговыми склонами северо-западной, северной, северо-восточных экспозиций. Плоские и пологие поверхности соотносятся с пляжевой зоной бухт и плоскими водораздельными поверхностями.

В целом район исследования с учетом рекреационной нагрузки характеризуется высокой геоморфологической опасностью [8, 11]. На исследуемой территории имеются как природные, так и вызванные деятельностью человека предпосылки для активизации эрозионных процессов. Ландшафтная структура на данной территории формируется в условиях дефицита атмосферных осадков (200–300 мм в год), обусловленного барьерным и котловинным эффектами, поэтому формирующиеся здесь степные ландшафты являются азональными [13].

В пределах территории исследования выделяются структурно-денудационный, эрозионно-денудационный и аккумулятивный типы рельефа. Структурно-денудационный рельеф представлен вершинным поясом водоразделов – холмисто-волнистой водораздельной поверхностью, на которой расположен п. Хужир. Эрозионно-денудационный рельеф склонового пояса представлен береговыми и водораздельными склонами, которые интенсивно преобразуются гравитационно-склоновыми процессами, линейной и плоскостной эрозией. Обвально-осыпные склоны обычно соотносятся с береговыми уступами. Склоны с развитием линейной эрозии – это береговые склоны и склоны с дорожной сетью, по колеям которых развиваются промоины [7]. Также обнаружены проявления карстообразования в выходах крупнокристаллических мраморов. Аккумулятивный тип рельефа представлен эоловым песчаным массивом [1], примыкающим к Сарайскому заливу, пляжами, конусами выносов оврагов, суходолов, аккумулятивными телами обвалов, осыпей в нижних частях склонов. При анализе разновременных снимков, начиная с 1985 года и по настоящее время, выявлено длительное стабильное положение эоловых массивов. Принимая во внимание увеличившийся турпоток за последнее десятилетие, можно говорить о минимальном антропогенном воздействии на динамику эоловых процессов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Как показала оценка рекреационной нагрузки (табл. 1), в пик сезона на мысе Бурхан единовременно может сосредотачиваться до 300 человек. Площадь ареала рекреационного воздействия составила 13 га в пределах закрытой для проезда автотранспорта территории. Анализ спутникового снимка CNES/Airbus от 22 июля 2021 г. с сервиса Google Earth Pro показал, что площадь застроенной территории на текущий период –

**Таблица 1.** Рекреационные нагрузки на места отдыха и туризма на территории исследования  
**Table 1.** Recreational pressures on places of recreation and tourism in the study area

Населенный пункт/местность	Число отдыхающих одновременно на территории в пик сезона	Площадь рекреационной территории по границам ареала воздействия, га	Рекреационная нагрузка, чел/га
Мыс Бурхан	300	13.0	23.1
Сарайский пляж	1500	128.0	1.2

2.4 кв. км, протяженность дорожной сети – 49.5 км, коэффициент плотности, действующей дорожно-тропиночной сети составляет 21.8 км/км<sup>2</sup>. К югу от мыса Бурхан расположен поселок Хужир – важный логистический центр для рекреационных потоков в пределах острова.

В условиях интенсивной селитбы и рекреации при существующих природных особенностях почв (недостаточное увлажнение, легкий гранулометрический состав, каменистость) даже незначительный уклон тропиночной сети способствует формированию системы быстрого сброса ливневых и талых вод, при этом часть внутрпочвенного стока заменяется поверхностным. Для почв характерно глубокое промерзание в зимний период из-за маломощного снежного покрова, а в период весеннего снеготаяния на территории формируется поверхностный сток и смыв почвы. Следствием этого являются эрозионные формы, приуроченные преимущественно к дорожной и тропиночной сети.

На основании анализа геолого-геоморфологического строения территории определен спектр опасных геоморфологических процессов<sup>3</sup>.

На следующем этапе выполнено зонирование участка исследования по степени геоморфологической опасности с учетом рекреационной нагрузки. Зонирование проведено по методике [8] с учетом распространения типов рельефа, развития процессов, интенсивности их проявления (рис. 2). Таким образом, выделено две рекреационные геоморфосистемы [2] и одна урбогеоморфосистема в пределах границ населенного пункта.

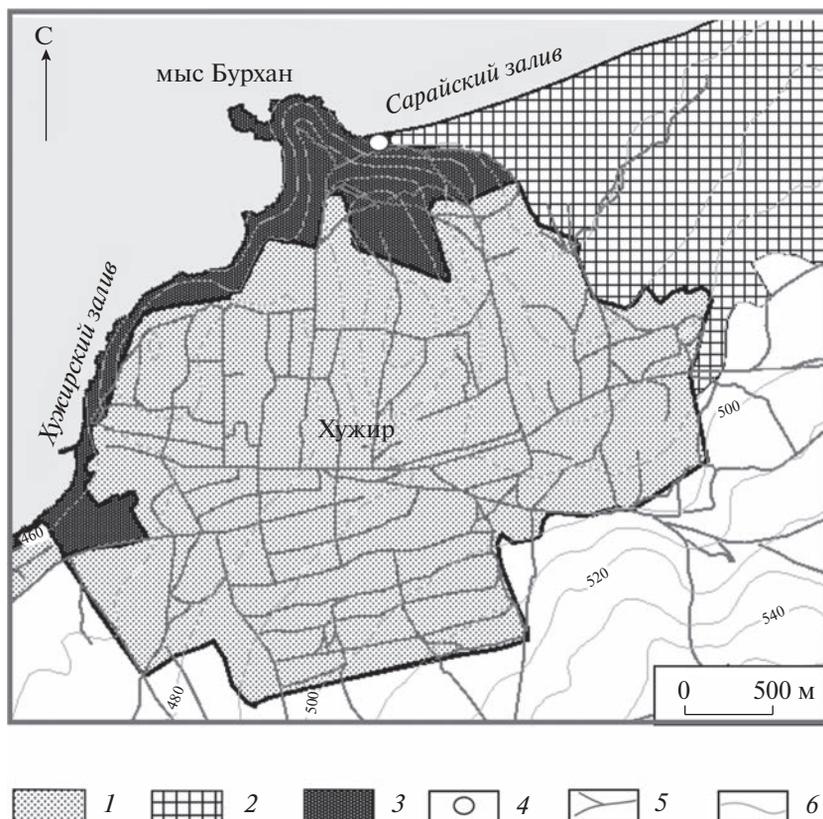
1) Урбогеоморфосистема п. Хужир – относительно стабильная зона, в пределах которой риски развития опасных процессов минимизированы проведением инженерно-геологических мероприятий.

2) Рекреационная геоморфосистема *Сарайского пляжа*, куда входят поверхности бенча и берегового склона, смоделированные эоловыми процессами. Зона относительно устойчивая (пологие склоны, закрепленные растительностью). Спектр процессов, которые отнесены к опасным, здесь сокращен (дефляция, незначительно водная эрозия, заболачивание). Рекреационная нагрузка и антропогенное влияние на рельеф и динамику опасных геоморфологических процессов значительна.

3) *Прибрежная* рекреационная геоморфосистема, включающая мыс Бурхан – неустойчивая зона с максимальной рекреационной нагрузкой и максимальным риском развития опасных геоморфологических процессов, наиболее привлекательная территория. Атрактивность ландшафтов обусловлена, в том числе высоким геоморфологическим разнообразием в сочетании с наличием факторов, повышающих риск развития или активизации опасных для человека процессов: крутизна склонов, тип берега, неустойчивые к выветриванию горные породы, спектр уже существующих современных экзогенных процессов (обвально-осыпные, карст, эрозия).

Геосистемы на мысе Бурхан и прилегающей к нему территории представлены в основном мелкодерновинно-злаковыми степями (в местах интенсивного воздействия

<sup>3</sup> ГОСТ Р 22.0.03–95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1995. 16 с.



**Рис. 2.** Зонирование территории по геоморфологической опасности с учетом рекреационной нагрузки. Степень геоморфологической опасности: 1 – низкая, 2 – средняя, 3 – высокая; 4 – исследуемый овраг, 5 – дорожная сеть, 6 – горизонтали.

**Fig. 2.** Zoning of the territory according to geomorphological hazard, taking into account the recreational impact. Degree of geomorphological hazard: 1 – low, 2 – medium, 3 – high; 4 – investigated gully, 5 – road network, 6 – contour lines.

замещающиеся на длиннокорневищные злаки) с единичными лиственницами (*Larix sibirica*<sup>4</sup>) на крутых склонах в сочетании с петрофитными низкотравными сообществами на скалах. Оценка состояния геосистем данной территории показала высокую степень их деградированности.

Многолетние исследования показали [5, 9], что под влиянием рекреационных нагрузок растительные сообщества разнотравно-злаковых (преимущественно типчакovo- и житняково-ковыльных) степей часто карагановых, к которым относится рекультивируемый участок, проходят следующие стадии дигрессии.

Первая стадия – ненарушенное состояние: флористический состав 30 и более видов, нет инвазивных видов, проективное покрытие растительностью около 40–50%, средняя высота растений в июле 40–60 см. Эдификаторы: *Helictotrichon altaicum*, *Stipa baicalensis*, *Festuca lenensis*, *Cymbaria daurica*, *Eremogone meyeri*, *Heteropappus altaicus*,

<sup>4</sup> Номенклатура растений приводятся по сводке “Конспект флоры Иркутской области”, 2008 [6].

*Scabiosa comosa*, *Allium ramosum*, *A. splendens*, *Carex argunensis*, *C. korshinskyi*, *Chamaerhodo altaica*, *Selaginella sanguinolenta*.

Вторая стадия — малонарушенное состояние: характеризуется снижением видового разнообразия, появлением инвазивных видов в сообществе, возрастает роль дерновинных злаков (*Agropyron cristatum*, *Poa* spp.) и полыни (*Artemisia* spp.).

На третьей отмечаются резкие изменения состава флоры ценозов, злаковые эдификаторы сменяются полынью (*Artemisia frigida*), осокой (*Carex duriuscula*, *C. pediformis*) и лапчатками (*Potentilla bifurca*, *P. acaulis*, *P. tanacetifolia*, *P. anserina*). Может наблюдаться некоторое увеличение видового разнообразия за счет рудеральных и инвазивных видов. Эта стадия индицирует границы устойчивости степных фитоценозов.

На четвертой стадии дигрессии роль эдификаторов переходит к апофитам и инвазивным видам. Снижается видовое разнообразие, проективное покрытие до 30–40% и высота травостоя, встречаются небольшие участки с выбитым почвенно-растительным покровом.

На пятой стадии, на которой находится исследуемая территория, почвенно-растительный покров выбит полностью на больших участках. Растительный покров, сформировавшийся вдоль отвершков и бортов оврага, претерпел значительные изменения в сторону обеднения видового состава и доминирования синантропных (в том числе рудеральных) видов. Из них к инвазивным для ландшафтов о. Ольхон видам можно отнести: *Urtica cannabina*, *Taraxacum* spp., *Capsella bursa-pastoris*, *Elytrigia repens*. Проективное покрытие травянистой растительности фрагментарное, варьирует от 0 до 10%. С юго-восточной части оврага окружен небольшим участком разреженного разнотравно-злакового лиственничника, в котором наблюдается практически полное усыхание древостоя в связи с распространением в Ольхонском районе непарного шелкопряда.

На исследуемом участке почвенный покров на водоразделах представлен литоземами в сочетании с высококаменистыми фрагментарными петроземами, на склонах развиты преимущественно каштановые почвы. Почвы отличаются щелочной реакцией среды (рН 6.8–7.2), содержанием органических веществ до 0.16%, высокой физико-химической активностью глинистой фракции (емкость катионного обмена глинистой фракции 57.64–104.8 мг/экв). Гранулометрический состав супесчаный с преобладанием (до 40%) фракции мелкого песка. Высокое содержание мелкопылеватых и мелкопесчаных частиц обнаруживается в верхнем горизонте, что свидетельствует о его слабой оструктуренности и распыленности. Недостаток илистых фракций и невысокое содержание гумуса затрудняют формирование крупных и механически прочных структурных отдельностей. Вследствие этого почвы сильнее подвергается эрозионным процессам, которые усиливаются вследствие рекреационной нагрузки.

Другой характерной особенностью грунтов является водонеустойчивость. Время размокания образцов верхней части разреза ограничивается 10 мин, большая часть образцов размокает мгновенно, в пределах 5–14 с. В вершине оврага супеси находятся в сильновлажном состоянии (степень водонасыщения 0.77–0.89), на отметке тальвега насыщены водой (0.80).

Отдельные прослой супеси и прослой песка характеризуются слабой набухаемостью (4.3–8%), максимальное для грунтов оврага сильное набухание (13.4%) отмечается на глубине 1.6 м. Также характерны высокие значения усадки 8.4–17.6%, что снижает устойчивость массива и отражается в проявлении различных деформаций в бортах оврага.

В результате комплексной оценки состава и свойств почв установлены особенности, которые определяют низкую их устойчивость к эрозионному размыву и выносу водным потоком. Это высокая пылеватость, водонеустойчивость (практически мгновенная размокаемость), средняя и высокая степень водонасыщения, высокая усадка и набухание грунтов, низкое содержание органического вещества. Все это создает бла-

**Таблица 2.** Параметры овражной формы (восточный склон мыса Бурхан)  
**Table 2.** Gully parameters (eastern slope of the Cape Burkhan)

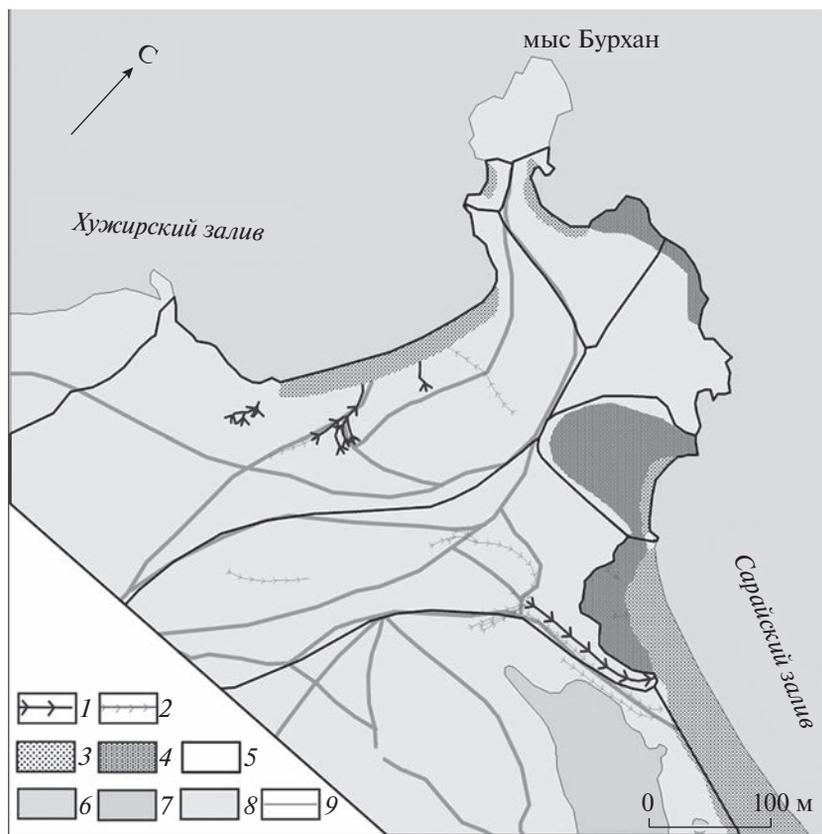
Параметры овражной формы	Показатели параметра
Длина	126.7 м
Длина по тальвегу	149.7 м
Превышение (вершина – устье)	23.6 м
Средний уклон	18.6%
Средний уклон тальвега	15.7%
Макс. ширина	6.4 м
Макс. ширина (техногенная)	12 м
Макс. высота борта формы	4.5 м
Площадь	1099.2 м <sup>2</sup>
Объем	4002.8 м <sup>3</sup>

поприятную среду для развития различных экзогенных процессов (суффозионно-про-  
 вальные, коррозийно-просадочные) на бортах оврага.

По результатам дешифрирования ортофотоплана на исследуемом участке выделено семь основных водосборных бассейнов, и в трех из них (самых крупных) развиваются овражные формы, а также определены опасные геоморфологические процессы (рис. 3). Формирование оползней, осыпей и обвалов на участке связано с наличием мощной толщи неоген-четвертичных отложений и выветрелых останцов, представленных амфиболами, кристаллическими известняками и гнейсами. Участки развития эрозионных процессов характерны прежде всего для водосборных бассейнов большей площадью, наличием мощной толщи рыхлых, неустойчивых к водному размыву грунтов. Эрозионные формы в виде оврагов и промоин достаточно активно развиваются на слабонаклонных поверхностях, лишенных растительного покрова. Развитие гравитационных процессов на этих участках не происходит по причине недостаточного энергетического потенциала рельефа. Локальные гравитационные смещения формируются в бортах крупных оврагов, как вторичные, сопутствующие процессы. На этих локальных участках за счет высоты и крутизны борта оврага создается необходимый энергетический потенциал для оползневых смещений. Кроме того, сами грунты, обладающие такими свойствами как просадочность, неоднородность, способствуют формированию просадок, трещин отпора, запрокидыванию отдельных блоков по бортам и как результат, расширению оврага и формированию активных отвершков. В береговой полосе распространены абразионно-аккумулятивные процессы, связанные с ветро-волновой деятельностью озера Байкал.

Обработка материалов аэрофотосъемки позволила получить количественные параметры самой крупной исследуемой овражной формы (табл. 2). В настоящее время овраг активно развивается. В 2005 году его протяженность была 116 м, в 2010 – 129.1 м. В овражной форме формируются шесть отвершков, из которых четыре приходятся на левый борт оврага. Проходящая вдоль правого борта оврага дорога перехватывает поверхностные водные потоки, препятствуя формированию отвершков. Промоины концентрируются у вершины овражной формы и веерообразно распространяются вверх по площади водосборного бассейна. Они отражают направление поверхностного стока воды.

Анализ продольных профилей склона и тальвега овражной формы показали, что овраг находится в активной стадии развития, устойчивый профиль эрозионной формы не выработан. Концентрация поверхностного стока в сочетании со слабоустойчи-



**Рис. 3.** Структура водосборных бассейнов и опасные геоморфологические процессы на территории исследования. Условные обозначения: 1 – овраги, 2 – промоины, 3 – аккумулятивные формы (пляжи), 4 – гравитационные процессы (оползни, обвалы, осыпи), 5 – границы водосборных бассейнов; 6 – акватория озера Байкал, 7 – древесная растительность, 8 – травяная растительность, 9 – дорожная сеть.

**Fig. 3.** Structure of watersheds and dangerous geomorphological processes in the study area. Legend: 1 – gullies, 2 – scours, 3 – landslide type (landslide, rockfall, scree), 4 – beaches, 5 – catchments, 6 – Lake Baikal, 7 – forest, 8 – grass, 9 – road network.

выми грунтами формирует высокий потенциал к размыву. Энергетический потенциал для развития эрозионной формы сохраняется, и развитие оврага продолжится.

#### *Рекомендуемые мероприятия*

Для предотвращения эрозионных и обвально-осыпных процессов, а также восстановления почвенно-растительного покрова геосистем исследуемой территории предложен комплекс мероприятий, не только технических и биологических, но и направленных на регулирование антропогенной нагрузки.

Для регулирования рекреационной деятельности предлагается комбинация двух типов мероприятий: прямые регуляционные (запреты и ограничения посещений) и манипуляторные. Рекомендовано контролировать размеры групп посетителей, ограничить посещение мыса после дождя и в период таяния снега, обустроить маршруты и регулировать поверхностные водные потоки. Из второй группы мероприятий предла-

гается разъяснение особенностей культуры шаманизма и сакральности данного святого места.

В рамках работы анализировались различные подходы к техническому и биологическому этапам рекультивации оврага. Рассматривался метод по закреплению грунтов криогелем (патент RU 2754141) для закрепления вершины и отвершков оврага. Поливиниловый спирт (основа криогеля) заявляется как нетоксичный, класс опасности четвертый (как для воздуха, так и для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурного-бытового назначения)<sup>5</sup>. В Приказе Минприроды от 21 февраля 2020 года № 83 “Об утверждении нормативов предельно допустимых воздействий на уникальную экологическую систему озера Байкал и перечня вредных веществ, в том числе веществ, относящихся к категориям особо опасных, высокоопасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы озера Байкал” он не числится. Но в паспорте безопасности продукта поливиниловый спирт отмечается как горючий и при горении выделяющий токсичные вещества. Также отмечается, что недопустимо его попадание в водотоки, может быть опасен для рыб. В итоге сделан вывод, что метод подходит для техногенных и промышленных объектов, и данное решение для исследуемой территории не подходит, учитывая, что сток с оврага попадает в акваторию оз. Байкал.

Организацию технических решений по водоотведению с ослабленной поверхности, перехват и локализацию поверхностного стока необходимо выполнять в верхних частях водосборного бассейна, поскольку эрозионная форма – это результирующая работы системы водного поверхностного стока. Автостоянку, расположенную сейчас в верхней части водосбора, необходимо перенести вглубь, на территорию поселка. Поверхность стоянки необходимо рассматривать как единую часть водосбора и восстановить почвенно-растительный покров. Для прокладки специально оборудованных троп на мысе “Бурхан” использовать водораздельные части и придерживаться этого пространства при передвижении для осмотра достопримечательностей.

Технический этап рекультивации самой овражной формы заключается в организации устойчивого к размыву объекта. Для решения этой задачи необходимо обеспечить устойчивое положение тальвеговой зоны в целях прекращения развития донной эрозии и обеспечить сохранность (ненарушенность) бортов оврага с сохранением почвенно-растительного слоя для предотвращения формирования отвершков.

Для предотвращения донной эрозии овражной формы предлагается провести отсыпку тальвеговой зоны. Укрепление тальвеговой зоны рекомендуется осуществить с использованием геотекстильных водонепроницаемых материалов. Для уменьшения скорости потока по тальвегу на укрепленное дно оврага выложить каменную наброску крупнообломочными грунтами (валунно-глыбовой фракции, диаметр более 200 мм) из местного материала. Обеспечение устойчивого состояния бортов оврага рекомендуется осуществить за счет отсыпки и поднятия уровня тальвеговой зоны и укладки дополнительного материала по бортам оврага до достижения угла необходимого по требованиям рекультивации ландшафтов и укрепления поверхности бортов путем биологической рекультивации – укрепление травяным покровом.

Для восстановления растительности и закрепления почв и грунтов исследуемой территории предлагается высадка семян и рассады с учетом принципа максимального видового разнообразия для достижения наиболее устойчивого состояния растительности в существующих условиях недостаточного увлажнения.

Видовые составы смесей, которые часто рекомендуются и продаются для засевов при рекультивации нарушенных территорий, обычно включают довольно распространенные культивируемые виды, например, овсяницу (*Festuca arundinacea*, *F. pratensis*,

<sup>5</sup> Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (СанПиН 1.2.3685-21 от 29 января 2021 г. № 62296).

*F. rubra*), эспарцет (*Onobrychis* spp.), пырей (*Elytrigia* spp.), различные виды клевера (*Trifolium* spp.), кострец безостый (*Bromopsis inermis*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*). Но учитывая природоохранный статус территории и распространение на о. Ольхон уникальных степных геосистем, где обитают эндемичные, реликтовые и редкие исчезающие виды растений, для засева и высадки растений предлагается использовать исключительно местные виды, характерные для коренных степей о. Ольхон, чтобы не усугубить процессы деградации. К тому же они более приспособлены к местным почвенно-климатическим условиям.

На первом этапе необходимо собрать семена травянистых растений и высадить их в питомнике для размножения. Затем из полученного семенного материала составить три вида смесей для: 1) участка с более развитым почвенным покровом; 2) каменистых участков и вблизи отвесных склонов; 3) пляжей и береговых валов. Из травянистых видов предлагаются следующие: *Leymus chinensis*, *Stipa baicalensis*, *Festuca lenensis*, *Agropyron cristatum*, *Astragalus lupulinus* и *A. inopinatus*, *Chamaerhodos altaica*, *Ch. erecta*, *Ch. grandiflora*, *Saxifraga spinulosa* и *S. algisii*, *Scrophularia incisa*, *Carex argunensis*, *Thymus baicalensis*, *Pulsatilla turczaninowii*. При этом важно собрать максимально достижимое количество семян эндемичных (*Linaria buriatica*, *Bromus Korotkiji*, *Dracocephalum pinnatum*, *Agropyron distichum*, *Artemisia pubescens* и т.д.) и редких исчезающих видов (*Craniospermum subvillosum*, *Papaver popovii*, *Lilium pumilum*, *Corispermum ulopteryum*, *Silene turczaninowii* и др.), произрастающих на территории о. Ольхон.

В главной вершине оврага и отвешках предлагается высадить кустарники: *Rhododendron dauricum*, *Caragana pygmaea*, *Cotoneaster melanocarpus*, *Spiraea media*, а вдоль бровок оврага отдельно стоящими деревьями-солитерами — *Pinus sylvestris* и *Larix sibirica*. В первые несколько лет после посадки необходимо предусмотреть защиту и уход за высаженными растениями.

При укреплении склонов более 5° часто применяется армирование грунта. При крутизне склона от 5° до 9° обустройства естественные препятствия, например, с использованием крупных камней или валунов, также могут укладываться бревна поперек склона, а снизу вбиваются металлические анкеры. Помимо этого, для отведения стока талых и дождевых вод вдоль склона обязательно оборудуют дренажные каналы. Также можно задействовать современные геосинтетические материалы, которые стабилизируют почву. Среди обширной группы геосинтетических материалов целесообразнее использовать геоматы в сочетании с биоматами из скрепленной соломы местных злаковых растений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мыс “Бурхан” — уникальный памятник природы, испытывающий существенную рекреационную нагрузку на элементы рельефа. Вследствие особенностей литолого-геологического строения и морфометрических параметров рельефа, а также техногенного фактора происходит зарождение и активное проявление опасных геоморфологических процессов, среди которых наиболее интенсивно развиваются процессы линейной эрозии.

В результате проведенных научно-исследовательских работ даны рекомендации по предотвращению развития эрозионных процессов в пределах мыса Бурхан и представлен комплекс мероприятий, направленных на восстановление ландшафта, а также на регулирование антропогенной нагрузки. Рекультивации только одного оврага, расположенного на северо-восточном склоне, примыкающем к Сарайскому пляжу, недостаточно, это не обеспечит защиты от дальнейшего развития опасных геоморфологических процессов. Необходимы комплексные работы по территории всего участка, испытывающего рекреационную нагрузку. Частичная реализация противоэрозионных мер в условиях засушливого климата и высокой рекреационной нагрузки приве-

дет лишь к кратковременному эффекту от выполненной инженерной защиты территории.

Научная новизна данной работы заключается в методических и аналитических разработках коллектива и выбранном комплексе мер по рекультивации оврага и снижению влияния факторов активизации эрозийных процессов. Список собранных исходных данных и проведенных исследований может быть полезен читателям с методической точки зрения. Рассмотрены разные подходы к организации работ по рекультивации, и выбраны те, что учитывают охранный статус и особенности территории. Предлагаемые подходы к рекультивации могут быть использованы на другие овражные формы на о. Ольхон и в Приольхонье с учетом особенностей каждой отдельной формы.

Работы по комплексной оценке ландшафтов мыса Бурхан проводились в рамках государственных заданий АААА-А21-121012190056-4, АААА-А21-121012190017-5, АААА-А21-121012190055-7, аналитические работы выполнены на оборудовании ЦКП “Геодинамика и геохронология” ИЗК СО РАН в рамках гранта №075-12-2021-682; рекомендации по рекультивации разработаны по заказу Прибайкальского национального парка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонов Б.П., Акулов Н.И. О природе подвижных песков на Ольхоне // Известия РАН. Серия географическая. 2006. № 5. С. 101–108.
2. Бредихин А.В., Сазонова А.А. Рекреационно-геоморфологическое картографирование // Вестник Московского университета. Серия географическая. 5. 2007. № 1. С. 34–38.
3. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
4. Галазий Г.И. Байкал в вопросах и ответах. Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1987. 383 с.
5. Знаменская Т.И., Вантеева Ю.В., Солодянкина С.В. Дигрессия растительности и почв прибрежных ландшафтов озера Байкал на примере привлекательных туристических районов // Современные проблемы сервиса и туризма. 2018. Т. 12. № 3. С. 75–86. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10307>
6. Конспект флоры Иркутской области (сосудистые растения) / Под ред. Л.И. Малышева. Иркутск: Изд-во Ирк. ун-та, 2008. 327 с.
7. Мазаева О.А. Развитие овражной эрозии на острове Ольхон // Проблемы флювиальной геоморфологии: материалы XXIX Пленума Геоморфологической комиссии РАН (25–30 сентября 2006 г., г. Ижевск, Удмуртский гос. университет). Ижевск: изд-во Дельтаплан, 2006. С. 239–242.
8. Опекунова М.Ю., Макаров С.А. Оценка опасных геологических процессов при рекреационно-туристской деятельности в Прибайкалье (Иркутская область) // Современные проблемы сервиса и туризма. Научно-практический журнал. Т. 12. № 3. 2018. С. 121–132. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10311>
9. Пономаренко Е.А., Солодянкина С.В. Рекреационная деятельность в Приольхонье и на острове Ольхон: Монография. Иркутск: Изд-во Иркутского ГАУ им. А.А. Ежовского, 2015. 112 с.
10. Рентгеновские методы изучения и структуры глинистых минералов / Под ред. Г. Брауна. М: “Мир”, 1965. 599 с.
11. Тимофеев Д.А., Борунов А.К. Геоморфологическая опасность и геоморфологический риск // Геоморфологический риск. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1993. С. 8–12.
12. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов: Учебное пособие. М.: Недра, 1975. 302 с.
13. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Ольхонский район / Ю.М. Семенов, А.Н. Антипов, В.В. Буфал и др. Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2004. 147 с.
14. Rybchenko A.A., Kadetova A.V., Kozyreva E.A., Yuriev A.A. Experience of using non-specialized unmanned aerial vehicles for aerial surveys in the studies of exogenous geological processes // Geodynamics & Tectonophysics. 2019. 10(4). P. 1045–1058. <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0457>

Scientific Support of Gully Rehabilitation in Protected Landscapes

S. V. Solodyankina<sup>1, \*</sup>, Yu. V. Vanteeva<sup>1, \*\*</sup>, M. Yu. Opekunova<sup>1, \*\*\*</sup>, A. A. Rybchenko<sup>2, \*\*\*\*</sup>,  
E. A. Kozyreva<sup>2, \*\*\*\*\*</sup>, O. A. Mazaeva<sup>2, \*\*\*\*\*</sup>,  
T. I. Znamenskaya<sup>1, \*\*\*\*\*</sup>, and A. A. Yuriev<sup>2, \*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>*V.B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

\*E-mail: solodyankinasv@gmail.com

\*\*E-mail: ula.vant@mail.ru

\*\*\*E-mail: opek@mail.ru

\*\*\*\*E-mail: rybchenk@crust.irk.ru

\*\*\*\*\*E-mail: kozireva@crust.irk.ru

\*\*\*\*\*E-mail: moks@crust.irk.ru

\*\*\*\*\*E-mail: tiznam@mail.ru

\*\*\*\*\*E-mail: zuzua2016@gmail.com

**Abstract**—The experience of scientific support of work on the rehabilitation of the gully on the Cape Burkhan on the Olkhon Island (south of Eastern Siberia, Lake Baikal) is considered in this article. Cape Burkhan is a unique natural monument with a recognizable landscape and a high-status tourist attraction, which is exposed to a high recreational impact. The processes of linear erosion develop in this area most intensively due to the characteristics of the lithological and geological structure and morphological parameters. The anthropogenic factor has the greatest influence on the activation of dangerous geomorphological processes, including erosional ones. As a result of the study, the comprehensive analysis of the territory was carried out: initial conditions, causes, and factors of vegetation and soils degradation, activation of erosion processes. Various approaches to the technological and biological stages of gully rehabilitation were analyzed. Detailed recommendations have been developed to reduce the recreational impact on the relief and carry out restoration work. The proposed approaches to rehabilitation can be used on other gullies on Olkhon Island and the Priolkhonskoe plateau.

**Keywords:** Olkhon Island, the Cape Burkhan, steppe landscape, digression stages, natural monument, dangerous geomorphological processes, recreational impact

REFERENCES

1. Agafonov B.P., Akulov N.I. O prirode podvizhnyh peskov na Ol'hone // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2006. № 5. S. 101–108.
2. Bredihin A.V., Sazonova A.A. Rekreacionno-geomorfologicheskoe kartografirovaniye // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya geograficheskaja. 5. 2007. № 1. S. 34–38.
3. Vorob'eva L.A. Himicheskij analiz pochv. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1998. 272 s.
4. Galazij G.I. Bajkal v voprosah i otvetah. Irkutsk: Vostochno-Sibirskoe knizhnoe izd-vo, 1987. 383 s.
5. Znamenskaya T.I., Vanteeva Yu.V., Solodyankina S.V. Digressiya rastitel'nosti i pochv pribrezhnyh landshaftov ozera Bajkal na primere privlekatel'nyh turisticheskikh rajonov // Sovremennyye problemy servisa i turizma. 2018. T. 12. № 3. S. 75–86. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10307>
6. Konspekt flory Irkutskoj oblasti (sosudistye rasteniya) / Pod red. L.I. Malysheva. Irkutsk: Izd-vo Irk. un-ta, 2008. 327 s.
7. Mazaeva O.A. Razvitie ovrazhnoj erozii na ostrove Ol'hon // Problemy flyuvial'noj geomorfologii: materialy XXIX Plenuma Geomorfologicheskoy komissii RAN (25-30 sentyabrya 2006 g., g. Izhevsk, Udmurtskij gos. universitet). Izhevsk: izd-vo Del'taplan, 2006. S. 239–242.
8. Opekunova M.Ju., Makarov S.A. Ocenka opasnyh geologicheskikh processov pri rekreacionno-turistskoj dejatel'nosti v Pribajkal'e (Irkutskaja oblast') // Sovremennyye problemy servisa i turizma. Nauchno-prakticheskij zhurnal. T. 12. № 3. 2018. S. 121–132. <https://doi.org/10.24411/1995-0411-2018-10311>
9. Ponomarenko E.A., Solodyankina S.V. Rekreacionnaya deyatel'nost' v Priol'hon'e i na ostrove Ol'hon: Monografiya. Irkutsk: Izd-vo Irkutskogo GAU im. A.A. Ezhevskogo, 2015. 112 s.
10. Rentgenovskie metody izucheniya i struktury glinistykh mineralov / Pod red. G. Brauna. M: "Mir", 1965. 599 s.

11. *Timofeev D.A., Borunov A.K.* Geomorfologičeskaja opasnost' i geomorfologičeskij risk // Geomorfologičeskij risk. Irkutsk: Izd-vo IG SO RAN, 1993. S. 8–12.
12. *Čapovskij E.G.* Laboratornye raboty po gruntovedeniju i mekhanike gruntov: Učebnoe posobie. M.: Nedra, 1975. 302 s.
13. Ekologičeskij orientirovannoe planirovanie zemlepol'zovanija v Bajkal'skom regione. Ol'honskij rajon / Yu.M. Semenov, A.N. Antipov, V.V. Bufal i dr. Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN, 2004. 147 s.
14. *Rybchenko A.A., Kadetova A.V., Kozyreva E.A., Yuriev A.A.* Experience of using non-specialized unmanned aerial vehicles for aerial surveys in the studies of exogenous geological processes // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2019. 10(4). P. 1045–1058.  
<https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0457>

## О ВЫДЕЛЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ГЛАВНОГО ДЕВОНСКОГО ПОЛЯ

© 2023 г. М. Г. Цинкобурова<sup>а</sup>, \*, Л. П. Норова<sup>а</sup>, \*\*

<sup>а</sup>*Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*

*\*E-mail: maschek@mail.ru*

*\*\*E-mail: larisonorova@rambler.ru*

Поступила в редакцию 11.11.2022 г.

После доработки 20.12.2022 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

На примере двух особо ценных геологических объектов Главного девонского поля (Ильменского глинта и долины р. Великой в районе Выбутских порогов) рассматриваются особенности выделения и охраны геологических памятников регионального значения. Ильменский глент – комплексный (стратиграфический, палеонтологический, рудно-лито-петрологический, гидрогеологический) геологический памятник регионального значения. Авторами обоснована палеогеографическая ценность объекта, заключающаяся в возможности изучения различных экологических комплексов макрофауны среднефранского моря, отражающих как регрессивную, так и трансгрессивную стадии его развития. Также для Ильменского глинта предложен исторический критерий (отражение информации о геологическом объекте в классической геологической литературе) и впервые рекомендовано введение нового историко-географического критерия (взаимосвязь геологических и географических особенностей с историей заселения и освоения региона). Как уникальный геологический объект Ильменский глент изучался выдающимися русскими и иностранными исследователями. Разрезы глинта и приглинтовой области являются стратотипическими для ряда субрегиональных и местных подразделений среднего франа Главного девонского поля. Особенности геологического строения (близкое залегание к поверхности карбонатных пород верхнего девона), близость к Новгороду и удобное сообщение с ним водным путем повлияло на то, что этот район стал одним из районов старинных плитных ломок еще во времена Великого Новгорода. За счет расположения на перекрестке важных путей окрестности глинта часто оказывались местом действия важных исторических событий, так в деревне Коростынь, расположенной в западной оконечности глинта, был заключен знаменитый Коростынский мир. Урочище Выбутские пороги не является природоохранной территорией, хотя также обладает явной научной ценностью с палеогеографической (в обнажении наблюдаются интересные комплексы ихнофоссилий и крайне ценные при реконструкции палеогеографических условий фации хардграундов) и историко-географической точек зрения (с этим местом связан крупный брод через р. Великую, имевший стратегическое значение в эпоху средневековья для Пскова). В статье рассмотрено влияние природных и антропогенных опасностей на состояние описываемых геологических объектов. В описанных уникальных обнажениях наблюдается активное проявление оползневых процессов и процессов выветривания. При этом особенности местности (наличие локальных пликативных и дизъюнктивных структур, способствующих формированию зон повышенной трещиноватости) усугубляются активной транспортной нагрузкой в прилегающих к береговым обрывам участкам.

*Ключевые слова:* особо ценные геологические объекты, верхний девон, фран, Главное девонское поле, Ильменский глинт, Выбутские пороги, экологические группы беспозвоночных, ихнофоссилии, природные и антропогенные процессы

**DOI:** 10.31857/S0869607123010081, **EDN:** YHITDF

## ВВЕДЕНИЕ

При характеристике особо ценных геологических объектов, как и геологической составляющей объектов природного наследия, согласно принятой в России системе классификации на основе доминирующего критерия, выделяют тринадцать типов особо ценных геологических объектов [6]: стратиграфический, палеонтологический, минералогический, рудно-петрографический, геохимический, сейсмический, тектонический, космогенный, геоморфологический, криогенный, гидролого-гидрогеологический, геотермический, историко-горно-геологический. В настоящее время относительно доказанным является важность палеогеографических критериев объектов природного наследия [18]. По мнению авторов, при рассмотрении научной значимости особо ценных геологических объектов обязательно следует учитывать их историю изучения и отражения в классической геологической литературе (исторический критерий) и наглядную взаимосвязь геологических и географических особенностей с историей заселения и освоения региона (историко-географический критерий). Это отчетливо видно на примере северо-запада Русской плиты, района характеризующегося длительной историей геологического изучения, начавшейся еще на заре стратиграфии, в конце XVIII–первой трети XIX века. Каркас будущей стратиграфической шкалы палеозоя создавался в то время на территории палеозойских складчатых областей Англии, параллельно изучались палеозойские складчатые области Западной Европы и губернии северо-запада России (Санкт-Петербургская, Псковская, Новгородская, Прибалтийские). Начало изучению палеозойских пород вышеназванных губерний России положили работы таких выдающихся русских ученых как И.Г. Лемана, В.М. Севергина, Н.Я. Озерецковского, У. Странгвейса, Х. Пандера, Г.П. Гельмерсена, Э.И. Эйхвальда. Таким образом, территория современного северо-запада России и стран Балтии является областью первоначального изучения пород палеозоя древних платформ, с разрезами этих районов шло сопоставление отложений стратотипических областей Англии и Западной Европы. Именно поэтому геологические обнажения кембрийских, ордовикских, девонских, каменноугольных пород северо-запада России изучали такие ученые как Р.И. Мурчисон, Э. Вернейль, с коллекциями палеозойских фоссилий из этих разрезов познакомился Леопольд фон Бух. Исследование палеозоя северо-западных губерний России в XIX–XX веке продолжали выдающиеся русские стратиграфы и палеонтологи, их описания геологических особенностей, как и собранные уникальные по полноте и разнообразию палеонтологические коллекции, вошли в золотой фонд мировой геологии.

Анализируя описания геологических разрезов, сделанные не только в XIX, но и в XX веке, обнаруживается значительный пласт утраченных обнажений. Ярким подтверждением сказанного являются разрезы российской части знаменитого Главного девонского поля (ГДП), области площадного распространения терригенно-карбонатных пород среднего и верхнего девона на северо-западе Русской плиты. Вследствие утраты эталонных обнажений (часто среди них были и стратотипы субрегиональных и местных стратиграфических подразделений) возникает необходимость как выявления аналогов подобных эталонных обнажений (включая неостратотипы), так и важности сохранения классических разрезов. Обширный комплекс стратиграфических работ, опубликованных в XX веке, содержит подробные описания разрезов среднего и верхнего франа, но в настоящее время большинство этих обнажений (например, в долине реки Шелонь и ее притоков, обнажения в долине реки Кересть) оказались утраченными.

ми. Тем ценнее оказываются уникальные обнажения терригенно-карбонатных пород франа, описанные в классической геологической литературе, сохранившиеся до наших дней. Многие из них интересны с историко-географической точки зрения. База особо охраняемых природных территорий (ООПТ) региона, как и особо ценных геологических объектов недостаточно разработана: у всех объектов региона статус не выше регионального. В паспортах часто отсутствуют полноценные описания, отражающие истинную уникальность объектов. В результате этого при описании геологических памятников учитывается только один критерий и систематическое разнообразие геологических памятников в регионе оказывается не столь велико. В тоже время комплексный характер природного объекта, наличие не только геологической, но и, к примеру, ботанической или исторической ценности, бесспорно повышает научное значение объекта. В свете сказанного целесообразно использование критериев, максимально отражающую комплекс свойств объекта. Цель статьи – на примере двух самых протяженных обнажений Главного девонского поля: Ильменского глинта и урочища Выбуты на р. Великой продемонстрировать значимость нового, предлагаемого авторами историко-географического критерия, а также важность палеогеографической характеристики данных геологических объектов.

**Материалы и методы.** Для выявления степени значимости палеогеографического критерия авторы использовали свои полевые наблюдения и дополнили их изучением палеонтологических коллекций разных лет ЦНИГР, Горного музея Санкт-Петербургского горного университета. Оценка природных и антропогенных опасностей была сделана по результатам выездов разных лет на геологические объекты Главного девонского поля.

**Современное состояние базы особо ценных геологических объектов ГДП.** С геоморфологической точки зрения в пределах Главного девонского поля выделяют две рельефообразующие поверхности: структурно-денудационную дочетвертичную (пластово-моноклиналиную равнину) и четвертичную. В геологическом отношении породы девона ГДП представлены породами среднего и верхнего девона, сформировавшимися в условиях мелководного эпиконтинентального морского бассейна: глинисто-песчаной толщей среднего девона и основания франа, глинисто-терригенно-карбонатными породами нижнего и среднего франа, карбонатно-глинисто-терригенными породами верхнего франа, глинисто-терригенно-карбонатными породами фамена. В фациальном плане здесь можно наблюдать широкий спектр отложений от лагунных к мелководным и обстановкам открытого шельфа. На большей части территории ГДП породы девона перекрыты четвертичными отложениями.

В настоящее время наиболее полный перечень особо ценных геологических объектов России приведен на интернет-ресурсе ВСЕГЕИ “Уникальные геологические объекты” [21]. Систематическое разнообразие особо ценных геологических объектов ГДП типично для платформенных областей. Наиболее широко представлены геоморфологические памятники, что обусловлено широким развитием плейстоценовых моренных флювиогляциальных отложений и связанных с ними форм рельефа. На втором месте по степени представительности находятся стратиграфические памятники, связанные с обнажениями пород девона.

Правильную оценку того или иного критерия может дать только комплексный подход. Так, согласно методологии выделения и ранжирования геологических объектов в России стратиграфически ценными объектами глобального значения являются “Типовые разрезы и местности, где были выделены общие стратиграфические подразделения, принятые в глобальном масштабе” [6, стр. 80]. Разумеется, ни ГДП, ни вся Русская плита не являются типовой областью для девонской системы и ее подразделений, однако именно вовремя подмеченное Э. Эйхвальдом сходство русской морской терригенно-карбонатной формации Новгородской губернии с комплексами из английского

*Old Red Sandstone*, помогло Р. Мурчисону и А. Седжвику отстоять валидность выделенной ими девонской системы.

В результате детального био- и лито-стратиграфического изучения разрезов девона ГДП, проведенного в XX веке выдающимися отечественными стратиграфами была разработана уникальная по степени дробности расчленения региональная стратиграфическая схема и выделены субрегиональные подразделения – слои с географическими названиями. В связи с научной ценностью стратотипы региональных стратиграфических подразделений должны иметь статус стратиграфических памятников регионального значения [6]. Среди утвержденных на ГДП стратиграфических памятников только четыре представлены стратотипами местных и субрегиональных стратиграфических подразделений: Ильменский глинт и долина р. Псижа (стратотипическая область ильменских и бурегских слоев и бурегской свиты), Снеготорско-Муровицкий (стратотип снеготорских слоев и снеготорской свиты), Изборско-Мальская долина (стратотипическая область староизборской свиты). В тоже время многие стратотипы субрегиональных подразделений девона ГДП утрачены: чудовских, дубниковских, свинордских слоев и, в значительной степени, стратотип староизборской свиты (Цинкобурова и др., в печати).

К гидрогеологическим памятникам ГДП относятся минеральный источник в г. Солъцы и Славянские ключи (Изборско-Мальская долина). Главная гидрогеологическая особенность ГДП – наличие вод повышенной минерализации французского водоносного горизонта (область хлоридных вод, локализованная к юго-западу от Порхова, область сульфатных натриевых вод в нижнем течении р. Шелонь, Приильменской впадине, верховьях р. Волхов). Высокое положение пьезометрической поверхности высокоминерализованных вод данного водоносного горизонта в пределах Волховско-Ильменской низменности способствовало возникновению уникального соленосного промысла. Таким образом, можно говорить об историко-географической роли этого гидрогеологического района.

Как было отмечено выше, палеогеографический критерий пока находится в статусе не утвержденного, а только опробуемого критерия, определяющего ценность геологического объекта. Однако именно для разрезов ГДП, где впервые Р.Ф. Геккер заложил основы отечественной палеоэкологии [3] введение палеогеографического критерия является, по-нашему мнению, особо знаменательным. В терригенно-карбонатных породах среднего и верхнего девона ГДП встречаются систематически не очень разнообразные, но многочисленные остатки девонских морских беспозвоночных, рыб, интересные комплексы ихнофоссилий, свидетельствующие о богатом мире инфауны девонского моря северо-запада Балтики. В разрезах франа ГДП можно обнаружить следы различных обстановок осадконакопления.

Крайне важным при палеоэкологических исследованиях является прослеживание разрезов по простиранию с целью изучения фациальной изменчивости отложений. С этой точки зрения особую ценность приобретают крайне редкие для платформенных областей протяженные обнажения коренных пород. В пределах ГДП такими обнажениями, в первую очередь, являются знаменитый Ильменский глинт протяженностью около 15 км (ильменские и бурегские слои, средний фран) – береговой обрыв южного берега озера Ильмень (клиф); Выбутские пороги – протяженное (около 1.5 км) обнажение староизборской свиты (псковских и чудовских слоев, нижний фран) в нижнем течении р. Великая (рис. 1). Хотя Ильменский глинт имеет природоохранный статус [20], ни выделенная природоохранная территория (100 м от бровки глинта), ни статус (комплексный геологический памятник регионального значения) не соответствуют истинной ценности данного объекта. Местонахождение Выбутские пороги, представляющее историческую, историко-географическую, геологическую, биологическую ценность не имеет охранного статуса.



Рис. 1. Расположение Ильменского глинта (1) и урочища Выбуты (2).

Fig. 1. Location of Ilmensky Glint (1) and Vybuty tract (2).

**О проблемах выделения природоохранной зоны и оценки ценности геологического памятника Ильменский глинт.** В основании видимого разреза глинта (рис. 2) – синие пластичные глины с прослоями органогенно-обломочных известняков (темпеститы), перекрываемые светлыми слабо сцементированными песчаниками – верхи рдейской свиты с видимой мощностью до 15 м (ильменские слои). В верхней обнаженной части разреза залегают красноцветные брахиоподовые и криноидно-брахиоподовые ракушники и светло-желтые плитчатые известняки бургеской свиты, представленные в полном объеме, мощностью около 14 м [11].

Породы лежат почти горизонтально, образуя слабый наклон на юго-восток. При общем субгоризонтальном залегании пород девона в пределах глинта, также как и на прилегающей территории, наблюдается несколько систем разновозрастных тектонических дислокаций [16] – пликативных и дизъюнктивных.

Согласно паспорту ООПТ [20] охраняемая зона соответствует только полосе галечного пляжа и обрыву глинта. В свете того, что участок, непосредственно прилегающий к бровке глинта, охранного статуса не имеет, эта область активно распродается под дачное строительство. Малая площадь охраняемой территории и невысокий статус ООПТ (регионального значения), отчасти, обусловлено неполным рассмотрением как всех критериев, отражающих ценность объекта, так и опасностей, угрожающих сохранности объекта. Так, при обосновании ценности ООПТ были недостаточно раскрыты тектонический и геоморфологический критерии, отсутствовали палеогеографический, исторический и историко-географический критерии. Подробное рассмотрение всех критериев, отражающих истинную ценность Ильменского глинта бесспорно заслуживает отдельного исследования, в данной работе для ООПТ Ильменский глинт авторы подробнее рассмотрят палеогеографический, исторический и историко-географический критерии.

**Палеогеографический критерий.** Систематический состав морских беспозвоночных в Южном Приильменье, области, соответствующей более мелководной части морского бассейна в ильменское и бургеское время [3], характеризуется относительно большим разнообразием бентосных стенобионтов. В регрессивной части разреза (ильменские слои) встречаются оогонии харовых водорослей, лингулиформные брахиоподы. В породах франа Южного Приильменья, выделяются следующие экологические типы макрофауны (табл. 1).

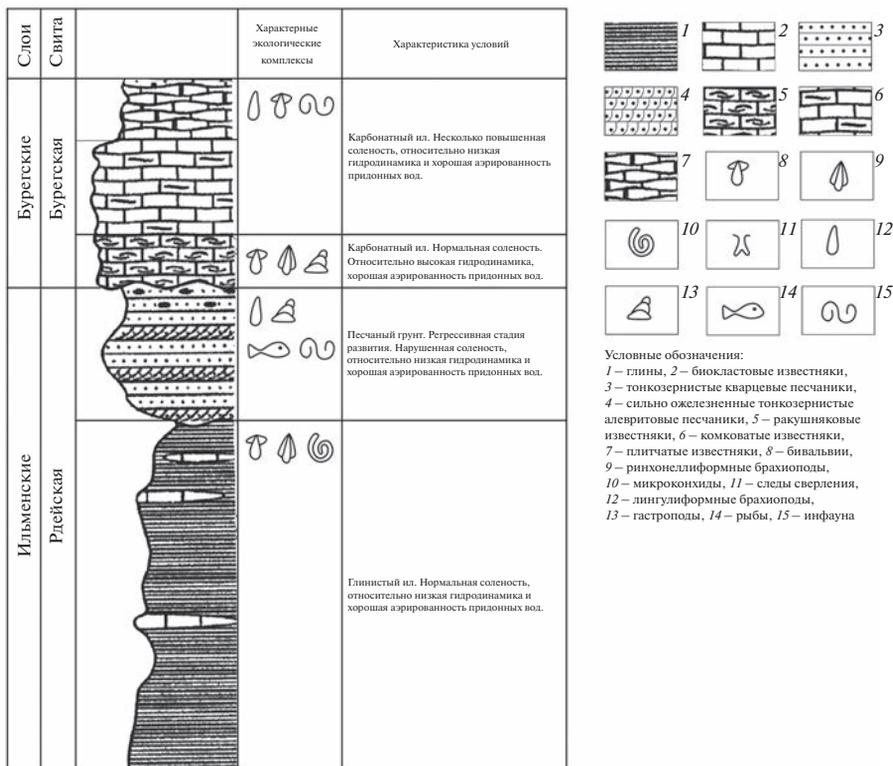


Рис. 2. Схематичная литолого-фациальная характеристика ильменских и бурегских слоев Ильменского глинта.

Fig. 2. Schematic lithofacies characteristics of ilmen and bureg layers of Ilmensky Glint.

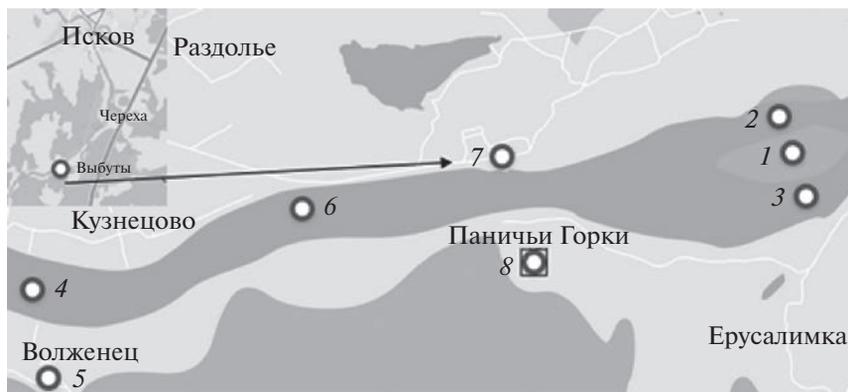
Приведенные примеры показывают достаточно большое палеоэкологическое разнообразие и, тем самым, палеогеографическую ценность ООПТ “Ильменский глинт”. Комплексы фауны, микрофауны и ихнофауны, характеризующие породы среднего франа Южного Приильмения, отражают динамику развития девонского моря на северо-западе Русской плиты и являются хорошей иллюстрацией обитателей мелководного эпиконтинентального морского бассейна.

**Исторический критерий.** История изучения Ильменского глинта в полной мере отражает все этапы изучения ГДП и девонских пород России. Одним из первых о живописности Ильменского глинта сообщил Н.Я. Озерецковский “*За тьмь следуешь погостъ Коростино, на горь противъ Ильменя лежащій\* отъ котораго до города Старой Русы 4 верстъ. Село сіесть двумя каменными церквами и съ плодоносными казенными садами не соотвьтствуетъ прекрасному виду своего мьстоположенія...*” [9, с. 487]. Он же дал первичное описание пород, формирующих глинт. Г.П. Гельмерсен впервые определил породы ГДП как девонские, а также в 1841 году на геологической карте показал характер области, получившей позднее название “Главное девонское поле” [4]. Работы Н.Г. Гельмерсена на ГДП и установление пород схожих с английским *Old Red Sandstone* повлияли на организацию первой широкомасштабной (по охвату площади) международной геологической экспедиции на территории европейской части Российской империи и Уральских гор. Знаменитый английский геолог Родерик Импи Мурчисон

**Таблица 1.** Экологические типы макрофауны, остатки которой можно встретить в ильменских и бургских слоях Ильменского глинта**Table 1.** Ecological macrofauna types the remains of which can be found in ilmen and bureg layers of Ilmeny Glint

Грунт	Характеристика условий	Фауна	Слои
Песчаный	Регрессивная стадия развития морского бассейна. Нарушенная соленость, относительно низкая гидродинамика и хорошая аэрированность придонных вод	Эврифациальные формы: лингулиформные брахиоподы, гастроподы (широкое развитие получил мелководный эврифациальный вид <i>Platyschisma uchtensis</i> Keys), рыбы, представители инфауны	Ильменские
Глинистый ил	Нормальная соленость, относительно низкая гидродинамика и хорошая аэрированность придонных вод	Зарывающиеся формы (возможны находки бивальвий <i>Schizodus devonicus</i> Vern. в положении близком к прижизненному). Небольшие участки относительно твердого грунта (обломки других раковин, сгустки водорослей) являлись субстратом для прикрепленного бентоса – ринхонеллиформных брахиопод ( <i>Cyrtospirifer schelonius</i> , <i>Cyrtina demarlii</i> , <i>Anathyris helmerseni</i> и <i>Schizophoria</i> aff. <i>striatula</i> ), биссусных пеллеципод. Зарывающиеся формы служили твердым субстратом для эродирующих склеробионтов <i>Palaeosabella</i> Clarke. На раковинах беспозвоночных – остатки микроконхид	
Карбонатный ил	Нормальная соленость, относительно высокая гидродинамика и хорошая аэрированность придонных вод	Ринхонеллиформные брахиоподы, прикреплявшиеся с помощью ножки ( <i>Pseudotrയാpa uralica</i> (Nalivkin), <i>Anathyris helmerseni</i> (Buch), <i>Cyrtospirifer tenticulum</i> (Vern.) или путем цементации ( <i>Rhytialosia petini</i> (Nal.)), среди бивальвий широко представлены биссусные формы ( <i>Lep-todesma</i> , <i>Pterinea</i> [3, с. 64]). Ядра гастропод (беллерофонтид) более всего характерны для ракушников в основании бургских слоев, как наиболее мелководный эвригалинный бентос, обитавший на плотном невязком дне.	Бургские
	Несколько повышенная соленость, относительно низкая гидродинамика и хорошая аэрированность придонных вод	Преобладание представителей зарывающихся эвригалинных форм (лингулиформных брахиопод, некоторых бивальвий), крайне разнообразная инфауна.	

также описывал обнажения Ильменского глинта и сам глинт: “...около села Коростыня, – берега южной оконечности Ильменского озера и окраины оврага у селения Бурег представляют обрывы от сорока до пятидесяти футов высотой...” [8, с. 248]. Дальнейший этап активного изучения ГДП пришелся на конец XIX века и связан с работами П.Н. Венюкова, способствовавшими первоначальному расчленению девонских пород и их достаточно полной палеонтологической характеристике. Ильменскому глинту и его ближайшим окрестностям П.Н. Венюков посвятил отдельную главу – “Река Псижа и юго-западный берег озера Ильменя” [2, стр. 83], в которой подробно стратифицировал и палеонтологически охарактеризовал описываемые породы, впервые зафиксировал тектонические дислокации пород глинта. В результате палеонтолого-стратиграфических исследований ГДП в 20–30 гг. XX века Р.Ф. Геккером и Д.В. Обручевым были выделены ильменские и бургские слои. Рассмотрение разрезов Ильменского



**Рис. 3.** Расположение главных историко-географических объектов урочища Выбуты: 1 – остров Чайкин, 2 – рукав Ольгины Слуды, 3 – рукав Ольгины Ворота, 4 – Литовский брод, 5 – деревня Волженец, 6 – разрушенный мост, 7 – церковь пророка Илии у Брода.

**Fig. 3.** The location of main historical and geographical objects of Vybuty tract: 1 – Tchaikin island, 2 – Olginy Sludy arm, 3 – Olginy vorota arm, 4 – Lithuanian ford, 5 – Volzhenec village, 6 – destroyed vridge, 7 – Church of thr Prophet Elijah.

глинта, как эталонных во многих аспектах, продолжилось и на протяжении всех последующих лет. Таким образом, описания обнажений Ильменского глинта вошли в золотой фонд мировой геологической литературы и можно говорить о ценности данного геологического объекта с точки зрения истории развития геологии.

**Историко-географический критерий.** В настоящее время история историко-географический критерий отсутствует при характеристике охраняемых природных территорий, хотя при комплексном рассмотрении их особенностей наличие ценных историко-культурных объектов иногда способствует повышению ее статуса. Для ГДП, области давнего славянского заселения, актуальность прослеживания исторической взаимосвязи этих объектов, является, на наш взгляд, достаточно актуальным.

С исторической точки зрения окрестности глинта, как и все Приильменье, располагаясь в центре Новгородских земель, не однократно оказывались ареной крупных исторических событий. В непосредственной близости от начала берегового обрыва в д. Коростынь был подписан Коростынский мир [12], а штурм южного берега озера Ильмень известен как одна из самых трагичных страниц военной истории региона [10]. Известняки, формирующие береговой обрыв озера Ильмень, еще во времена Великого Новгорода шли на строительство новгородских храмов [17], так как приглынтавая зона оказалась ближайшим к Великому Новгороду перспективным районом для известняковых ломок с учетом удобства водной доставки. Это обусловлено геоморфологическими особенностями местности – пластово-моноклиальная равнина, начинается непосредственно за глинтам, в то время как в остальных районах Приильменской низменности она отступает от водотоков на некоторое расстояние. Эти особенности влияют на степень распространения дочетвертичных пород в регионе и, тем самым, на особенности их разработки.

**О необходимости придания природоохранного статуса местоположению Выбутские пороги.** Выбутские пороги – порожистый участок нижнего течения р. Великой, расположенной в 12 км выше Пскова (участок между дд. Волженец и Паничьи Горки); обнажения приурочены к обоим берегам (рис. 3, 4).

Породы девона представлены толщей переслаивания тонко- и толсто плитчатых светло-серых и кремовых пелитоморфных и алевритистых известняков с подчинен-



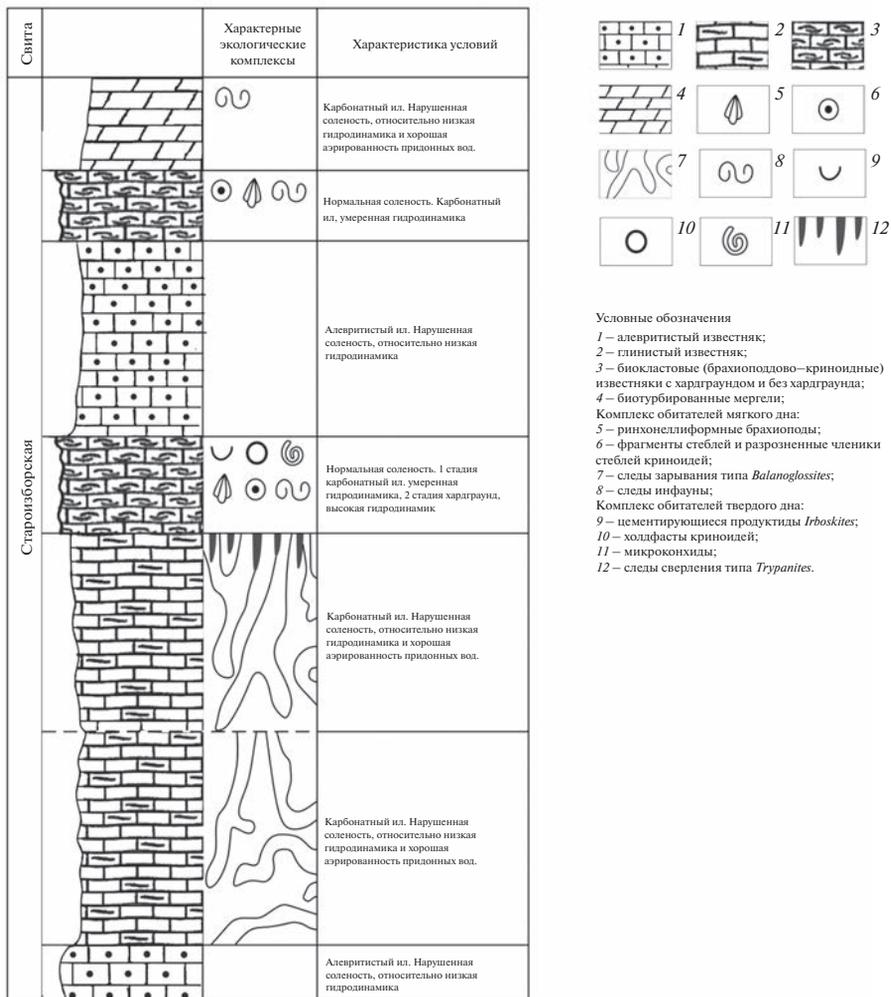
**Рис. 4.** Вид обнажения пород нижнего франа (псковские и чудовские слои) на левом берегу р. Великая, выше церкви пророка Илии у Брода.

**Fig. 4.** An outcrop of pskov and chudsky layers on the left side of Velikaya river.

ными прослоями тонкоплитчатых брахиоподовых и криноидно-брахиоподовых ракушняков (рис. 5). Как правило, непосредственно на девонских карбонатных породах залегает морена, которая в долине р. Великой маломощна и размыта речной и водноледниковой эрозией. Здесь прослеживаются фации карбонатно-илистого софтграунда с разнообразными комплексами ихнофоссилий, хардграундов с характерными следами биоэрозии и комплексами склеробионтов, фирмграундов с типичной железистой импрегнацией, брахиоподовых банок.

Фации карбонатно-илистого софтграунда характеризуются следами активного развития инфавны, описанными Р.Ф. Геккером как следы кишечнодышащих [3]. В настоящее время эти следы идентифицируются как ихнород *Balanoglossites* (рис. 3), предполагаемые авторы следов – черви полихеты, Р. Голдринг и Ю. Казьмерчак [19] высказали предположение, что это были полихеты, обладавшие способностью как сверлить твердый, так и рыть плотный или мягкий осадок.

Хотя фации хардграунда достаточно широко развиты в франских породах ГДП, выявление их местонахождений затруднено. Это обусловлено как сложностью выделения этого типа фаций (более отчетливо признаки фации видны в кровле слоя, а не в стенке обнажения), так утратой многих интересных обнажений. В связи с этим обнажения в районе Выбутских порогов представляют уникальную возможность пронаблюдать 2 слоя хардграунда на значительном протяжении. Эту уникальность местонахождения Выбутские пороги отмечали еще Р.Ф. Геккер [3], Р. Голдринг и Ю. Казьмерчак [19]. Нижний горизонт твердого дна усекает кровлю слоя пелитоморфных известняков со следами *Balanoglossites* (рис. 6а), верхний горизонт наблюдается в кровле слоя брахиоподово-криноидных ракушняков. Оба горизонта узнаются в стенке обнажения по многочисленным норкам сверления *Trypanites* и следам железистой импрегнации (рис. 6б). В отличие от изученных авторами горизонтов хардграунда в породах староизборской свиты в стратотипической местности свиты в окрестностях



**Рис. 5.** Схематичная литолого-фациальная характеристика староизборской свиты (псковские и чудовские слои), левый берег р. Великой в районе Выбутских порогов.

**Fig. 5.** Schematic lithofacies characteristics of pskovsky and chudsky layers on the left side of Velikaya river.

Изборска (действующий карьер Коломно) хардграунды в районе Выбутских порогов отличаются крайне обедненным комплексом склеробионтов.

Геоморфологическая ценность местоположения Выбуты была подробно рассмотрена в работе О.М. Татарникова [14]. Гидрогеологической особенностью местности является наличие источника в д. Волженец – “Колодец святой княгини Ольги” (франский водоносный горизонт). Данный источник в настоящее время является широко известным в регионе геотуристическим объектом.

**Об историческом и историко-географическом значении местоположения Выбутские пороги.** Погост Выбуты известен, в первую очередь, благодаря преданию о княгине Ольге, являвшейся уроженкой этих мест, о чем упоминается в Степенной книге [7, с. 6], ссылаются также, что в районе Выбут произошла первая встреча юной Ольги с князем



**Рис. 6.** Ихнотекстуры известняков староизборской свиты (нижний фран) в обнажение на левом берегу р. Великая на участке разрушенный мост – церковь пророка Илии у Брода. а – следы ползания, ихнород *Balanoglossites* в пелитоморфных известняках; б – Хардграунд, следы сверления, ихнород *Trypanites*.

**Fig. 6.** The limestone texture in the outcrop on the left side of Velikaya river: a – traces of crawling, ichnogenus *Balanoglossites*; b – Hardground, traces of drilling, ichnogenus *Trypanites*.

Игорю же юну суду, и бывшу ему въ Псковской области, яко же нѣдыи повѣдаша, дивно сказаніе, яко нѣкогда ему утѣшающуся нѣкими ловишвами, и узрѣ обѣому справу рѣкы ловѣ желанныи, и не бѣ ему возможно прейти на оную страну рѣкы, понеже не быше ладійцы, и узрѣ нѣкоего плывуща въ ладійцѣ, и призва плывущаго ко брѣгу, и повелѣ себя превести за рѣку, и плывущимѣ имѣ возвратъ на гребца онаго, и повна яко двѣца бѣ сія блаженная Ольга,»

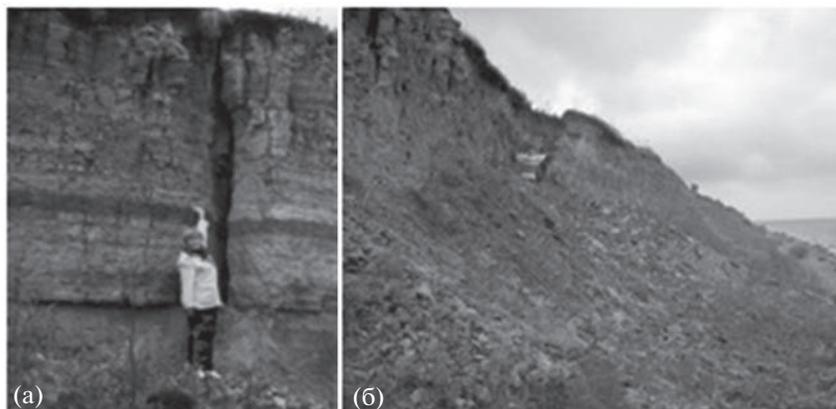
**Рис. 7.** Первое косвенное письменное указание на урочище Выбуты [7, с. 7–8.]

Игорем. В Степенной книге есть описание этой встречи, однако указания на Выбуты отсутствует (рис. 7).

Данные предания породили многочисленные топонимы, связанные с княгиней Ольгой. Ниже Ильинской церкви остров Чайкин делит р. Великую на две протоки, левая называется *Ольгины слуды*, правая – *Ольгины ворота*. Различно трактуется диалектное *слуды*. Согласно словарю В. Даля *слудка* – крутой берег реки, особенно бугристый [5, с. 229], схоже дается трактовка у И.И. Срезневского [13, с. 425] *слуда*, *слуды* – утес. Однако ниже церкви характер берега меняется: пойма резко расширяется, а крутой, высокий эрозионный берег исчезает. В связи с этим здесь уместно упомянутая В. Далем устаревшая трактовка *слуд*, *слуды* – мочажины, мочажные заливные луга [5, с. 229].

Через Выбутский брод проходила древняя дорога на Псков [15]. В ситуации угрозы Пскову псковитяне стремились “затворить броды”, так было в 1407 г. при походе на Псков Ливонского ордена и в 1480 г. во время Русско-Ливонской войны. Главный брод р. Великой в районе деревень Кузнецово-Воженец получил название Литовский брод. Географо-геологическое своеобразие урочища Выбуты оказалось стратегически важным в жизни древнего Пскова.

**Природные и антропогенные опасности как угроза сохранности многих особо ценных геологических объектов ГДП.** Несмотря на то что, природоохранный статус двух рассмотренных выше особо ценных геологических объектов различен, описанные объекты, как и многие другие обнажения ГДП, подвергаются воздействию разнообразных



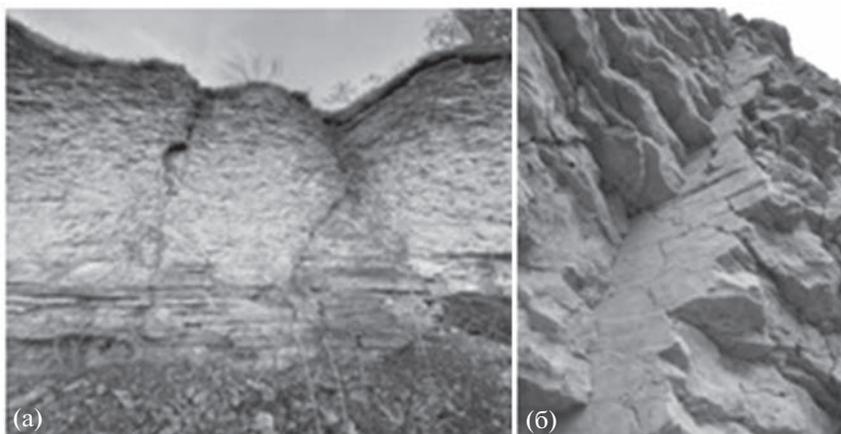
**Рис. 8.** Особенности процессов выветривания и развития гравитационных процессов Ильменского глинта. а – характер трещиноватости известняков бурегской свиты; б – блок оседания бурегских известняков.

**Fig. 8.** The peculiarities of weathering and gravity processes of Ilmeny Glint: а – limestone fracture, б – block of subsidence.

деструктивных процессов: выветривания, оползневых процессов, оседания склонов. Активному развитию деструктивных процессов способствуют следующие факторы: особенности развития коренных пород и четвертичных отложений; литологические особенности пород франа; наличие пликативных и дизъюнктивных структур в пределах описываемых территорий; антропогенная нагрузка.

*Особенности развития коренных пород и четвертичных отложений как фактор, способствующий деструкции особо ценных геологических объектов.* В районе четвертичные осадки распространены не равномерно, поэтому дочетвертичные породы подвергаются активному воздействию атмосферных и поверхностных вод. Естественно, зоны протяженных и уникальных обнажений оказываются наиболее уязвимыми для любых экзогенных процессов. Это, как было отмечено выше, уже привело к утрате многих ценных геологических объектов, среди которых были и стратотипы. Изменение гидрологического режима многих рек северо-запада России в течение XX века способствовало значительному изменению морфологии речных долин и утрате многих естественных обнажений. Эту особенность подметил еще Р.Ф. Геккер: *“Годы наших работ на Главном поле были очень удачными в том отношении, что обнаженность слоев девона была тогда очень хороша. В последующие десятилетия она сильно ухудшилась: большинство обнажений начало зарастать...”* [3, с. 5].

*Литологические особенности пород франа.* Чередование различных по степени прочности карбонатных пород, глин и терригенных пород является дополнительным, способствующим деструкции фактором. Это отчетливо видно при сравнении особенностей протекания процессов выветривания на Ильменском глинте и в обнажениях в районе Выбутских порогов. Наличие в районе глинта двух литологически различных толщ (верхней карбонатной и подстилающей песчано-глинистой) способствует интенсивному развитию как процессов выветривания, так и гравитационных процессов. На Ильменском глинте наиболее ярко трещиноватость проявляется в известняках бурегской свиты, при этом широко развиты субвертикальные трещины, развитые на всю мощность карбонатной толщи (рис. 8а). В результате формирования таких трещин образуются блоки оседания известняков, соскальзывающие вниз по смоченному водупору поверхности глин, формируя колювий, часто закрывающий нижнюю часть уступа глинта (рис. 8б).



**Рис. 9.** Особенности процессов выветривания в берегах р. Великой в районе Выбутских порогов. а – характер трещиноватости в известняках обнажения на правом берегу р. Великой, восточнее д. Волженец; б – гладкая стенка отрыва в известняках (псковские слои) на левом берегу р. Великой, в окрестностях Выбутских порогов.

**Fig. 9.** The peculiarities of weathering on the river Velikaya banks: а – limestone fracture on the right river bank, б – smooth wall on the left river bank.

Преимущественно карбонатный характер разреза в районе Выбут также влияет на развитие процессов выветривания и последующих обвальнo-осыпных явлений. При большой мощности карбонатной толщи характер и интенсивность трещиноватости во многом зависят от тектонического фактора. На правом и левом берегах р. Великой в нижнефранских известняках староизборской свиты наблюдаются трещины как неровные, бугристые со следами действия временных потоков, так трещины с формированием четко выраженных гладких поверхностей скольжения (рис. 9а, 9б).

*Наличие пликативных и дизъюнктивных структур в пределах описываемых территорий.* В пределах ГДП, как и на территории всего северо-запада Русской плиты, наблюдаются относительно многочисленные разновозрастные дислокации пород палеозоя. Наличие таких структур – дополнительный фактор, способствующий возникновению зон повышенной трещиноватости и еще более активному развитию деструктивных процессов. Обычно подобные тектонические дислокации характеризуются малой амплитудностью (первые метры–десятки метров). Так в пределах 15 км Ильменского глинта и приглинтовой части низовий рек наблюдается около 50 малоамплитудных (до 3 м) асимметричных синклинальных и антиклинальных складок, несколько складок с амплитудой до 300 м и 6 надвигов [16], в районе 1.5 км Выбутских порогов – 2 антиклинальные и одна синклинальная складки [1]. Благодаря локальным тектоническим дислокациям, развитие зон максимальной деструкции имеет пятнистый характер и крайне неравномерное распределение.

*Антропогенная нагрузка.* Природные факторы, воздействующие на породы, усугубляются антропогенной деятельностью. К таким антропогенным факторам можно отнести созданную в годы Великой Отечественной войны вблизи бровки глинта сеть немецких окопов и перемещение сельскохозяйственного транспорта по полям в приглинтовой зоне в послевоенное советское время; в настоящее время негативную роль играет активно циркулирующий транспорт туристов и дачников, также доезжающий почти до бровки глинта. По свидетельствам местных жителей и историческим данным (исчезновение следов немецких окопов, вырытых непосредственно вблизи

бровки глинта), береговой уступ озера Ильмень заметно разрушается за счет оползневых процессов (со скоростью примерно 2–5 м за десятилетие).

Район Выбутских порогов также находится в области интенсивной антропогенной нагрузки. Это обусловлено близостью к Пскову, наличием большого количества деревень по обоим берегам рек практически на всем протяжении описываемого участка, серией отработанных карьеров разного времени обработки на левобережье реки, грунтовыми дорогами, проходящими непосредственно вдоль речного обрыва на обоих берегах реки. В последнее время наблюдается стихийное увеличение туристского потока в район Выбут, обусловленное исторической и пейзажной привлекательностью местности.

## ВЫВОДЫ

Проведенный анализ состояния двух особо ценных геологических объектов ГДП демонстрирует проблемы, которые, по нашему мнению, бесспорно являются общими для всей российской природоохранной системы. Имеющаяся на данный момент система охраны особо ценных геологических объектов не отличается продуманностью и разработанностью.

1. Для утвержденного памятника Ильменский глинт обоснована палеогеографическая, историческая и историко-географическая ценность.

2. Обнажения староизборской свиты (псковские и чудовские слои, нижний флан) в берегах р. Великой в районе Выбутских порогов (с учетом их палеогеографической ценности), а также долине р. Великой на участке Паничи Горки–Волженец (с учетом историко-географического значения этого места) следует придать природоохранный статус.

3. Утверждение статуса природоохранной территории часто проходит без привлечения широкого круга специалистов различных направлений, в результате чего наблюдается как неверное понимание истинной ценности природных объектов, так и некорректная вырезка природоохранной территории. Анализ состояния изученных особо ценных геологических объектов показал, что статус ООПТ регионального значения не обеспечивает никакой системы охраны и мониторинга состояния территории. В пределах Ильменского глинта, как и для другого изученного особо ценного геологического объекта, не имеющего природоохранного статуса (Выбутских порогов) наблюдается интенсивная деструкция береговых обрывов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брунс Е.А. Куполовидные структуры в девоне западной части Ленинградской области // Материалы по геологии и полезным ископаемым Карело-Финской ССР, Ленинградской и Мурманской областей. Л.–М.: Гостоптехиздат, 1940. С. 15–26.
2. Венюков П.Н. Отложения девонской системы Европейской России: Опыт их подразделения и параллелизации. Санкт-Петербург: тип. В. Демакова, 1884. 303 с.
3. Геккер Р.Ф. Тафономические и экологические особенности фауны и флоры Главного девонского поля. М.: Наука, 1983. 144 с.
4. Гельмерсен Г.П. Генеральная карта горных формаций Европейской России // Горн. журнал. 1841. № 4.
5. Даль В.И. Толковый словарь живого великорусского языка. Том четвертый. Санкт-Петербург–Москва. Издание книгопродавца М.О. Вольфа. 1882. 703 с.
6. Лаппо А.В., Давыдов В.И., Пашкевич Н.Г., Петров В.В., Вдовец М.С. Методические основы изучения геологических памятников природы России // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1993. Т. 1. № 6. С. 75–83.
7. Книга степенная царского родословия, содержащая историю российскую с начала оныя до времен государя царя и великаго князя Иоанна Васильевича, сочиненная трудами преосвященных митрополитов Киприана и Макария, напечатанная под смотрением коллежского советника, и Императорской Академии наук, також и разных иностранных академий, и Вольногоэкономического и Российскаго Вольнаго же собрания члена Герарда Фридерика Миллера. М.: При Императорском университете, 1775. Ч. 1. 1775. 580 с.
8. Мурчисон Р.И., Вернейль Ф.Э., Кейзерлинг А.А. Геологическое описание Европейской России и хребта Уральского. В 2 ч. СПб.: тип. ИАН, 1849. Ч. 1. 1141 с.

9. *Озерецковский Н.Я.* Путешествие академика Н. Озерецковского по озерам Ладожскому, Онежскому и вокруг Ильменя: С 15 табл. 2-м тиснением. Санкт-Петербург: Имп. акад. наук, 1812. 560 с.
10. *Петров Д.Д.* Якутяне в боях на озере Ильмень. 2-е изд., перераб. и доп. Якутск: Изд-во Якутского ун-та, 2003. 31 с.
11. *Русецкая Г.А., Тарасенко А.Б., Вербицкий В.Р. и др.* Стратотип бурегских слоев (франский ярус, Главное девонское поле) // Литосфера, 2013. № 5. С. 42–56.
12. *Скрынников Р.Г.* Иван III. М.: АСТ Транзиткнига, 2006. 285 с.
13. *Срезневский И.И.* Материалы для словаря древнерусского языка по письменным памятникам Том третий. Санкт-Петербург, типография Императорской Академии наук, 1912. 910 с.
14. *Татарников О.М.* Ландшафтно-геоархеологическая характеристика рекреационной системы урочища Выбуты в низовье долины р. Великой // Туристско-рекреационный потенциал, природное и культурное наследие Восточной Европы. Материалы Международной научно-практической конференции. Псков. Псковский государственный университет, 2017. С. 146–153.
15. *Харлашов Б.Н.* Выбуты родина княгини Ольги (археологические реалии) // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки, 2013. С. 98.
16. *Шишлов С.Б.* Складчатые и разрывные деформации верхнего девона на территории Южного Приильменя (северо-запад Русской плиты) // Региональная геология и металлогения. № 61. 2015. С. 21–26.
17. *Antipov I., Antonov A., Jolshin D., Savchenok A., Tarasenko A., Yakovlev D.* Natural stone in the 14th–15th-Century secular buildings of the Novgorod Kremlin // Journal of Cultural Heritage 48. 2021. P. 312–318.
18. *Bruno D.E. et al.* Paleogeography as geological heritage: Developing geosite classification // Earth-Science Reviews. 2014. 138. P. 300–312.
19. *Goldring R., Kazmierczak J.* Ecological succession in intraformational hardground formation. Palaeontology. 1974. 17. Pt 4. P. 949–962.
20. Ильменский глнт // Справочно-поисковая система “Уникальные геологические объекты России” <http://www.geomem.ru/Ilmenskiy-glint> дата обращения 27.11.2021 (дата обращения 11.11.2022).
21. [21] Уникальные геологические объекты России (геологические памятники природы) <https://www.geomem.ru/> (дата обращения 11.12.2022).

### On the Allocation of Regional Geological Monuments of the Main Devonian Field

M. G. Cinkoburova<sup>1, \*</sup> and L. P. Norova<sup>1, \*\*</sup>

<sup>1</sup>*Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia*

*\*E-mail: maschek@mail.ru*

*\*\*E-mail: larianorova@rambler.ru*

**Abstract**—Using the example of two particularly valuable geological objects of the Main Devonian Field (Ilmen glint and the valley of the Velikaya River in the area of the Vybuty rapids), the features of the allocation and protection of geological monuments of regional significance are considered. Ilmen glint is a complex (stratigraphic, paleontological, ore-lithopetrological, hydrogeological) geological monument of regional significance. The authors substantiate the paleogeographic value of the object, which consists in the possibility of studying various ecological complexes of the macrofauna of the Middle Frasnian Sea, reflecting both regressive and transgressive stages of its development. Also, for the Ilmen glint are recommended two new criteria: a historical criterion (reflection of information about a geological object in the classical geological literature) and (for the first time) the introduction of a new historical and geographical criterion (the relationship of geological and geographical features with the history of settlement and development of the region). As a unique geological object, Ilmen glint has been studied by outstanding Russian and foreign researchers. The sections of the glint and the near-glint region are stratotypic for a number of sub-regional and local subdivisions of the Middle Frasnian of the Main Devonian Field. The features of the geological structure (close occurrence to the surface of carbonate rocks of the Upper Devonian), proximity to Novgorod and convenient communication with it by water influenced the fact that this area became one of the areas of ancient mining back in the days of Veliky Novgorod. Due to the location at the crossroads of important roads, the surroundings of glint often turned out to be the scene of important historical events, so in the village of Korostyn, located at the western tip of glint, the famous Korostyn Peace was concluded. The Vybuty Rapids tract is not a protected area, although it also has a clear scientific value

from the paleogeographic (interesting complexes of ichnofossils are observed in the outcrop and extremely valuable in the reconstruction of paleogeographic conditions of the hardground facies) and historical and geographical points of view (a large ford was the strategic place in the Middle Ages for Pskov). The article considers the influence of natural and anthropogenic hazards on the condition of the described geological objects. In the described unique outcrops, there is an active manifestation of landslide processes and weathering processes. At the same time, the terrain features (the presence of local plicative and disjunctive structures that contribute to the formation of zones of increased fracturing) are aggravated by the active traffic load in the areas adjacent to the coastal cliffs.

*Keywords:* especially valuable geological objects, upper Devon, Fran, the main Devonian field, Ilmen Glint, Baby thresholds, environmental groups of invertebrates, nimbogors, natural and anthropogenic processes

## REFERENCES

1. *Bruns E.A.* Kupolovidnye struktury v devone zapadnoj chasti Leningradskoj oblasti // *Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Karelo-Finskoy SSR, Leningradskoj i Murmanskoy oblastej*. L.–M.: Gostoptekhizdat, 1940. S. 15–26.
2. *Venyukov P.N.* Otlozheniya devonskoy sistemy Evropejskoj Rossii: Opyt ih podrazdeleniya i parallelizacii. Sankt-Peterburg: tip. V. Demakova, 1884. 303 s.
3. *Gekker R.F.* Tafonomicheskie i ekologicheskie osobennosti fauny i flory Glavnogo devonskogo polya. M.: Nauka, 1983. 144 s.
4. *Gel'mersen G.P.* General'naya karta gornyh formacij Evropejskoj Rossii // *Gorn. zhurnal*. 1841. № 4.
5. *Dal' V.I.* Tolkovyj slovar' zhivogo velikorusskogo yazyka. Tom chetvertyj. Sankt-Peterburg-Moskva. Izdanie knigoprodavca M.O. Vol'fa. 1882. 703 s.
6. *Lappo A.V., Davydov V.I., Pashkevich N.G., Petrov V.V., Vdovec M.S.* Metodicheskie osnovy izucheniya geologicheskikh pamyatnikov prirody Rossii // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*, 1993. T. 1. № 6. S. 75–83.
7. Kniga stepennaya carskago rodosloviya, soderzhashchaya istoriyu rossijskuyu s nachala onyya do vremen gosudarya carya i velikago knyazyza Ioanna Vasil'evicha, sochinennaya trudami preosvyashchennyh mitropolitov Kipriana i Makariya, napechatannaya pod smotreniem kollezhskago sovetnika, i Imperatorskoj Akademii nauk, takozh i raznyh inostrannyh akademij, i Vol'nagoekonomicheskago i Rossijskago Vol'nago zhe sobraniya chlena Gerarda Friderika Millera. Moskva: Pri Imperatorskom universitete, 1775. CH. 1. 1775. 580 s.
8. *Murchison R.I., Vernejl' F.E., Kejzerling' A.A.* Geologicheskoe opisanie Evropejskoj Rossii i hrebta Ural'skogo. V 2 ch. SPb.: tip. IAN, 1849: CH. 1. 1141 s.
9. *Ozereckovskij N.Ya.* Puteshestvie akademika N. Ozereckovskogo po ozeram Ladozhskomu, Onezhskomu i vokrug Il'mena: S 15 tabl. 2-m tiseniem. Sankt-Peterburg: Imp. akad. nauk, 1812. 560 s.
10. *Petrov D.D.* YAkutyane v boyah na ozere Il'men'. 2-e izd., pererab. i dop. Yakutsk: Izd-vo Yakutskogo un-ta, 2003. 31 s.
11. *Ruseckaya G.A., Tarasenko A.B., Verbickij V.R. i dr.* Stratotip buregskih sloev (franskij yarus, Glavnoe devonskoe pole) // *Litosfera*, 2013. № 5. S. 42–56.
12. *Skrynnikov R.G.* Ivan III. M.: AST Tranzitkniga, 2006. 285 s.
13. *Sreznevskij I.I.* Materialy dlya slovarya drevnerusskogo yazyka po pis'mennym pamyatnikam Tom tretij. Sanktpeterburg, tipografiya Imperatorskoj Akademii nauk, 1912. 910 s.
14. *Tatarnikov O.M.* Landshaftno-geoarheologicheskaya karakteristika rekreacionnoj sistemy urochishcha Vybuty v nizov'e doliny r. Velikoj // *Turistsko-rekreacionnyj potencial, prirodnoe i kul'turnoe nasledie Vostochnoj Evropy. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. Pskov. Pskovskij gosudarstvennyj universitet, 2017. S. 146–153.
15. *Harlashov B.N.* Vybuty rodina knyagini Ol'gi (arheologicheskie realii) // *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i fiziko-matematicheskie nauki*, 2013. S. 98.
16. *Shishlov S.B.* Skladchatye i razryvnye deformacii verhnego devona na territorii Yuzhnogo Priil'men'ya (severo-zapad Russkoj plity) // *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. № 61. 2015. S. 21–26.
17. *Antipov I., Antonov A., Jolshin D., Savchenok A., Tarasenko A., Yakovlev D.* Natural stone in the 14th–15th-Century secular buildings of the Novgorod Kremlin // *Journal of Cultural Heritage* 48. 2021. P. 312–318.
18. *Bruno D.E. et al.* Paleogeography as geological heritage: Developing geosite classification // *Earth-Science Reviews*. 2014. 138. P. 300–312.
19. *Goldring R., Kazmierczak J.* Ecological succession in intraformational hardground formation. *Palaeontology*, 1974. 17. Pt 4. P. 949–962.
20. Il'menskij glint // *Spravochno-poiskovaya sistema "Unikal'nye geologicheskie ob'ekty Rossii"* <http://www.geomem.ru/Ilmenskij-glint> (data obrashcheniya 11.11.2022).
21. Unikal'nye geologicheskie ob'ekty Rossii (geologicheskie pamyatniki prirody) <https://www.geomem.ru/> (data obrashcheniya 14.12.2022).