

Вестник Московского университета

Серия 5 ГЕОГРАФИЯ

Издательство Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

2024 • Т. 79 • № 5

СЕНТЯБРЬ–ОКТАБРЬ

Выходит один раз в два месяца

Посвящается 270-летию Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова

СОДЕРЖАНИЕ

География и экология

- Кошелева Н.Е., Сычева Д.Г., Касимов Н.С.* Геохимия снежного покрова на территории МГУ имени М.В. Ломоносова..... 3
- Красовская Т.М., Лукьянов Л.Е., Тикунов В.С.* Проблема сохранения природоохранных функций городских заказников в условиях рекреационной нагрузки..... 17
- Исаев А.В., Демаков Ю.П., Шарафутдинов Р.Н., Рыжова Л.В.* Геохимические особенности аллювиальных почв среднего течения р. Большой Кокшаги..... 27

Методы географических исследований

- Черкашин А.К., Распутина Е.А.* Математико-статистический анализ геоизображений для изучения пространственной организации геосистем..... 40
- Бобровский Р.О., Горячко М.Д.* Выявление кластеров высокотехнологичной промышленности на уровне регионов и городов России в 2015–2019 гг..... 52

Динамика природных процессов

- Лящевская М.С., Паничев А.М.* Влияние позднеголоценовых изменений климата на лесные экосистемы Сихотэ-Алинского биосферного заповедника по данным спорово-пыльцевого анализа озерных отложений..... 65
- Чепурная А.А., Новенко Е.Ю.* Реконструкция растительности и климата долины р. Теберды (Западный Кавказ) в позднем голоцене по палинологическим данным..... 78

География мирового хозяйства

- Акимова В.В., Чернецкий Ф.М.* Трансформация территориальной структуры обрабатывающей промышленности Республики Корея в XXI в..... 90
- Щеглова Е.А., Дохов Р.А.* Деконцентрация или децентрализация? Пространственная динамика логистики в Лос-Анджелесе и Чикаго..... 101

Региональные исследования

- Котеньков С.А., Лобачева Д.М.* Карта и записки Энгельберта Кемпфера 1697 г. Историко-географический анализ..... 114
- Караваяев В.А., Гуня А.Н., Аккиев М.И., Воскова А.В.* Оценка состояния и перспектив экологического туризма на территории Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника..... 124
- Щитова Н.А., Зольникова Ю.Ф., Соловьев И.А., Белозеров В.С.* Географические особенности адаптации иностранных студентов в России..... 141

Краткие сообщения

- Савенко А.В., Савенко В.С., Иванова И.С.* Содержание фтора в поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа..... 155
- Дьяконов К.Н., Пыленок П.И., Харитонов Т.И.* Водный режим Окской поймы в условиях изменения климата как фактор ограничения природопользования..... 162

CONTENTS

Ecology and geography

<i>Kosheleva N.E., Sycheva D.G., Kasimov N.S.</i> Geochemistry of snow cover within the territory of the Lomonosov Moscow State University.....	3
<i>Krasovskaya T.M., Lukianov L.E., Tikunov V.S.</i> Maintaining the nature protection functions of urban nature reserves under the recreational load.....	17
<i>Isaev A.V., Demakov Y.P., Sharafutdinov R.N., Ryzhova L.V.</i> Geochemical features of alluvial soils of the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga river.....	27

Methods of geographical studies

<i>Cherkashin A.K., Rasputina E.A.</i> Mathematical and statistical analysis of geo-images for studying the spatial organization of geosystems.....	40
<i>Bobrovskiy R.O., Goryachko M.D.</i> Identification of high-tech industry clusters at the level of Russian regions and cities in 2015–2019.....	52

Dynamics of natural processes

<i>Lyashchevskaya M.S., Panichev A.M.</i> Influence of the late Holocene climate changes on forest ecosystems of the Sikhote-Alin biosphere reserve from the data of spore-pollen analysis of lake sediments.....	65
<i>Chepurnaya A.A., Novenko E.Yu.</i> Vegetation and climate history of the Teberda river valley (Western Caucasus) in the late Holocene from the palynological data.....	78

Geography of world economy

<i>Akimova V.V., Chernetskii F.M.</i> Transformation of the territorial structure of manufacturing in the Republic of Korea in the 21st century.....	90
<i>Shcheglova E.A., Dokhov R.A.</i> Deconcentration or Decentralization? Spatial Dynamics of Logistics in Los Angeles and Chicago.....	101

Regional studies

<i>Kotenkov S.A., Lobacheva D.M.</i> Engelbert Kempfer's map and notes of 1697. Historical and geographical analysis.....	114
<i>Karavaev V.A., Gunya A.N., Akkiev M.I., Voskova A.V.</i> Assessment of the state and prospects of ecological tourism within the territory of the Kabardino-Balkar high-mountain reserve.....	124
<i>Shchitova N.A., Zolnikova Ju.F., Soloviev I.A., Belozarov V.S.</i> Geographical features of foreign students' adaptation in Russia.....	141

Short communications

<i>Savenko A.V., Savenko V.S., Ivanova I.S.</i> Fluorine content in surface and ground waters of the Yamalo-Nenets autonomous region.....	152
<i>Diakonov K.N., Pylenok P.I., Kharitonova T.I.</i> Water regime of the Oka river floodplain under climate change as a factor limiting nature management.....	162

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК: 504.054;504.064.2.001.18

ГЕОХИМИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Н.Е. Кошелева¹, Д.Г. Сычева², Н.С. Касимов³

¹⁻³ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв*

¹ *Профессор, д-р геогр. наук; e-mail: natalk@mail.ru*

² *Аспирант; e-mail: l.msu@yandex.ru*

³ *Академик, д-р геогр. наук; e-mail: nskasimov@geogr.msu.ru*

Определены концентрации взвешенных форм металлов и металлоидов в снежном покрове и скорости их осаждения на территории МГУ за зимний период 2021/22 г. Проанализировано содержание Zn, As, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Sb, V, Mn, Bi, Mo, Co, W, Sr, Be, Ti, Ag, Sn и Fe. Антропогенное воздействие в Москве обусловило увеличение твердых выпадений из атмосферы в среднем до 27 кг/км² в сутки, что в 5,4 раза больше, чем на фоновой территории. В твердой фазе снежного покрова наиболее интенсивно аккумулируются W, Sb, Sn, Sr, Cd, Bi с превышением их концентраций над фоном в среднем в 5,2–9,7 раза. Наиболее сильно по сравнению с фоном загрязнен снежный покров селитебной зоны, где аккумулируются Sb, W, Cd, Bi, Sn и Sr, их содержание превышает фон в 4,1–12 раз. На 45% изученной территории выявлен средний уровень суммарного загрязнения твердой фазы снега с $Z_c = 32-64$. Максимальная интенсивность выпадения поллютантов зафиксирована в рекреационной зоне ($Z_d = 413$). Наибольшие уровни пылевой нагрузки (141 кг/км² в сутки) и суммарного показателя имиссии ($Z_d = 1764$) установлены на территории стадиона МГУ. С помощью метода APCA-MLR идентифицированы три основных источника поллютантов: выбросы автомобильного транспорта влияют на поступление Fe, Cr, V, Ni, Pb, Co, Mo, W, Sn, Zn, природно-техногенные источники определяют накопление Be, Ti, Bi, Mn, Sb, Mo, As, Sr, выбросы промышленных предприятий – Cu, Pb, Cr.

Ключевые слова: металлы, металлоиды, Москва, атмосферные выпадения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.1

ВВЕДЕНИЕ

Высокие темпы урбанизации в последние десятилетия оказывают значительное влияние на качество городской среды во многих странах мира. Сильное антропогенное воздействие испытывают все компоненты урбандолифтов, включая водные объекты, атмосферный воздух и почвенный покров [Sicard et al., 2023]. В городах с продолжительным зимним периодом, во время которого формируется устойчивый снежный покров, снег активно используется в качестве индикатора загрязнения окружающей среды. Это обусловлено его высокой сорбционной способностью, связанной с меньшей скоростью выпадения и большей площадью поверхности снежинок по сравнению с дождевыми каплями [Vasić et al., 2012]. Исследование химического состава пылевой составляющей снега позволяет определить количество загрязняющих веществ, выпада-

ющих на снежный покров за зимний период, когда концентрации поллютантов в атмосфере выше, а низкая температура препятствует растворению и трансформации веществ. По степени загрязнения снега можно количественно оценить пылевую и геохимическую нагрузку на городские ландшафты и массу поллютантов, поступающих в почву и поверхностные воды во время снеготаяния [Геохимия ландшафтов..., 2016]. При изучении геохимии снежного покрова в городах особое внимание уделяется накоплению в нем высокотоксичных и канцерогенных загрязнителей, включая металлы и металлоиды (ММ) [Vlasov et al., 2020].

В крупных мегаполисах важную роль в загрязнении городской среды играют выбросы автомобильного транспорта. Снежный покров вдоль обочин дорог активно накапливает поллютанты, поступающие с выбросами автотранспорта. Во время весен-

него таяния снега загрязненные стоки попадают в поверхностные и подземные воды и затем включаются в региональные миграционные потоки, вызывая повышение содержания элементов в сопредельных природных средах [Геохимия ландшафтов..., 2016].

Кампус МГУ на Воробьевых горах занимает площадь около 167 га, на его территории расположены учебные корпуса факультетов, Фундаментальная библиотека, Медицинский научно-образовательный центр, Ботанический сад, спортивные и другие вспомогательные и служебные объекты. Со всех сторон кампус ограничен крупными автомобильными дорогами с интенсивным транспортным движением, практически у каждого корпуса на территории МГУ расположены автомобильные парковки. Ежедневно университет посещают десятки тысяч человек, которые пользуются личным и общественным автотранспортом.

Цель работы – оценить уровень загрязнения территории МГУ имени М.В. Ломоносова в северо-восточной части района Раменки г. Москвы по микроэлементному составу твердой фазы в снежном покрове. Для этого решались следующие задачи: 1) установить интенсивность пылевых выпадений на фоновой и городской территориях; 2) определить уровни концентраций и выпадения поллютантов в различных функциональных зонах кампуса; 3) оценить суммарное загрязнение снежного покрова и иммиссию элементов; 4) идентифицировать основные источники загрязнения и их вклад в накопление ММ в твердой фазе снежного покрова на территории МГУ.

Исследуемая территория. Территория МГУ в районе Раменки относится к Западному административному округу (ЗАО) г. Москвы. Большая часть территории ЗАО расположена на Теплостанской возвышенности – пологоувалистой аккумулятивной равнине, расчлененной глубокими эрозионными долинами, балками и оврагами. Мощность четвертичных отложений здесь составляет 10–30 м; отложения представлены донской мореной и флювиогляциальными песками, перекрытыми валунными суглинками московской морены [Макарова, Григорьева, 2019]. Под влиянием техногенных факторов в ЗАО сформировались антропогенные почвы, представленные в основном урбаноземами, развитыми на насыпных или перемешанных грунтах [Антропогенные почвы..., 2003].

Климат Москвы умеренно континентальный со среднегодовой суммой осадков 600–700 мм. Метеорологическая зима длится с середины ноября по третью декаду марта, устойчивый снежный покров наблюдается, как правило, с конца ноября до начала апреля. За счет сжигания топлива зимой возникает «остров тепла» – в период морозов разница темпе-

ратур между центром и периферией может достигать до 5–7°C [Varentsov et al., 2018]. По данным Гидрометцентра России [https://meteoinfo.ru/], зимой 2021/22 г. средняя температура воздуха составила +4,4°C, по этому показателю данный период входит в десятку самых теплых зим. Осадков выпало на 30% больше нормы – 178 мм. Постоянный снежный покров установился 1 декабря, высота снежного покрова в январе достигла максимума – 49 см, а к концу февраля из-за интенсивного снеготаяния уменьшилась до 17 см.

На формирование геохимических аномалий в снежном покрове сильное влияние оказывает функциональная структура города. На территории МГУ выделены селитебная, рекреационная и транспортная функциональные зоны (рис. 1). Большая часть селитебной зоны занимает комплекс учебных и жилых корпусов, научная библиотека, метеообсерватория. Кроме того, она включает здания торгового и медицинского назначения. Рекреационная зона представлена Ботаническим садом, большим газонным МГУ, спортивными площадками, скверами и неиспользуемой территорией (пустырем). К транспортной зоне относятся участки автомагистралей с интенсивным движением: проспекты Вернадского, Ломоносовский, Университетский и Мичуринский, а также автодороги с малоинтенсивным движением на территории МГУ: улицы Лебедева, Хохлова и Менделеевская.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Снегомерная геохимическая съемка территории МГУ с шагом 50–150 м (см. рис. 1) проводилась в январе–феврале 2022 г. Смешанные пробы снега состояли из 10 отдельных проб, отобранных на расстоянии 1–2 м друг от друга пластиковой трубкой с площадью поперечного сечения 20 см². Всего получено 64 пробы снега и шесть фоновых проб в Можайском районе Московской области.

Основные физико-химические характеристики снега определялись в Эколого-геохимическом научно-образовательном центре географического факультета МГУ. Отобранные пробы помещались в пластиковые ведра и растапливались при комнатной температуре. Путем фильтрования через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм (EMD Millipore) выделяли твердую (фильтр со взвесью) и жидкую (фильтрат) фазы. Гранулометрический состав взвеси определялся на лазерном гранулометре Analysette 22 MicroTec plus (Fritsch, 2015 г. выпуска). Концентрации ММ в твердой фазе анализировались в сертифицированной лаборатории ВНИИ минерального сырья методами масс-спектропии и атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS/AES) с использо-

ванием масс-спектрометра iCAP Qc (Thermo Fisher Scientific, 2017 г. выпуска) и атомно-эмиссионного спектрометра Optima-4300 DV (Perkin) Элмер, 2018 г. выпуска). Анализ проводился с использованием холостых проб и эталонных материалов. Пре-

делы обнаружения (ПО, мг/кг): Ag – 0,01; As – 0,1; Be – 0,01; Bi – 0,003; Cd – 0,004; Co – 0,02; Cr – 0,2; Cu – 0,20; Fe – 2,00; Mn – 0,20; Mo – 0,01; Ni – 0,020; Pb – 0,02; Sb – 0,004; Sn – 0,02; Sr – 0,02; Ti – 0,4; V – 0,1; W – 0,01; Zn – 0,20.

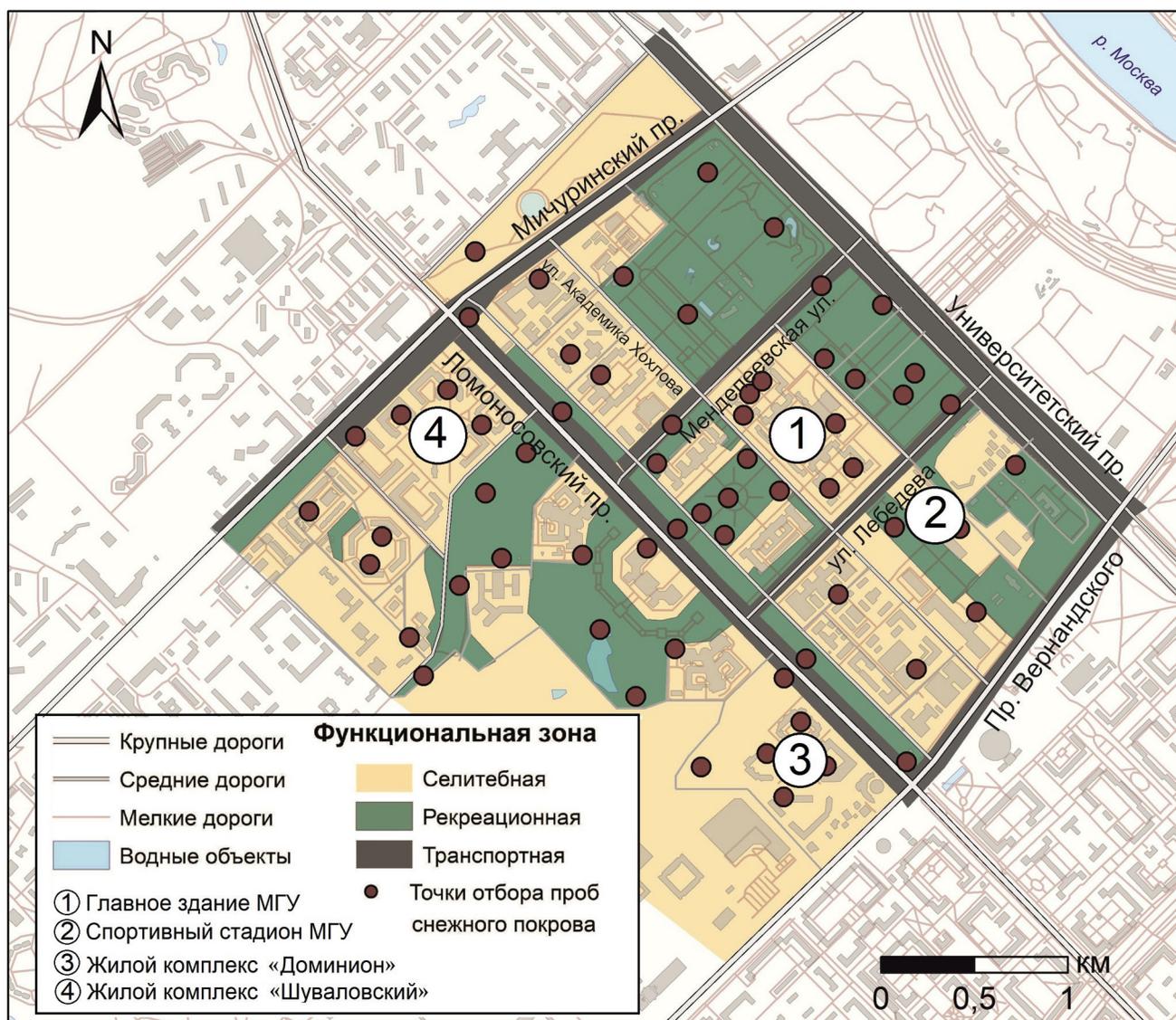


Рис. 1. Функциональное зонирование и точки отбора проб снега на территории МГУ

Fig. 1. Functional zoning and snow sampling points on the territory of Moscow State University

Для детального анализа выбрано 20 элементов: Zn, As, Cd, Pb (I класс опасности), Cr, Ni, Cu, Sb (II класс), V, Mn (III класс), а также Bi, Mo, Co, W, Sr, Be, Ti, Ag, Sn и Fe. Пылевая нагрузка Pn (кг/км² в сут.) в точках отбора проб на фоновой и городской территориях рассчитывалась по формуле:

$$Pn = m / (n \cdot l \cdot 2 \cdot 10^{-9}), \quad (1)$$

где m – масса взвеси на фильтре, кг; n – количество отобранных труб снега в точке; l – количество дней снегостава; $2 \cdot 10^{-9}$ – диаметр трубы, м². Масса каждого поступающего на единицу площади поллю-

танта (мкг/м² в сут.) характеризовалась показателем имиссии

$$D = Pn \cdot C, \quad (2)$$

где C – концентрация элемента (мкг/г) во взвеси. Содержание ММ в твердой фазе снега на фоновой территории C_{ϕ} сравнивали с кларками K верхней части континентальной земной коры [Rudnick, Gao, 2014] путем расчета кларков концентрации

$$KK = C_{\phi} / K \text{ при } C_{\phi} > K \quad (3)$$

или рассеяния элементов

$$KR = K / C_{\phi} \text{ при } C_{\phi} < K. \quad (4)$$

Интенсивность накопления ММ в снежном покрове города оценивали с помощью коэффициента концентрации относительно фоновой территории:

$$K_c = C/C_{\phi} \quad (5)$$

и коэффициента превышения выпадений над фоном:

$$K_d = D/D_{\phi}, \quad (6)$$

где D_{ϕ} – показатель имиссии ММ на фоновой территории. Коэффициент обогащенности взвеси EF рассчитывался относительно среднего состава земной коры:

$$EF = (C/S)_{\text{проба}} / (C/S)_{\text{земн. кора}}, \quad (7)$$

где S_c – концентрация эталонного элемента (скандия) в пробе и в земной коре.

Общую геохимическую нагрузку на ландшафты оценивали двумя суммарными показателями – загрязнение твердой фазы снега Z_c и имиссии элементов Z_d , которые представляют собой сумму K_c и K_d над фоновым уровнем за вычетом $(n - 1)$ соответственно:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1); Z_d = \sum K_d - (n - 1), \quad (8)$$

где n – число химических элементов с K_c или $K_d > 1,0$. Показатели Z_c и Z_d имеют пять градаций: низкое, неопасное загрязнение при $Z_c < 32$ и $Z_d < 1000$; среднее, умеренно опасное с $Z_c = 32-64$ и $Z_d = 1000-2000$; высокое, опасное с $Z_c = 64-128$ и $Z_d = 2000-4000$; очень высокое, очень опасное с $Z_c = 128-256$ и $Z_d = 4000-8000$; максимальное, чрезвычайно опасное с $Z_c > 256$ и $Z_d > 8000$ [Геохимия ландшафтов..., 2016].

Источники ММ в твердой фазе снежного покрова на территории кампуса МГУ определялись на основе абсолютного анализа главных компонент с использованием множественной линейной регрессии (APCA-MLR) в Statistica 8. Это широко используемая и эффективная модель для выявления потенциальных источников загрязнения различных компонентов окружающей среды [Song et al., 2006; Huang et al., 2018; Vlasov et al., 2023].

Анализ главных компонент выполнен методом вращения Varimax. Пригодность данных для PCA проверялась с помощью тестов на сферичность Кайзера–Мейера–Олкина (КМО) и Бартлетта [Yang et al., 2020]. В качестве факторов использовались главные компоненты с собственными значениями >1 (критерий Кайзера). Чтобы избежать отрицательных значений вклада источника, была введена искусственная безразмерная стандартизованная концентрация Z_{0i} с истинно нулевой концентрацией $C_{0i} = 0$ для каждого i -го ММ, равная

$$Z_{0i} = \frac{(0 - \bar{C}_i)}{\sigma_i}, \quad (9)$$

где \bar{C}_i – средняя концентрация i -го элемента, а σ_i – стандартное отклонение i -го элемента.

Исходные главные компоненты каждого i -го ММ оценивались методом PCA, а абсолютные главные

компоненты рассчитывались путем вычитания главных компонент (Factor score) выборки с нулевым значением из выборки с исходными концентрациями ММ. Далее использовалась модель множественной линейной регрессии (MLR) для расчета вклада источника p в концентрацию i -го ММ на всей территории исследования:

$$C_{\text{прог } i} = \delta_{0,i} + \sum_{p=1}^n (APCS_p \cdot \delta_{p,i}), \quad (10)$$

где $C_{\text{прог } i}$ – прогнозируемая на основе APCA-MLR концентрация i -го ММ, $\delta_{0,i}$ – константа регрессии для i -го элемента, $\delta_{p,i}$ – коэффициент множественной регрессии источника p для i -го элемента, $APCS_p$ – абсолютные главные компоненты, рассчитанные на основе анализа APCA. Среднее значение произведения $APCS_p \cdot \delta_{p,i}$ представляет собой общий вклад всех источников.

Неопределенность APCA-MLR (UNC, %) рассчитывалась как [Song et al., 2006]:

$$UNC = \frac{(C_i - C_{\text{прог } i})}{C_i} \cdot 100\%, \quad (11)$$

где C_i – измеренная концентрация ММ.

Пространственная локализация техногенных аномалий элементов в снежном покрове отражена на картах суммарных показателей Z_c и Z_d , а также Pn , построенных в пакете ArcGis 10.1 методом интерполяции сплайн.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Геохимический фон. Фоновая пылевая нагрузка в Можайском районе составила 5 кг/км^2 в сут., что в 2 раза ниже, чем для равнинной континентальной территории умеренных широт (10 кг/км^2), удаленной от урбанизированных зон [Геохимия..., 1990]. Она близка к величинам, полученным в районе г. Звенигорода (8 кг/км^2 в сут.) в 2010 г. [Геохимия ландшафтов..., 2016] и в Можайском районе (9 кг/км^2 в сут.) в 2018 г. [Vlasov et al., 2020].

В фоновой снеговой взвеси концентрируются лишь $\text{Ag}_{5,0}\text{Cd}_{3,6}\text{Cu}_{3,1}$ (нижние индексы – кларки концентрации (КК)). Zn , Bi и Mo имеют околокларковое содержание. Большинство ММ рассеиваются: $\text{Be}^{18}\text{Sr}^{16}\text{V}^{12}\text{Co}^{8,4}\text{Fe}^{8}\text{Ti}^{7,9}\text{Mn}^{7,4}\text{As}^{5,5}\text{Cr}^{4,8}\text{W}^{3,8}\text{Ni}^{3,0}\text{Sb}^{1,5}\text{Sn}^{1,3}$ (верхние индексы – кларки рассеяния (КР)) (табл. 1).

Расчет коэффициентов обогащенности EF показал, что содержащиеся в снеговой взвеси на фоновой территории Mo , Zn , Bi , Cu , Cd , Ag характеризуются значениями $EF = 10-100$. Это указывает на смешанные, природно-антропогенные источники поступления данных ММ из атмосферы при участии регионального переноса с прилегающих территорий. В выбросах промышленных предприятий, как правило, преобла-

дают халькофильные элементы [Геохимия ландшафтов..., 2016], к которым относятся указанные ММ, что также подтверждает их возможное антропогенное происхождение. Подобный уровень выпадений на фоновых территориях был неоднократно отмечен в научной литературе. Так, значения $EF > 10$ имеют Cu, Zn, Cd, Sb, W, Pb, Bi в твердой фазе снега в районе г. Звенигорода [Геохимия ландшафтов..., 2016]; Ag, Cd, Pb, Mo на фоновой территории в районе г. Тобольска [Московченко и др., 2021a].

Пылевая нагрузка. Пылевая нагрузка Pn на территории МГУ колеблется от 3 до 141 кг/км² в сут., составляя в среднем 27 кг/км² в сут., что в 5,4 раза выше, чем фоновые значения (рис. 2). Это соответствует низкой степени загрязнения (< 250 кг/км²

в сут.) [Геохимия ..., 1990]. В условиях городской застройки на аккумуляцию пылевых выпадений существенно влияют планировка улиц, высота и плотность застройки [Kosheleva et al., 2018]. Максимальное значение показателя $Pn = 141$ кг/км² в сут., в 28 раз превышающее фоновое значение, обнаружено на территории стадиона МГУ с натуральным покрытием, где большую часть года открытый незадернованный грунт подвергается ветровой эрозии. При этом высокие трибуны и посаженные по всему периметру стадиона деревья снижают скорость ветра и уменьшают возможность выноса пыли за пределы стадиона. Минимальное значение $Pn = 3$ кг/км² в сут. зафиксировано с наветренной стороны жилого комплекса «Доминион» (Ломоносовский пр., 25, к. 3).

Таблица 1

Кларки верхней части земной коры, средние концентрации ММ и пределы их колебаний (в скобках) в снеговой пыли на территории МГУ и в фоновых условиях

Элемент	Показатели				Элемент	Показатели			
	К	C_{ϕ} , мг/кг	C_p , мг/кг	K_c		К	C_{ϕ} , мг/кг	C_p , мг/кг	K_c
W	2,3	0,53 (0,29–0,70)	5,2 (1,4–12)	9,7	Zn	75	94 (52–171)	350 (130–1806)	3,7
Sb	0,81	0,55 (0,36–0,89)	5,1 (1,5–61)	9,2	Fe	40 600	4918 (1312–13 011)	17672 (7149–43 952)	3,6
Sn	2,5	2,0 (1,4–2,6)	12 (5,4–25)	5,9	Be	2,3	0,13 (0,10–0,17)	0,41 (0,10–1,28)	3,2
Sr	270	17 (3,3–30)	92 (15–1343)	5,5	As	5,6	1,0 (0,86–1,2)	3,1 (0,98–6,6)	3,0
Cd	0,09	0,32 (0,14–0,47)	1,7 (0,27–18)	5,2	Cr	92	19 (15–24)	56 (27–154)	2,9
Bi	0,23	0,39 (0,21–0,61)	2,1 (0,64–14)	5,2	Ni	50	17 (3,9–51)	44 (11–322)	2,7
V	106	8,8 (1,2–13)	42 (12–82)	4,8	Ti	3900	493 (134–853)	1281 (337–3186)	2,6
Pb	17	11 (5,4–16)	49 (15–173)	4,4	Mn	770	104 (38–158)	265 (107–537)	2,5
Cu	27	84 (22–314)	326 (55–3980)	3,9	Mo	1,1	0,99 (0,25–3,3)	2,4 (0,97–4,6)	2,4
Co	15	1,8 (1,0–2,9)	6,8 (1,8–22)	3,8	Ag	0,05	0,26 (0,11–0,45)	0,60 (0,14–3,2)	2,3

При высокой вариабельности внутри функциональных зон средние значения пылевой нагрузки Pn между зонами различаются слабо, что характерно для городской застройки. Ранее это было отмечено для почв Восточного округа Москвы [Kosheleva et al., 2018]. Наибольшая запыленность выявлена в рекреационной зоне (33 кг/км² в сут.), пылевая нагрузка в транспортной и селитебной зонах со-

ставляет 26 кг/км² в сут. Средняя за зимний период величина суточных выпадений твердых частиц из атмосферы на территории кампуса близка к данному показателю в Восточном округе Москвы (27 кг/км²) в марте 2010 г. [Геохимия ландшафтов..., 2016], в 1,4 раза выше, чем во дворах и на парковках, но в 2,3 раза ниже, чем вблизи автомобильных дорог в Западном округе Москвы в 2018 г. [Vlasov et al.,

2020]. Сравнение с другими городами показало превышение величины Pn в 1,8 раза по сравнению с Тольским [Московченко и др., 2021a] и в 1,4 раза по сравнению с Тюменью [Московченко и др., 2021b].

Содержание и выпадение поллютантов. По сравнению с фоновой территорией в снежном покрове на территории МГУ накапливаются все исследуемые элементы (см. табл. 1), что свидетельствует о многократном возрастании поступления в снежный покров антропогенных аэрозолей [Геохимия ландшафтов..., 2016].

Приоритетными поллютантами для территории МГУ являются W, Sb, Sn, Sr, Cd, Bi ($K_c = 5,2-9,7$); несколько ниже накопление у V, Pb, Cu, Co, Zn, Fe, Be, As ($K_c = 3,0-4,8$), минимально – у Cr, Ni, Ti, Mn, Mo, Ag ($K_c = 2,3-2,9$). Эта же ассоциация

ММ присутствует в дорожной пыли и в аэрозолях ЗАО [Kasimov et al., 2024]. Наиболее загрязненным ММ является снежный покров селитебной и транспортной зон (рис. 3), где по сравнению с фоном активно накапливаются Sb, W ($K_c = 7,4-12$), Cd, Bi, Sn и Sr ($K_c = 4,1-7,3$). Основное техногенное воздействие на территорию связано с выбросами автомобильного транспорта: Zn, Sb поступают при износе тормозных колодок [Limbeck, Puls, 2011], W, Zn, Cd – при абразии шин и дорожного покрытия [Limbeck, Puls, 2011; Vlasov et al., 2023], Mo – при износе выхлопных труб. Для Москвы показано, что транспорт поставляет в дорожную пыль Pb, Sb при износе тормозных колодок, Cd, Bi, Sn при абразии частей автомобилей, Zn, W, Cd при истирании шин и дорожного покрытия [Vlasov et al., 2023].

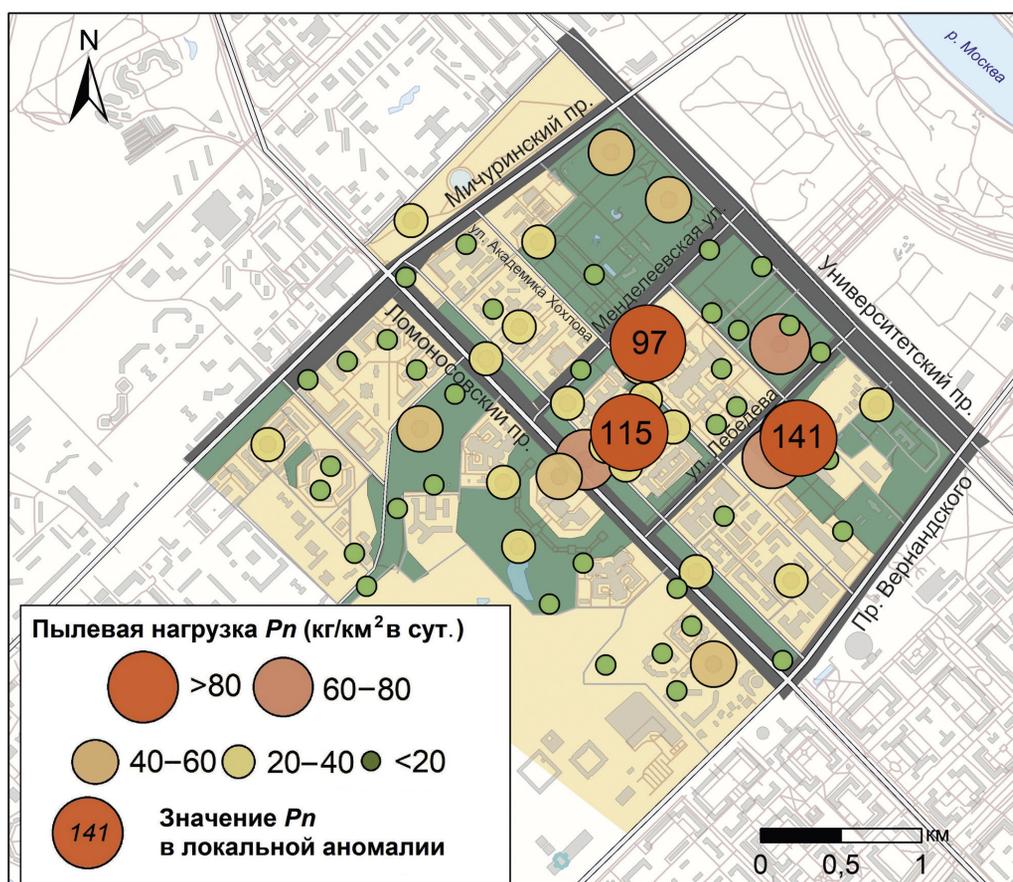


Рис. 2. Пылевая нагрузка Pn на территории МГУ

Fig. 2. Dust load Pn on the territory of Moscow State University

В отдельных точках отбора проб фоновые значения превышены в десятки раз: наибольшее значение для Sb ($K_c = 111$) обнаружено во дворе жилого дома, ограниченного со всех сторон высокими зданиями, образующими так называемые «колодцы-ловушки» [Kosheleva et al., 2018], в жилом комплексе «Доминион» (Ломоносовский пр., 25, к. 3), для Sr₈₁ – на газоне перед входом в здание химического

факультета. В снежном покрове транспортной зоны наибольшее превышение над фоном зафиксировано для Cd₅₆ вблизи жилого комплекса «Шуваловский» (Мичуринский проспект, 7), для Cu₄₇ рядом с автомобильной парковкой у корпуса физического факультета и для Bi₃₅ и W₂₃ на газоне вблизи автодублера Ломоносовского проспекта, рядом с остановкой общественного транспорта на ул. Лебедева.

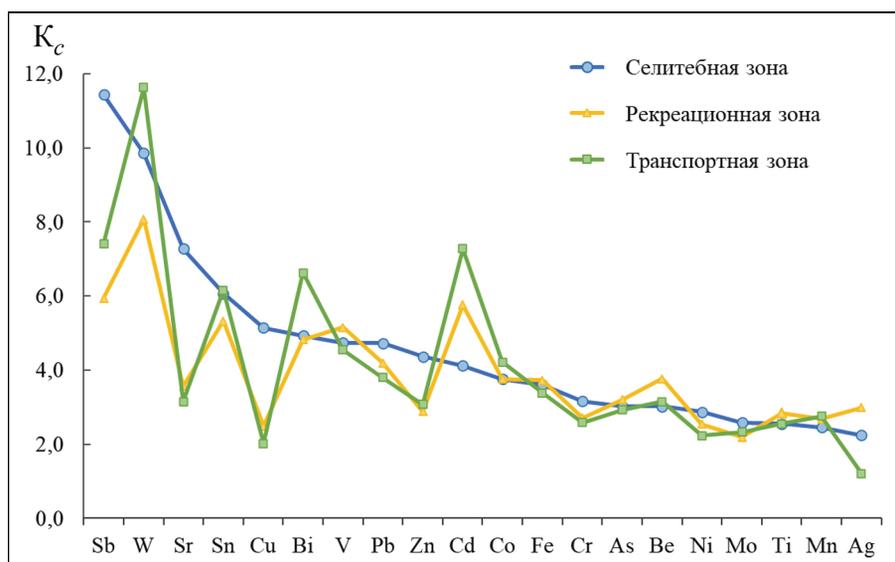


Рис. 3. Геохимические спектры ММ в твердой фазе снежного покрова функциональных зон на территории МГУ

Fig. 3. Geochemical spectra of MM in the solid phase of snow cover of functional zones on the territory of Moscow State University

Формирование техногенных геохимических аномалий в снежном покрове городов тесно связано с пространственным распределением выпадений ММ из атмосферы. Имиссия всех исследуемых поллютантов в снежный покров на территории кампуса превысила фоновые значения в несколько раз, максимальные значения коэффициента выпадений K_d зафиксированы для Sb и W во всех функциональных зонах (табл. 2).

В снеге рекреационной зоны у большинства элементов выявлены самые высокие значения K_d : W_{39} , Be_{33} , V_{29} , Cd_{27} , Sn_{27} , As_{26} , Pb_{24} , Co_{21} , Bi_{21} , Fe_{20} , Ti_{20} , Mn_{18} , Cr_{16} , Ag_{15} , Mo_{11} , Ni_{10} . В селитебной зоне максимальные значения K_d имеют W_{41} , Sb_{40} , Sr_{37} , Cu_{20} , Zn_{17} . Высококонтрастные локальные максимумы выявлены у Sr ($K_d = 404$) на газоне между химическим корпусом и ул. Колмогорова, а также у Cd ($K_d = 311$) в сквере вблизи Шуваловского корпуса МГУ.

При сходстве геохимических спектров ММ рекреационной и транспортной зон (см. рис. 3) очевидно заметное отличие от них селитебной зоны. К его возможным причинам можно отнести беспрепятственное распространение выбросов от автотранспорта в скверы и парки, особенно в зимний период при отсутствии экранирования растительностью, тогда как в селитебной зоне застройка в зависимости от ориентации зданий относительно преобладающих ветров может либо экранировать их распространение, либо создавать «колодцы-ловушки», благоприятные для осаждения загрязненных аэрозолей, что приводит к изменениям в накоплении отдельных элементов по сравнению с другими зонами.

Суммарное загрязнение снежного покрова. Суммарный показатель загрязнения Z_c твердой

фазы снега на территории МГУ изменяется от 16 до 165 и составляет в среднем 68, что соответствует высокому уровню загрязнения и опасной для здоровья человека экологической ситуации. Очень высоким уровнем загрязнения ($Z_c > 128-256$) отличается лишь 5% площади кампуса в селитебной зоне (рис. 4). Высокое загрязнение снега ($Z_c = 64-128$) выявлено на 42% территории, 45% характеризуется средним уровнем загрязнения снега ($Z_c = 32-64$), это преобладающая часть селитебной и транспортной зон. Минимальный уровень загрязнения снега ($Z_c < 32$) выявлен на 8% территории, наибольшая площадь с таким уровнем загрязнения относится к рекреационной зоне. Приоритетными поллютантами на большей части изучаемой территории являются W, Sb, Sn, Sr, Bi, Cd. В транспортной зоне помимо этих элементов велик вклад V со средним $K_c = 4,5$.

Наиболее высокий уровень загрязнения снежного покрова наблюдается в локальных полиэлементных аномалиях. Максимальное значение суммарного показателя $Z_c = 165$ с аккумуляцией $Sr_{80}Cu_{20}W_{11}Sb_{9,6}Bi_{7,9}Sn_{7,4}Cr_{6,3}V_{6,2}$ зафиксировано рядом с корпусом химического факультета. Две другие локальные аномалии с $Z_c = 157-161$ и приоритетными поллютантами $Sb_{111}Cu_{47}Ni_{20}Sn_{12}Zn_{9,5}Bi_{8,9}W_{16}Fe_{9,0}As_{6,5}V_{5,7}$ сформировались во дворах жилых домов высокой этажности, образующих «колодцы-ловушки» – в жилом комплексе «Доминион» (Ломоносовский пр., 25, к. 3) и «Шуваловский» (Мичуринский пр., 5).

Показатель загрязнения твердой фазы снега Z_c зависит только от специализации источников выбросов и не учитывает объем пылевых выпадений, поэтому для оценки реального геохимического

воздействия на снежный покров территории МГУ рассчитан суммарный показатель иммиссии Z_d , показывающий интенсивность потока ММ в единицу времени на единицу площади. Средняя иммиссия

элементов Z_d варьирует от 270 в транспортной зоне до 413 в рекреационной, составляя в среднем 370, что соответствует слабому загрязнению ($Z_d < 1000$) с неопасной экологической ситуацией (см. табл. 2).

Таблица 2

Интенсивность выпадений ММ с пылью в различных функциональных зонах на территории МГУ

Зона	Превышение выпадений ММ над фоном, K_d (в нижних индексах)					Z_d
	>40	30–40	20–30	10–20	4–10	
Селитебная	W ₄₁	Sb ₄₀ Sr ₃₇	Sn ₂₆ Pb ₂₃ V ₂₁	Cu ₂₀ Bi ₁₉ Be ₁₈ Bi ₁₈ As ₁₈ Co ₁₇ Zn ₁₇ Cr ₁₆ Fe ₁₅ Mn ₁₃ Ti ₁₂ Mo ₁₁	Ni ₁₀ Ag _{9,3}	378
Рекреационная		W ₃₉ Be ₃₃	V ₂₉ Sb ₂₇ Sn ₂₇ Cd ₂₇ As ₂₆ Pb ₂₄ Sr ₂₄ Co ₂₁ Bi ₂₁	Ti ₂₀ Fe ₂₀ Mn ₁₈ Cr ₁₆ Ag ₁₅ Zn ₁₄ Mo ₁₁	Ni ₁₀ Cu _{9,1}	413
Транспортная	W ₄₀	–	Sb ₂₃	Sn ₂₀ Bi ₁₉ V ₁₈ Be ₁₈ Cd ₁₈ Co ₁₅ As ₁₅ Pb ₁₄ Fe ₁₂ Sr ₁₂ Mn ₁₁ Ti ₁₁	Cr ₁₀ Zn _{9,5} Mo _{7,8} Ni _{6,7} Ag _{4,4} Cu _{4,2}	270
Среднее по территории	W ₄₀	Sb ₃₄	Sr ₂₈ Sn ₂₅ V ₂₃ Pb ₂₂ Be ₂₃ Pb ₂₂	As ₂₀ Co ₂₀ Bi ₂₀ Co ₁₈ Fe ₁₆ Cr ₁₅ Zn ₁₅ Ti ₁₅ Cu ₁₄ Mo ₁₁	Ag ₁₀ Ni _{9,1}	370

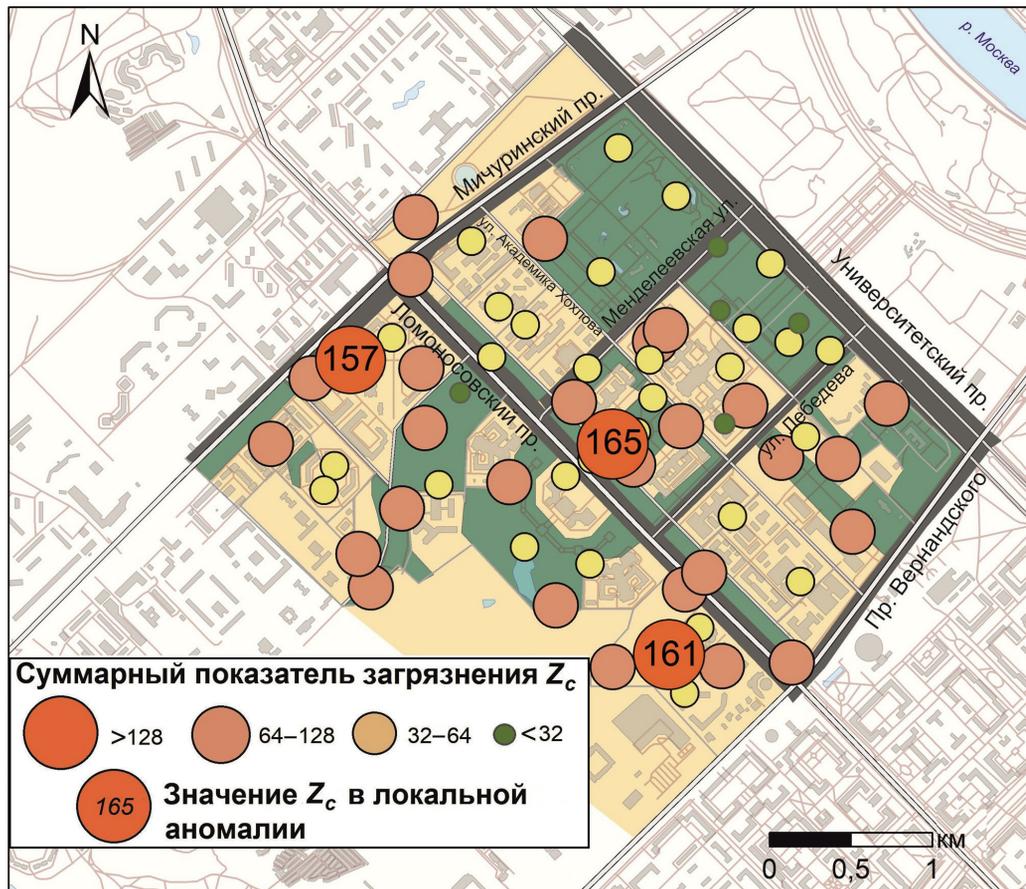


Рис. 4. Суммарное загрязнение твердой фазы снежного покрова Z_c металлами и металлоидами на территории МГУ в районе Раменки

Fig. 4. Total pollution of the solid phase of snow cover Z_c with metals and metalloids on the territory of Moscow State University in the Ramenki area

Максимум показателя $Z_d = 1764$ обнаружен в рекреационной зоне на территории стадиона МГУ (рис. 5). В снежном покрове внутреннего двора сектора В Главного здания МГУ $Z_d = 1528$; вблизи памятника М.В. Ломоносову – $Z_d = 1210$. Данные участки с умеренно опасным уровнем загрязнения отличаются максимальной пылевой нагрузкой $Pn = 97–141$ кг/км² в сут., что в 3,6–5,2 раза превышает среднее для изучаемой территории значение – 27 кг/км² в сут. При этом суммарный показатель загрязнения Z_c варьирует в пределах 44–77, что соответствует среднему уровню загрязнения. Макси-

мальным накоплением в снеге во дворе корпуса В Главного здания МГУ отличается Cu ($K_c = 17$), для W, Pb, V, Be $K_c = 6,0–7,8$, для остальных ММ значения K_c довольно низкие – 1,1–5,9. В точках, где установлены максимальные значения суммарного загрязнения $Z_c = 120–165$ (см. рис. 4), пылевая нагрузка, напротив, низкая ($Pn = 14–40$) и уровень имиссии элементов так же соответствует низкому загрязнению ($Z_d = 417–938$). Следовательно, выпадение ММ на изучаемой территории зависит, в первую очередь, от количества выпадающей пыли (см. рис. 2) и в меньшей степени от ее состава.



Рис. 5. Суммарное выпадение Z_d металлов и металлоидов на территории МГУ

Fig. 5. Total fallout of Z_d metals and metalloids on the territory of Moscow State University

Источники ММ в твердой фазе снежного покрова. С помощью абсолютного анализа главных компонент с использованием множественной линейной регрессии (метод APCs-MLR) определены возможные источники ММ в твердой фазе снежного покрова на территории МГУ. Критерий Кайзера–Мейера–Олкина (0,80) и тест сферичности Бартлетта ($p < 0,001$) показали пригодность набора данных для PCA. В связи с крайне низкими значениями коэффициента детерминации $R^2 < 0,30$ между исходными концентрациями ММ и расчетными данными

из анализа были исключены Ag и Cd. Для остальных ММ R^2 составил $>0,60$ (в большинстве случаев $>0,85$). Неопределенность оценок не превышала $\pm 25\%$ для всех элементов, кроме Cu и Sr (43 и 47% соответственно). Таким образом, полученные результаты позволяют установить хорошее согласие между смоделированными и фактическими значениями и надежность оценок вкладов источников [Yang et al., 2020].

Для твердой фазы снега выявлено три основных фактора, объясняющих в сумме 73% общей

дисперсии (рис. 6). *Первый фактор* PC1, вероятнее всего, характеризует выбросы автомобильного транспорта. На PC1 приходится 39% дисперсии, он связан с накоплением Ni, Mo, Sn, Sb, W, Bi, Pb, Zn, значения факторных нагрузок – 0,71–0,90. Истирание шин может привести к образованию твердых частиц, содержащих значительные количества W и Zn. Цинк содержится в шинах в виде неорганических (ZnS и ZnO) и органических (стеарат Zn) соединений и составляет 0,4–4,3% протекторов шин [Alves et al., 2020]. Истирание металлических деталей (тормозов, дисков, сцепления, подшипников) приводит к поступлению Ni, Sn, Sb, Pb и Zn [Alves et al., 2020]. Сплав Мо наносится на стальные изнашиваемые детали, его источником являются также разливы автомобильного масла, в состав которого в качестве антифрикционной присадки входит MoS₂. Свинец является индикатором выбросов двигателей внутреннего сгорания и содержится в дорожной разметке [Limbeck, Puls, 2011; Huang et al., 2018].

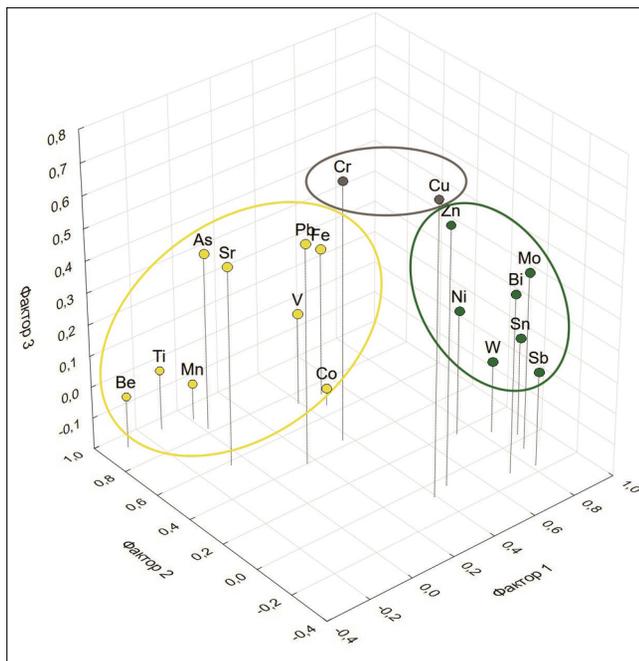


Рис. 6. Факторные нагрузки для концентраций ММ в твердой фазе снежного покрова на территории МГУ

Fig. 6. Factor loadings for MM concentrations in the solid phase of snow cover on the territory of Moscow State University

Второй фактор PC2 объясняет около 27% общей дисперсии и включает Be, V, Mn, Co, Cr, As, Ti, Sr, Fe с высокими факторными нагрузками (0,57–0,94). Эти ММ могут содержаться в частицах почвы, которые переносятся с газонов в бесснежные периоды [Vasić et al., 2012], а так-

же при разбрызгивании автомобилями частиц загрязненного материала, скопившегося на поверхности дороги и состоящего из снега, противогололедных реагентов (ПГР) и грязи от колес автомобилей [Seleznev et al., 2019; Vlasov et al., 2020]. Во многих исследованиях, включая [Jiang et al., 2020; Chen, Lu, 2021], авторы указывают в качестве источника Fe, V, Ni, Cr, Co материнские породы. Результаты корреляционного анализа в [Chen, Lu, 2021] показали, что концентрации Mn, V, As и Co в почвах положительно коррелируют с концентрациями Fe₂O₃ и MgO, которые образуются при почвообразовании в результате выветривания материнских пород. Марганец является характерным элементом, указывающим на вклад почвенных частиц. Ванадий входит также в состав смазочных масел и может присутствовать в выбросах дизельных двигателей [Shafer et al., 2012]. Источниками Sr могут быть ПГР и строительная карбонатная пыль, поскольку этот металл часто содержится в карбонатах Ca и Mg. Таким образом, данный фактор характеризует вклад природно-техногенных источников.

Вклад *третьего фактора* PC3 в общую дисперсию составляет 7%, он объясняет накопление Cu и Sr с наиболее низкими факторными нагрузками 0,50–0,73. Вероятно, этот фактор отражает влияние выбросов промышленных предприятий и авторемонтных мастерских. Вблизи территории МГУ отсутствуют крупные промышленные объекты, поэтому факторные нагрузки Cu и Sr и вклад в общую дисперсию относительно низкие. Поступление данных ММ обусловлено региональным и локальным переносом атмосферных частиц из промышленных зон Москвы и Московской области [Serdyukova et al., 2023].

С помощью модели PCA-MLR был рассчитан вклад выявленных источников в аккумуляцию исследуемых ММ в снежном покрове (рис. 7). Расчеты показали, что выбросы автомобильного транспорта (PC1) являются основным поставщиком Fe (80%), Cr, V, Ni (67,2–56,1%), Pb, Co, Mo (52,8–47,4%), W, Sn, Zn (43,6–38,4%) в снеге на территории МГУ. Вклад природно-техногенных источников (PC2) наиболее значителен у Be (75,3%), Ti (64,8%), Mn, Bi, Sb, Mo (55,9–51,3%), As, Sr (46–39,8%). Выбросы промышленных предприятий вносят наибольший вклад в накопление в снежном покрове Cu, Pb, Co и Cr (32,3–30,1%).

Оценка источников загрязнения в ЗАО для теплого периода получена путем анализа данных о содержании ММ в дорожной пыли [Vlasov et al., 2023]. При расхождении во вкладах отдельных ММ наборы элементов антропогенного и смешанного происхождения оказались довольно близкими.

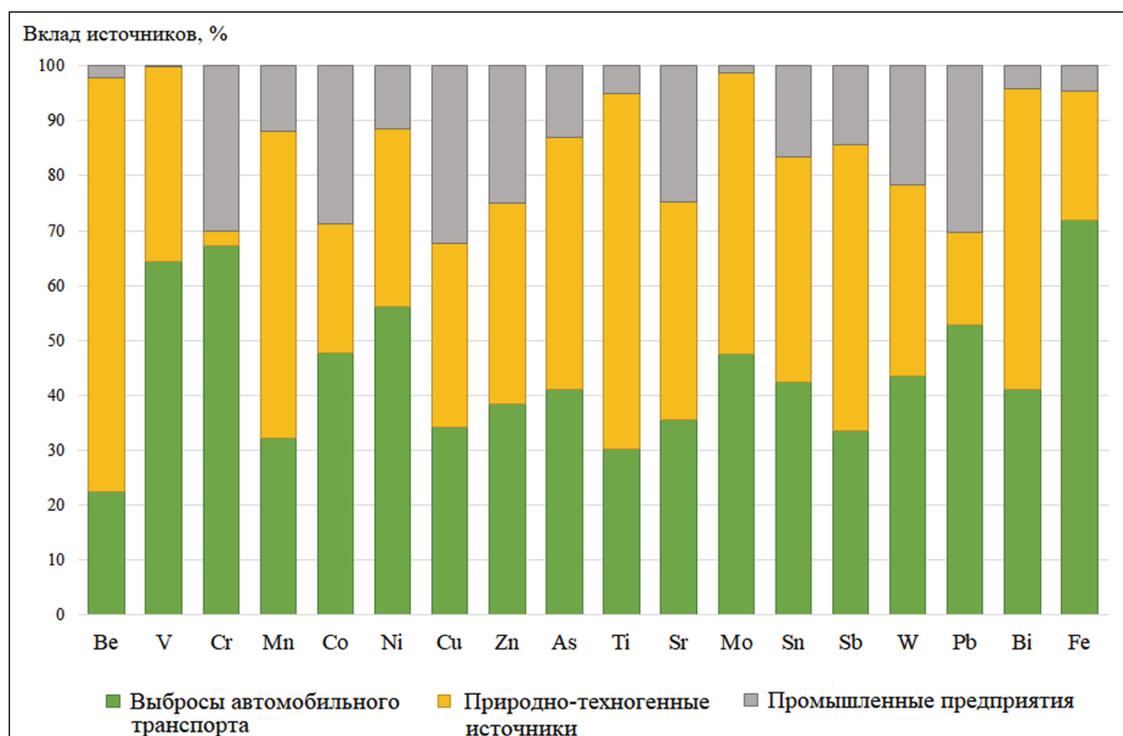


Рис. 7. Вклад источников в накопление ММ в твердой фазе снежного покрова на территории МГУ (по результатам PCA-MLR)

Fig. 7. Contribution of sources to the accumulation of MM in the solid phase of snow cover on the territory of Moscow State University (based on PCA-MLR results)

ВЫВОДЫ

На территории МГУ средняя за зимний период 2021/22 г. пылевая нагрузка составляет 27 кг/км^2 в сут., превышая фоновые значения в 5,4 раза. Максимальное значение (141 кг/км^2 в сут.) обнаружено на стадионе МГУ, минимальное (5 кг/км^2 в сут.) – во дворе жилого комплекса «Доминион». Приоритетными поллютантами являются W, Sb, Sn, Sr, Cd, Bi. Наиболее загрязнен снежный покров селитебной зоны, где зафиксировано более чем 100-кратное превышение фона Sb в закрытом дворе высокоэтажного жилого дома и 81-кратное у Sr на газоне вблизи корпуса химического факультета МГУ.

Выпадения всех изученных поллютантов на территории кампуса превысили фоновые значения в несколько раз, наибольшая иммиссия характерна для Sb и W ($K_d = 34\text{--}40$). В рекреационной зоне выявлены самые высокие значения K_d для большинства элементов, что можно объяснить осаждением ММ, поступающих из транспортной зоны. Для W, Sb, Cu, Sr, Zn и Cd максимальные значения приурочены к селитебной зоне.

Среднее значение суммарного показателя загрязнения твердой фазы снега $Z_c = 68$, что соответствует высокому уровню загрязнения и опасной для здоровья человека экологической ситуации. Почти для половины (45%) изученной территории характерен средний уровень загрязнения ($Z_c = 32\text{--}64$). Суммарная иммиссия элементов Z_d составляет в среднем 370, уменьшаясь от рекреационной зоны ($Z_d = 413$) к транспортной ($Z_d = 270$), что соответствует слабому загрязнению с неопасной экологической ситуацией. Максимум $Z_d = 1764$ со средним уровнем загрязнения установлен в рекреационной зоне на стадионе МГУ. Выявлены три локальных максимума Z_d , связанные с максимальной пылевой нагрузкой P_n . Таким образом, выпадения ММ на территории МГУ обусловлены, в первую очередь, количеством выпадающей пыли и в меньшей степени ее химическим составом.

Основными источниками ММ в пылевой составляющей снега на территории МГУ являются выбросы автомобильного транспорта, природно-техногенные источники (загрязненные почвы, дорожная пыль и стройматериалы) и, в меньшей степени, выбросы промышленных предприятий.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 19-77-30004-П). Авторы благодарны студентам кафедры геохимии ландшафтов и географии почв, принимавшим участие в полевых и лабораторных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М.И. Герасимова и др. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
- Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт и др. М.: Недра, 1990. 335 с.
- Геохимия ландшафтов Восточной Москвы / Н.С. Касимов и др. М.: АПР, 2016. 276 с.
- Макарова Н.В., Григорьева С.В. Геоморфологическое районирование территории Москвы в новых границах // Геоморфология и палеогеография. 2019. № 4. С. 56–68.
- Московченко Д.В., Пожитков Р.Ю., Соромотин А.В. Геохимическая характеристика снежного покрова г. Тобольск // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021а. Т. 332. № 5. С. 156–169.
- Московченко Д.В., Пожитков Р.Ю., Курчатова А.Н., Тимшианов Р.И. Геохимическая характеристика снежного покрова Тюмени // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021б. № 3. С. 13–26.
- Alves C.A., Vicente A.M.P., Calvo A.I. et al. Physical and chemical properties of non-exhaust particles generated from wear between pavements and tyres, *Atmos. Environ*, 2020, vol. 224, p. 24–35, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117252.
- Chen X., Lu X. Contamination characteristics and source apportionment of potentially toxic elements in the topsoil of Huyi District, Xi'an City, China, *Environmental Earth Sciences*, 2021, vol. 80, p. 1–10.
- Huang Y., Deng M., Wu S. et al. A modified receptor model for source apportionment of heavy metal pollution in soil, *J. Hazard. Mater*, 2018, no. 354, p. 161–169.
- Jiang H.H., Cai L.M., Wen H.H. et al. Characterizing pollution and source identification of heavy metals in soils using geochemical baseline and PMF approach, *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, no. 1, p. 6460.
- Kasimov N., Chalov S., Chubarova N. et al. Urban heat and pollution island in the Moscow megacity: Urban environmental compartments and their interactions, *Urban Climate*, 2024, no. 55, p. 101972, DOI: 10.1016/j.uclim.2024.101972.
- Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Korlyakov I.D. et al. Contamination of urban soils with heavy metals in Moscow as affected by building development, *Science of the Total Environment*, 2018, no. 636, p. 854–863, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.308.
- Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles, *Urban Airborne Particulate Matter. Origin, Chemistry, Fate and Health Impacts*, Springer-Verlag Berlin, 2011, p. 63–76.
- Rudnick R., Gao S. Composition of the Continental Crust, *Treatise on Geochemistry*, Elsevier Ltd, 2014, vol. 4, p. 1–64.
- Seleznev A., Yarmoshenko I., Malinovsky G. et al. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment, *Sci. Rep.*, 2019, no. 9, p. 17241.
- Serdyukova A.D., Vlasov D.V., Popovicheva O.B. et al. Elemental composition of atmospheric PM10 during COVID-19 lockdown and recovery periods in Moscow (April–July 2020), *Environmental Geochemistry and Health*, 2023, vol. 45, no. 11, p. 7909–7931.
- Shafer M.M., Toner B.M., Overdier J.T. et al. Chemical speciation of vanadium in particulate matter emitted from diesel vehicles and urban atmospheric aerosols, *Environmental Science & Technology*, 2012, vol. 46, no. 1, p. 189–195, DOI: 10.1021/es200463c.
- Sicard P., Agathokleous E., Anenberg S.C. et al. Trends in urban air pollution over the last two decades: A global perspective, *Science of The Total Environment*, 2023, vol. 858, p. 160064.
- Song Y., Xie S., Zhang Y. et al. Source apportionment of PM2.5 in Beijing using principal component analysis/absolute principal component scores and UNMIX, *Science of the Total Environment*, 2006, vol. 372, no. 1, p. 278–286.
- Varentsov M., Wouters H., Platonov V. et al. Megacity-Induced Mesoclimatic Effects in the Lower Atmosphere: A Modeling Study for Multiple Summers over Moscow, Russia, *Atmosphere*, 2018, no. 9, DOI: 10.3390/atmos9020050.
- Vasić M.V., Mihailovic A., Kozmidis-Luburic U. et al. Metal Contamination of Short-term Snow Cover near Urban Crossroads: Correlation Analysis of Metal Content and Fine Particles Distribution, *Chemosphere*, 2012, no. 86, p. 585–592.
- Vlasov D., Vasil'chuk J., Kosheleva N., Kasimov N. Dissolved and suspended forms of metals and metalloids in snow cover of megacity: Partitioning and deposition rates in western Moscow, *Atmosphere*, 2020, vol. 11, no. 9, p. 907, DOI: 10.3390/atmos11090907.
- Vlasov D.V., Vasil'chuk J.Yu., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. Contamination levels and source apportionment of potentially toxic elements in size-fractionated road dust of Moscow, *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, p. 38099–38120, DOI: 10.1007/s11356-022-24934-1.
- Yang Y., Yang X., He M. et al. Beyond mere pollution source identification: Determination of land covers emitting soil heavy metals by combining PCA/APCS, GeoDetector and GIS analysis, *Catena*, 2020, no. 185, p. 104297.

Электронный ресурс

Гидрометцентр России: итоги февраля и зимы в Москве. URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения 03.05.2023).

Поступила в редакцию 20.05.2024

После доработки 10.06.2024

Принята к публикации 26.06.2024

GEOCHEMISTRY OF SNOW COVER WITHIN THE TERRITORY OF THE LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY

N.E. Kosheleva¹, D.G. Sycheva², N.S. Kasimov³

¹⁻³ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography*

¹ *Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: nataalk@mail.ru*

² *Ph.D. student; e-mail: lmsu@yandex.ru*

³ *Academician, D.Sc. in Geography; e-mail: nskasimov@geogr.msu.ru*

The concentrations of suspended forms of metals and metalloids in snow cover within the territory of the Moscow State University (MSU) and the rate of their deposition were determined for the 2021/22 winter period. The content of Zn, As, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Sb, V, Mn, Bi, Mo, Co, W, Sr, Be, Ti, Ag, Sn and Fe was analyzed. Anthropogenic impact in Moscow caused an increase in solid fallout from the atmosphere to an average of 27 kg/km² per day, which is 5.4 times more than in the background area. W, Sb, Sn, Sr, Cd and Bi accumulate the most intensively in the solid phase of snow cover, their concentrations exceed the background by an average of 5.2–9.7 times. The snow cover of the residential zone is the most contaminated, where Sb, W, Cd, Bi, Sn and Sr accumulate; their content exceeds the background by 4.1–12 times. Medium level of total contamination of the solid phase of snow ($Z_c = 32-64$) was detected over 45% of the studied territory. The maximum intensity of pollutant fallout was recorded in the recreational zone ($Z_d = 413$). The highest levels of dust load (141 kg/km² per day) and the total immission indicator ($Z_d = 1764$) were recorded for the territory of the MSU stadium. Using the APCA-MLR method, three main sources of pollutants were identified, i. e. emissions from motor vehicles govern the influx of Fe, Cr, V, Ni, Pb, Co, Mo, W, Sn, and Zn, natural-technogenic sources determine the accumulation of Be, Ti, Bi, Mn, Sb, Mo, As, and Sr, while industrial emissions provide for Cu, Pb and Cr.

Keywords: metals, metalloids, Moscow, atmospheric deposition

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 19-77-30004-II). The authors would like to thank the students of the department who participated in field and laboratory work.

REFERENCES

- Alves C.A., Vicente A.M.P., Calvo A.I. et al. Physical and chemical properties of non-exhaust particles generated from wear between pavements and tyres, *Atmos. Environ.*, 2020, vol. 224, p. 24–35, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117252.
- Antropogennye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivatsiya* [Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation], M.I. Gerasimova (ed.), Smolensk, Oikumena Publ., 2003, 268 p. (In Russian)
- Chen X., Lu X. Contamination characteristics and source apportionment of potentially toxic elements in the topsoil of Huyi District, Xi'an City, China, *Environmental Earth Sciences*, 2021, vol. 80, p. 1–10.
- Geokhimiya landshaftov Vostochnoi Moskvy* [Geochemistry of landscapes in the Eastern District of Moscow], N.S. Kasimov (ed.), Moscow, APR Publ., 2016. 276 p. (In Russian)
- Geokhimiya okruzhayushchei sredy* [Geochemistry of the environment], Yu.E. Saet (ed.), Moscow, Nedra Publ., 1990. 335 p. (In Russian)
- Huang Y., Deng M., Wu S. et al. A modified receptor model for source apportionment of heavy metal pollution in soil, *J. Hazard. Mater.*, 2018, no. 354, p. 161–169.
- Jiang H.H., Cai L.M., Wen H.H., Luo J. Characterizing pollution and source identification of heavy metals in soils using geochemical baseline and PMF approach, *Scientific Reports*, 2020, vol. 10, no. 1, p. 6460.
- Kasimov N., Chalov S., Chubarova N. et al. Urban heat and pollution island in the Moscow megacity: Urban environmental compartments and their interactions, *Urban Climate*, 2024, no. 55, p. 101972, DOI: 10.1016/j.uclim.2024.101972.
- Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Korlyakov I.D., Kasimov N.S. Contamination of urban soils with heavy metals in Moscow as affected by building development, *Science of the Total Environment*, 2018, no. 636, p. 854–863, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.308.
- Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles, *Urban Airborne Particulate Matter. Origin, Chemistry, Fate and Health Impacts*, Springer-Verlag Berlin, 2011, p. 63–76.
- Makarova N.V., Grigor'eva S.V. Geomorfologicheskoe raionirovanie territorii Moskvy v novykh granitsakh [Geomorphologic zoning of the territory of Moscow within the new boundaries], *Geomorfologiya i paleogeografiya*, 2019, no. 4, p. 56–68. (In Russian)
- Moskovchenko D.V., Pozhitkov R.Yu., Soromotin A.V. Geokhimicheskaya kharakteristika snezhnogo pokrova g. Tobol'sk [Geochemical characteristics of snow cover in the city of Tobolsk], *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2021a, vol. 332, no. 5, p. 156–169. (In Russian)
- Rudnick R., Gao S. Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, Elsevier Ltd, 2014, vol. 4, p. 1–64.
- Seleznev A., Yarmoshenko I., Malinovsky G. et al. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment, *Sci. Rep.*, 2019, no. 9, p. 17241.

- Serdyukova A.D., Vlasov D.V., Popovicheva O.B. et al. Elemental composition of atmospheric PM10 during COVID-19 lockdown and recovery periods in Moscow (April–July 2020), *Environmental Geochemistry and Health*, 2023, vol. 45, no. 11, p. 7909–7931.
- Shafer M.M., Toner B.M., Overdier J.T. et al. Chemical speciation of vanadium in particulate matter emitted from diesel vehicles and urban atmospheric aerosols, *Environmental Science & Technology*, 2012, vol. 46, no. 1, p. 189–195, DOI: 10.1021/es200463c.
- Sicard P., Agathokleous E., Anenberg S.C. et al. Trends in urban air pollution over the last two decades: A global perspective, *Science of the Total Environment*, 2023, vol. 858, p. 160064.
- Song Y., Xie S., Zhang Y. et al. Source apportionment of PM2.5 in Beijing using principal component analysis/absolute principal component scores and UNMIX, *Science of the Total Environment*, 2006, vol. 372, no. 1, p. 278–286.
- Varentsov M., Wouters H., Platonov V., Konstantinov P. Megacity-Induced Mesoclimatic Effects in the Lower Atmosphere: A Modeling Study for Multiple Summers over Moscow, Russia, *Atmosphere*, 2018, no. 9, DOI: 10.3390/atmos9020050.
- Vasić M.V., Mihailovic A., Kozmidis-Luburic U. et al. Metal Contamination of Short-term Snow Cover near Urban Crossroads: Correlation Analysis of Metal Content and Fine Particles Distribution, *Chemosphere*, 2012, no. 86, p. 585–592.
- Vlasov D., Vasil'chuk J., Kosheleva N., Kasimov N. Dissolved and suspended forms of metals and metalloids in snow cover of megacity: Partitioning and deposition rates in western Moscow, *Atmosphere*, 2020, vol. 11, no. 9, p. 907, DOI: 10.3390/atmos11090907.
- Yang Y., Yang X., He M., Christakos G. Beyond mere pollution source identification: Determination of land covers emitting soil heavy metals by combining PCA/APCS, GeoDetector and GIS analysis, *Catena*, 2020, no. 185, p. 104297.

Web sources

Gidromettsentr Rossii [Hydrometeorological Center of Russia], Itogi fevralya i zimy v Moskve [Totals of February and winter in Moscow], URL: <https://meteoinfo.ru/> (access date 03.05.2023).

Received 20.05.2024

Revised 10.06.2024

Accepted 26.06.2024

ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ФУНКЦИЙ ГОРОДСКИХ ЗАКАЗНИКОВ В УСЛОВИЯХ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ

Т.М. Красовская¹, Л.Е. Лукьянов², В.С. Тикунов³

¹⁻³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет

¹Кафедра физической географии мира и геоэкологии, проф., д-р геогр. наук; e-mail: krasovsktex@yandex.ru

²Кафедра физической географии мира и геоэкологии, аспирант; e-mail: lev.lykyanov@yandex.ru

³Кафедра географии мирового хозяйства, проф., д-р геогр. наук; e-mail: vstikunov@yandex.ru

Природные заказники в черте крупных городов выполняют не только природоохранные, но и рекреационные функции. Возрастающая рекреационная нагрузка, сопровождаемая развитием рекреационной инфраструктуры (опоры освещения, беседки, дорожки, указатели, велосстоянки и т. п.), влечет за собой снижение биоразнообразия, механические нарушения растительного покрова и грунтов, различные виды загрязнения от появления бытового мусора до шумового и светового, что приводит к постепенной утрате заказниками природоохранного статуса. Решение этой проблемы лежит не только в институциональной плоскости (нормативное регулирование посещения, регламентация допустимых видов рекреационных занятий и др.), но и связано с поиском компромисса между природоохранными и рекреационными функциями, отказ от которых часто просто невозможен.

Предлагается один из путей решения этой проблемы путем выявления ядерных зон заповедания (микрорезерватов) внутри заказника на основе многофакторного анализа. Опыт выделения таких микрорезерватов приводится на примере природного заказника «Воробьевы горы» (Москва). Методика заключалась в сборе комплекса разнообразных показателей: природных, экологических и планировочных, антропогенных изменений и др., определяющих современный характер природопользования территории. Полученные характеристики сформировали оценочную матрицу, которая подверглась математической обработке по алгоритму В.С. Тикунова (метод построения нечетких классификаций). В итоге вся территория была разделена на семь таксонов ландшафтных группировок, из которых были выбраны потенциальные ядра заповедания с максимальным природным разнообразием и минимальной антропогенной нарушенностью территории.

Общая площадь территорий таких микрорезерватов составила 15% от территории заказника (за вычетом застроенных пространств). Они расположены на участках пологоволнистых равнинных поверхностей и крутых склонов Воробьевых гор, эрозионно-оползневых ложбин и аллювиальных террас. Кроме того, еще не менее 16% территорий могут выполнять такие функции при условии минимальных мероприятий по уменьшению антропогенной нагрузки (снижение интенсивности освещения, шумового загрязнения и т. п.). Микрорезерваты с различными ландшафтными характеристиками будут способствовать сохранению природоохранных функций заказника в условиях высокой рекреационной нагрузки.

Ключевые слова: Воробьевы горы, ландшафтное планирование, микрорезерваты, картографирование

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.2

ВВЕДЕНИЕ

Федеральный закон об ООПТ предусматривает возможность использования территорий, наделенных статусом «природного заказника», не только для природоохранных, но и для рекреационных целей¹. Существование природных заказников, как и других ООПТ в черте больших городов, – нечастое явление. Такие природные территории, входящие в зеленую инфраструктуру городов, предоставляют их жителям большое число экосистемных услуг, начиная от средообразующих (регулирование каче-

ственного состава воздушной среды, фильтрации загрязненного стока, поддержание биоразнообразия) до информационных, включающих рекреационные, эстетические, образовательные и другие услуги [Millenium..., 2005]. Однако расположение природных заказников внутри урбанизированных территорий неизбежно влечет комплексное негативное антропогенное воздействие на их геосистемы, связанное с физическим и химическим загрязнением территории, ее механическими нарушениями и т. п. Подобное воздействие со временем приводит к истощению пулов экосистемных услуг и последующей утрате такими территориями природоохранного статуса [ТЕЕВ, 2011].

¹Федеральный закон от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях».

Природоохранный статус лишь отчасти защищает ООПТ, расположенные в пределах городов, от растущего антропогенного воздействия непосредственно на их территории. Попытки институционального регулирования рекреационного и природоохранного использования территории заказников в условиях отсутствия комплексного подхода, недостаточного финансирования и ряда других причин неэффективны. Это вызывает необходимость поиска компромиссов между природоохранным и различными видами допускаемого законодательством хозяйственного использования их территорий, прежде всего рекреационного, важного для повышения качества жизни горожан.

В Москве за последние три десятилетия создано 10 комплексных природных заказников: «Аннинский», «Воробьевы горы», «Дегунинский», «Долина реки Горетовки», «Долина реки Сетунь», «Долина реки Сходни в Алабушево», «Жулебинский», «Северный», «Склоны реки Москвы в Сабурово», «Троицкий»². Эти заказники отличаются по степени антропогенного воздействия, включая и рекреационную нагрузку. Расположенные внутри густонаселенных территорий города заказники («Воробьевы горы», «Долина реки Сетунь» и др.) являются популярными зонами отдыха горожан, другие же находятся за пределами МКАД («Троицкий», «Долина реки Сходни в Алабушево» и др.), рекреационная нагрузка на них существенно ниже. В настоящем исследовании рассматривается природный заказник «Воробьевы горы», где ярко проявляется конфликт между природоохранным и рекреационным видами природопользования. Поиск возможности сохранения его природоохранных функций в условиях усиления рекреационного использования явилось целью настоящего исследования.

Территория исследования. Природный заказник расположен в 6 км к юго-западу от Кремля и тянется узкой полосой вдоль берега р. Москвы. Протяженность заказника составляет 4 км, площадь – 137,5 га (рис. 1). Воробьевы горы представляют собой крутой обрыв Теплостанской возвышенности с крутизной склонов до 37°, высота их достигает 65–67 м. Территория моделируется оползневыми процессами, что определяет характер рельефа (наличие бугров, гряд, оползневых цирков и т. д.) [Лукашов, 2008]. Границы заказника проходят по р. Москве, ул. Косыгина и Воробьевскому шоссе, связи с другими элементами экологического каркаса города отсутствуют. На дерновых и дерново-подзолистых почвах заказника произрастает более 40 видов древесных пород: дуб черешчатый (*Quercus robur*), липа сердцевидная (*Tilia cordata*), клен остролист-

ный (*Acer platanoides*), береза повислая (*Betula pendula*) и др., среди интродуцентов присутствуют каштан конский (*Aesculus hippocastanum*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), акация белая (*Robinia pseudoacacia*), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*) и др. Часть деревьев была высажена при благоустройстве территории еще в 1950–1960 гг., однако встречаются и старовозрастные деревья, которым более 150–200 лет.

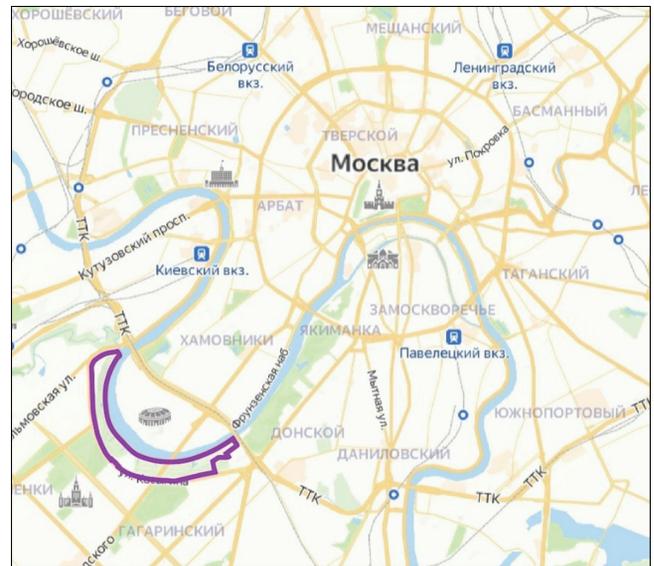


Рис. 1. Расположение природного заказника «Воробьевы горы» в пределах Москвы

Fig. 1. Location of the Vorobyovy Gory Nature Reserve within Moscow

Разнообразие видов орнитофауны велико: более 70 видов птиц, около половины из которых занесено в Красную книгу Москвы: обыкновенная иволга (*Oriolus oriolus*), крапивник (*Troglodytes troglodytes*), лесной конек (*Anthus trivialis*), малый пестрый дятел (*Picoides minor*), обыкновенный дубонос (*Coccothraustes coccothraustes*), обыкновенная пустельга (*Falco tinnunculus*), ястреб-перепелятник (*Accipiter nisus*), ястреб-тетеревятник (*Accipiter gentilis*) серая неясыть (*Strix aluco*), сорокопуд-жулан (*Lanius collurio*), ушастая сова (*Asio otus*), хохлатая чернеть (*Aythya fuligula*) и др. В Красную книгу Москвы занесены также некоторые виды пресмыкающихся, земноводных и млекопитающих: европейский еж (*Erinaceus europaeus*), европейский крот (*Talpa europaea*), ласка (*Mustela nivalis*), обыкновенный уж (*Natrix natrix*), травяная лягушка (*Rana temporaria*), озерная лягушка (*Pelophylax ridibundus*) [Особо охраняемые..., 2013].

В Красную книгу Москвы внесены более 30 видов растений: хохлатка плотная (*Corýdalis sólida*), фиалка душистая (*Viola odoráta*), зверобой во-

² Всего в Москве 29 заказников (по состоянию на 01.03.2024).

лосистый (*Hypéricum hirsútum*), колокольчик раскидистый (*Campánula pátula*), ландыш майский (*Convallária majális*), астрагал датский (*Astragálus dánicus*), горичвет кукушкин (*Silene flos-cúculi*), гусиный лук желтый (*Gágea lítea*), короставник полевой (*Knáutia arvénsis*) и др.

Одним из важнейших свойств ландшафтов Воробьевых гор для развития рекреации является их высокая эстетическая ценность. В результате социологического опроса виды заказника с Воробьевской набережной, экологических троп и Андреевских прудов были названы посетителями парка наиболее эстетически ценными [Лукиянов, Маркова, 2023б]. Рекреационное использование территории заказника связано и с его богатым историко-культурным наследием (Андреевский монастырь, усадьба Дмитриева-Мамонова с оранжереей и приусадебным парком, храм Живоначальной Троицы на Воробьевых горах, памятник А.И. Герцену и Н.П. Огареву и др.) [Таранец, Алексеева, 2022]. В настоящее время во многом именно эстетика природных пейзажей и историческая память об этой территории многих поколений жителей Москвы привлекает в заказник большое число рекреантов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Картографической основой исследования, источником данных о пространственном распространении видов растений и животных, внесенных в Красную книгу Москвы, а также объектов историко-культурного наследия послужила карта природного заказника «Воробьевы горы» из экологического атласа Москвы [Экологический..., 2000]. База данных для исследования собиралась в результате натурных измерений уровня освещенности территории заказника в октябре–ноябре 2021 г. в ночное время, измерений уровня шумового загрязнения [ГОСТ 23337-2014, 2014], фиксации проявления механических нарушений почв и грунтов, проявлений визуального загрязнения территории, оценок эстетики пейзажей и др., используемых в современных ландшафтно-геоэкологических исследованиях, методика которых изложена в публикациях [Красовская, Лукьянов, 2023; Лукьянов, Маркова, 2023а, 2023б; Эрингас, 1975]. Пространственный анализ проводился на основании ландшафтной карты Воробьевых гор (масштаб 1 : 10 000), актуализированной нами по рукописной карте К.А. Виноградовой, составленной в 2007 г. Использовались картографические и социологические методы исследования, а также системный анализ. Для ранжирования территории с целью выделения участков с сохранившимися природными ландшафтами по степени их измененности был использован метод построения нечетких классификаций, разработанный В.С. Тикуновым [Тикунов, 1997].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

История возникновения конфликта природоохранного и рекреационного использования. Природоохранные функции заказника оказались под угрозой в 2013 г., когда постановлением Правительства Москвы его территория была передана в безвозмездное пользование ЦПКиО «Парк Горького», что радикально изменило характер его хозяйственного освоения. 38% площади заказника в настоящее время занято сторонними землепользователями, в числе которых Андреевский монастырь, резиденции ФСО, институты РАН и построенный заново спортивный комплекс «Воробьевы горы» (рис. 2).

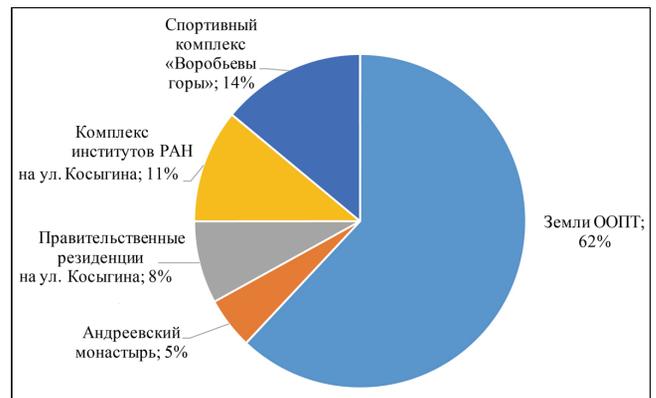


Рис. 2. Структура землепользования на Воробьевых горах

Fig. 2. Land use structure of the Vorobyovy Gory area

Строительство последнего сопровождалось множественными механическими нарушениями почв и грунтов, активизирующими оползневую деятельность, вырубкой растительного покрова, снижением биоразнообразия, разрушением объектов природного и историко-культурного наследия местного значения. Обострилась проблема светового и шумового загрязнения – уровень шума достиг 60–65 дБ (фоновое значение 42–44 дБ), уровень освещенности в кронах деревьев – 8–12 тыс. лк (фоновое значение 0,2–0,9 лк) [Лукиянов, Маркова, 2023а]. Также продолжается замусоривание территории, повсеместное возникновение стихийных троп, нарушающих целостность наземного растительного покрова, усиливается фрагментация ландшафтов заказника, многими постройками нарушается эстетическая привлекательность ландшафтов. Несмотря на природоохранный статус территории, количество посетителей не контролируется и продолжает расти (в 2009 г. оно составило 2 млн чел., новый спортивный комплекс рассчитан на 6 тыс. посещений в день). С окончанием благоустройства нарушенных строительством участков и спортив-

ных объектов численность посетителей, вероятно, возрастет многократно.

Возможности достижения компромиссного решения использования территории заказника.

Сложившаяся ситуация свидетельствует о необходимости поиска компромисса между природоохранным и рекреационным использованием территории, т. к. последнее не только востребовано горожанами, но и приносит существенный доход в городской бюджет. Этот компромисс связан с осуществлением двух важных мероприятий: 1) разработки регламентов использования территории для упорядочения размещения технических сооружений (мачт освещения, рекламы и т. п.), нормирование режима освещения и шумовой нагрузки, размещение информации о природоохранном статусе ООПТ на территории спортивного комплекса; 2) выделения участков заповедания, максимально исключающих все виды антропогенной нагрузки на геосистемы для обеспечения нормальных условий формирования пулов экосистемных услуг заказника.

Осуществление первого требует организационных усилий руководства ЦПКиО имени М. Горького на основании уже имеющихся материалов ландшафтно-геоэкологического обследования территории для выявления ее экологических проблем, связанных с развитием рекреации. Заметим, что в разработке регламентов необходимо участие профильных департаментов правительства Москвы, научных и общественных организаций. Однако даже успешное осуществление перечисленных мероприятий по регламентации использования территории не является залогом для сохранения пулов экосистемных функций заказника, обеспечивающих его природоохранный статус. Для этого необходимо выделить на его территории микрорезерваты для абсолютного заповедания, т. е. максимально исключающие локальное антропогенное воздействие.

Микрорезерваты как ядра экологической реабилитации экосистемных функций территорий ООПТ. С последней трети XX в. все возрастающее внимание ученых-природоведов и планировщиков привлекают разработки экологического каркаса. Успешные наработки имеются как для регионального (например, Арктика, центр Русской равнины и др.), так и для локального уровней (например, Задонский район Липецкой обл., Москва и др.). Общие теоретические положения таких разработок практически едины, однако особенности создания экологического каркаса имеют большую региональную специфику, зависящую не только от природных условий, но и от наличия достаточных площадей конкретной территории для формирования его структуры. Для лесных, лесостепных районов площадь экологического каркаса определяется в 30–40% [Гу-

сев, 2003; Кавалюкас, 1985; Михно, Кучин, 2005; Реймерс, Штильмарк, 1978; Сорокин и др., 2001; Тишков, 1985; Хорошев, 2021; Bennet, Kalemami, 2006; Hilty et al., 2020]. Особые трудности при этом возникают для плотно освоенных территорий, ограниченных в пространствах для формирования экологического каркаса. Для муниципального уровня решение этой проблемы имеет особое значение, о чем свидетельствуют многочисленные работы, посвященные зеленой инфраструктуре городов. Несмотря на это, комплексного подхода к обоснованию рекомендуемых управленческих решений для сохранения отдельных элементов экологического каркаса практически нет.

Для решения этой проблемы многие исследователи признают необходимость создания микрорезерватов, которые могут поддерживать выполнение определенных экосистемных функций, присущих элементам экологического каркаса, формируемого системой ООПТ. Д.В. Черных (2008) отмечает, что локальные системы ООПТ могут создаваться не только для осуществления привычных функций ООПТ, но и для решения конкретных задач на определенных временных отрезках. Условием для этого является функциональная целостность системы микрорезервата, представленная в его ядерной зоне [Михно, Кучин, 2005; Черных, 2008; Клауснитцер, 1990]. При этом организация микрорезерватов может быть направлена как на решение сохранения редких и исчезающих видов, так и на сохранение типичной для территории ландшафтной системы в целом, обеспечивая возможность ее восстановления и функционирования в условиях высокой антропогенной нагрузки на территорию. Наиболее близко к понятию микрорезерватов в современном перечне ООПТ стоят памятники природы, занимающие незначительные площади. Внутри микрорезерватов могут охраняться типичные ландшафтные урочища, биоразнообразия, элементы наследия. Перспективными участками являются верхние звенья ландшафтных катен [Дьяконов, Дончева, 2002]. У микрорезерватов могут отсутствовать буферные зоны с ограниченными хозяйственными нагрузками, однако их ядра являются территориями абсолютного режима заповедания. Выделение микрорезерватов проводится на ландшафтной основе, а оптимальными масштабами картографирования по нашим наблюдениям и опыту других исследователей являются масштабы 1 : 10 000–1 : 25 000 [Михно, Кучин, 2005; Черных, 2008].

Для городских ООПТ создание микрорезерватов может обеспечивать функциональную реабилитацию экологического каркаса и предотвращение его дальнейшего разрушения.

Выделение зон микрорезерватов на территории природного заказника «Воробьевы горы».

Выявление ядерных зон заповедания – микрорезерватов на территории ООПТ – предполагает ее ранжирование для определения участков с максимально сохранившимися природными ландшафтами, с наличием элементов наследия и пр. Для этих целей в нашей работе мы воспользовались методом построения нечетких классификаций, позволяющим провести совокупную оценку разнородных показателей: качественных и количественных, объективных и оценочных [Тикунов, 1997]. Использование этой методики позволило выявить и ранжировать перспективность тех или иных участков природного заказника для целей организации микрорезерватов.

Для проведения ранжирования было выбрано 10 разнообразных количественных и качествен-

ных характеристик территории, представленных в табл. 1. Для составления матрицы оценочных характеристик территория заказника была условно разбита на 407 квадратов со стороной 50 м. Выбранный размер квадрата соотносится с масштабом использованной для сбора информации ландшафтной карты территории (масштаб 1 : 10 000) и детализацией оценочных характеристик, собранных в результате полевого обследования территории. Ряд показателей (объекты культурного наследия, объекты визуального загрязнения) имеют точечную привязку на карте, однако «характеризуют» квадрат, куда входит эта точка в целом. Территории сторонних землепользователей в состав сетки не вошли ввиду невозможности установления в них режима абсолютного заповедания. Таким образом, была составлена оценочная матрица (табл. 2).

Таблица 1

Характеристики территории природного заказника «Воробьевы горы», использованные при выявлении участков для организации микрорезерватов

Номер характеристики	Тип характеристики	Характеристика территории	Выражение
1	Природно-культурные	Наличие видов животных и растений, внесенных в Красную книгу Москвы	В абсолютных значениях
2		Наличие объектов историко-культурного наследия	В абсолютных значениях
3		Типичность встречаемости ландшафтного урочища	% от общей площади заказника
4	Экологические	Уровень освещенности	В абсолютных значениях (люксы)
5		Уровень шума	В абсолютных значениях (децибелы)
6		Наличие механических антропогенных изменений ¹	% от площади обследованного участка
7	Организационно-структурные	Наличие объектов визуального загрязнения ²	%, занимаемый в пейзаже участка
8		Наличие объектов инфраструктуры ³	Оценочно: от 0 баллов (много) до 3 баллов (мало)
9		Ограниченная доступность посещения ⁴	% от площади обследованного участка
10		Посещаемость	% от общего числа посетителей (оценочно)

Примечания. ¹ Под механическими антропогенными изменениями подразумеваются признаки рекреационной дигрессии: стийные тропы, замусоренность, почвенная эрозия и т. д.

² Под объектами визуального загрязнения подразумеваются гирлянды ламп на деревьях, опоры ландшафтного освещения, информационные стенды, натянутые между опорами провода, заборы и т. д. [Красовская, Лукьянов, 2023].

³ Под объектами инфраструктуры подразумеваются дороги с различными видами покрытия, опоры уличного освещения, спортивные и детские площадки, скамейки, мусорные урны и т. д.

⁴ Под ограниченной доступностью посещения подразумеваются участки с крутизной склонов более 15°, наличие заболоченных участков, наличие бурелома и кустарниковых зарослей без признаков рубки ухода и т. д.

**Фрагмент оценочной матрицы с характеристиками для последующего использования
в математическом моделировании**

Номер квадрата	Природно-культурные			Экологические			Организационно-структурные			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	2,52	7	81	5	0	0	0	5
35	2	0	6,31	2,5	46	5	30	3	20	5
97	0	1	6,92	2,7	46	15	20	2	40	15
128	1	0	1,9	38	46	15	20	1	60	15
250	0	1	14,94	10,6	60	25	15	0	50	50
279	0	0	5,3	2,3	80	30	30	0	0	50
335	0	0	5,3	0,1	55	0	0	3	100	30
396	1	0	14,94	0,2	55	10	0	1	50	30

Примечание. Нумерация столбцов (1–10) соответствует названиям характеристик из табл. 1.

Обработка матрицы состояла в нормировании исходных показателей по дисперсиям и проведения процедуры многовариантной типологии на основе критерия минимизации внутригрупповых различий. В результате был выбран вариант пространственной группировки оценочных характеристик, состоящий из семи групп. Эти группы образованы совокупностью наилучших (для решения поставленной задачи) оценочных характеристик показателей квадратов. В рамках этой пространственной группировки из семи таксонов сформировалось ядро размытой классификации – 54 квадрата с характеристиками, соответствующими ядрам заповедания: фоновое значение освещенности, минимальные антропогенные нарушения, наличие видов растений и животных, внесенных в Красную книгу Москвы, и т. д. Оставшиеся квадраты рассматривались нами как «бахрома», состоящая из двух уровней плотности в нечеткой части массива.

Помимо выделения ядер заповедания, использованный метод позволил выявить участки, потенциально пригодные для организации микрорезерватов. Для этого возможно улучшение показателей одной-двух характеристик. Так, например, территории к югу от резиденций ФСО, примыкающие к ул. Косыгина, обладают практически всеми характеристиками ядра, за исключением повышенного уровня шумового загрязнения и устранения мусорных куч. Эти проблемы могли бы быть решены путем установки вдоль автомагистрали шумозащитных экранов. Территории к востоку от резиденций ФСО также обладают всеми характеристиками ядра, за исключением высокого уровня светового загрязнения – эта проблема могла бы быть решена путем отказа от освещения этой территории. Подобные территории в настоящее время могут выполнять

определенные буферные функции при введении некоторых ограничений для их посещения.

Итогом проведенного исследования явилось составление карты участков территории природного заказника для организации микрорезерватов (рис. 3). Такие участки включают девять типов ландшафтных урочищ (из 28 представленных на территории природного заказника), в числе которых:

- пологоволнистые равнинные участки под кленово-липово-дубовыми разнотравными лесами и искусственными насаждениями на дерново-подзолистых почвах;
- крутые склоны (25–40°) под кленово-вязово-липовыми разнотравными малонарушенными лесами на дерновых, местами смытых почвах;
- эрозионно-оползневые ложбины под дубово-вязово-липовыми разнотравными малонарушенными лесами на дерновых оглеенных почвах;
- деформируемые оползневыми процессами аллювиальные террасы под кленово-липовыми разнотравными малонарушенными лесами на дерновых глееватых почвах.

Таким образом, ландшафтное разнообразие потенциальных микрорезерватов создает благоприятные условия для сохранения и реабилитации пулов экосистемных услуг заказника.

ВЫВОДЫ

Наши исследования в природном заказнике «Воробьевы горы» позволили выявить наличие конфликта между природоохранным и рекреационным видами природопользования, который грозит утрате заказником природоохранного статуса. Этот конфликт проявляется в высоком уровне светового загрязнения, связанного с избыточным освещением, механическими нарушениями растительного покрова

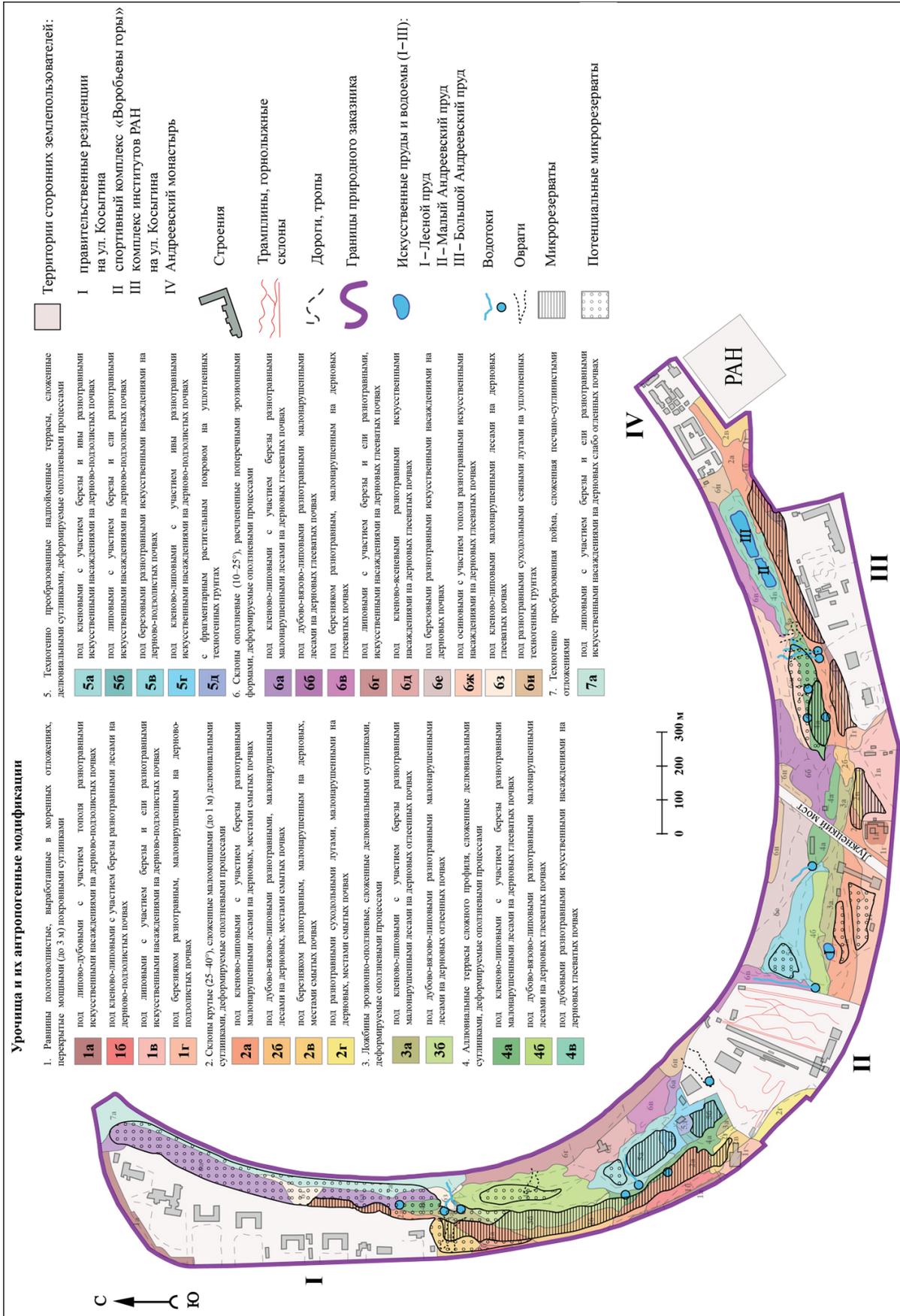


Рис. 3. Микрорезерваты на территории природного заказника «Воробьевы горы»
 Fig. 3. Micro-reserves within the Voroobyevy Gory Nature Reserve

и почв, связанных с сооружением рекреационных объектов и высокой рекреационной нагрузкой, утратой эстетически ценных ландшафтов, снижающей рекреационный потенциал территории, и т. д.

Возможности сохранения его природоохранных функций в условиях усиления рекреационного использования связаны с регламентацией использования территории путем создания микрорезерватов – «очагов» сохранения биоразнообразия и частичного восстановления пулов экосистемных функций. Оценочно общая площадь территорий, предлагаемых для создания микрорезерватов, составляет 15,1% от общей (за вычетом застроенных пространств). Кроме того, удалось выделить потенциально пригодные участки, которые могут выполнять функции микро-

резерватов при условии их незначительного преобразования (уборка мусора, перенос пешеходных дорожек, опор освещения и т. д.) – их площадь равна 16,8% территории заказника. Таким образом, совокупная площадь микрорезерватов может составить почти треть площади заказника с сохранившимися ландшафтами, что соответствует существующим рекомендациям для экологического каркаса.

Особенностью такого экологического каркаса является то, что он создается на территории ООПТ в условиях высокой рекреационной нагрузки. Микрорезерваты не снизят рекреационную привлекательность территории заказника, однако упорядочат рекреационную нагрузку для сохранения его природоохранного статуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 23337-2014 «Шум. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий». М., 2014.
- Гусев А.В. Принципы организации районных сетей особо охраняемых природных территорий (РСООПТ) // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. 2003. № 2. С. 92–99.
- Дьяконов К.Н., Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза. М.: Аспект Пресс, 2002. 384 с.
- Кавалюкас П. Системное проектирование сети особо охраняемых территорий // Геоэкологические подходы к проектированию природно-технических систем. М.: ИГ АН СССР, 1985. С. 145–153.
- Клауснитцер Б. Экология городской фауны. М.: Мир, 1990. 246 с.
- Красовская Т.М., Лукьянов Л.Е. Эстетические инновации в парковых зонах городов: pro et contra // Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения: материалы XIV Международной ландшафтной конференции. Воронеж, 2023. Т. 2. С. 144–146.
- Лукашов А.А. Геолого-геоморфологическое строение и морфодинамика Воробьевых гор (г. Москва) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2008. № 5. С. 68–73.
- Лукьянов Л.Е., Маркова О.И. Картографирование антропогенных нарушений на территории природного заказника «Воробьевы горы» (г. Москва) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Географический факультет МГУ. 2023а. Т. 29. Ч. 2. С. 503–517.
- Лукьянов Л.Е., Маркова О.И. Объекты природного и культурного наследия и эстетически ценные пейзажи на территории природного заказника Воробьевы горы в атласной информационной системе // ИнтерКарто. ИнтерГИС. М.: Географический факультет МГУ. 2023б. Т. 29. № 2. С. 518–535.
- Михно В.Б., Кучин А.В. К вопросу создания ландшафтно-экологического каркаса Задонского района Липецкой области // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. 2005. № 2. С. 19–28.
- Особо охраняемые природные территории Москвы: справочник-путеводитель (по заказу Департамента природопользования и охраны окружающей среды города Москвы). М.: Ториус77, 2013. 178 с.
- Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 298 с.
- Сорокин А.С., Тюсов А.В., Пушай Е.С. и др. Формирование экологической сети как основа сохранения ландшафтного и биологического разнообразия Тверской области // Географические основы формирования экологических сетей в России и Восточной Европе (Тверь, 1–28 февраля 2011 г.). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. Ч. 1. С. 253–256.
- Таранец И.П., Алексеева В.А. Охрана природы на Воробьевых горах: прошлое и настоящее // Жизнь Земли. 2022. № 3. Т. 44. С. 319–333.
- Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). М.; Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.
- Тишков А.А. Охраняемые природные территории и формирование каркаса устойчивости // Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование. Невель: ИГ РАН, 1996. С. 94–107.
- Хорошев А.В. Мировой опыт применения ландшафтно-экологического, ландшафтно-социального и ландшафтно-эстетического подходов к планированию устойчивого лесопользования // Устойчивое лесопользование. 2021. № 1(65). С. 21–29.
- Черных Д.В. Локальные системы особо охраняемых природных территорий: реалии и перспективы. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 88 с.
- Экологический атлас Москвы. М.: АБФ, 2000. 96 с.
- Эрингас К.И. Экология и эстетика ландшафта: монографический сборник к двенадцатому международному ботаническому конгрессу. АН ЛитССР. Вильнюс: Минтис, 1975. 251 с.
- Bennett G., Kalemani J.M. Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series, 2006, no. 23(100), p. 97.
- Hilty J., Worboys G., Keeley A. Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors, Best Practice Protected Area Guidelines, IUCN, Series 30, Gland, Switzerland, 2020, 140 p.

- Millennium Ecosystem Assessment, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, DC, 2005, 100 p.
- Электронный ресурс*
ТЭЕВ – The Economics of Ecosystems and Biodiversity. ТЭЕВ Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management, 2011, URL: www.teebweb.org (дата обращения 21.02.2024).

Поступила в редакцию 18.04.2024

После доработки 15.05.2024

Принята к публикации 26.06.2024

MAINTAINING THE NATURE PROTECTION FUNCTIONS OF URBAN NATURE RESERVES UNDER THE RECREATIONAL LOAD

T.M. Krasovskaya¹, L.E. Lukianov², V.S. Tikunov³

¹⁻³ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography*

¹ *Department of World Physical Geography and Geoecology, Professor, D. Sc. in Geography; e-mail: krasovskt@yandex.ru*

² *Department of World Physical Geography and Geoecology, Postgraduate student; e-mail: lev.lykianov@yandex.ru*

³ *Department of World Economy, Professor, D. Sc. in Geography; e-mail: vstikunov@yandex.ru*

Nature reserves in large cities perform both nature conservation and recreational functions. The growing recreational load, accompanied by the development of recreational infrastructure (lighting poles, gazebos, paths, signs, bike stands, etc.), leads to biodiversity loss, mechanical disturbances of vegetation and soils, and various types of pollution (from garbage to noise and light pollution). It causes the gradual loss of the nature conservation status. The problem could be solved by both institutional measures (regulation of visits, permissible types of recreational activities, etc.), and searching a compromise between nature conservation and recreation, the latter could not often be avoided.

A possible way of the problem's solution, i.e. identification of core nature protection zones, or micro-reserves, within the nature reserve territory using the multifactor analysis, is suggested. An attempt of allocating such micro-reserves was performed for the Vorobyovy Gory Nature Reserve in Moscow. The methodology includes collecting of a set of various indicators characterizing natural, environmental and planning features, anthropogenic and other changes which determine the current land use of the territory. The obtained characteristics formed an evaluation matrix, which was mathematically processed according to V.S. Tikunov's algorithm (fuzzy classification method). As a result, the entire territory was divided into 7 clusters of landscape groupings, and potential cores of nature protection with maximum natural diversity and minimal anthropogenic disturbance of the territory were selected.

The total area of these micro-reserves amounted to 15% of the nature reserve territory (excluding built-up places). They occupy fragments of undulating flat plains, steep slopes, erosion-landslide hollows and alluvial terraces. In addition, at least 16% of other territories may perform the same functions, if minimal measures are taken to reduce the anthropogenic load (minimizing lighting intensity, noise pollution, etc.). Micro-reserves with various landscape characteristics will contribute to preservation of the nature reserve's conservation functions under the high recreational load.

Keywords: Vorobyovy Gory, landscape planning, micro-reserves, mapping

REFERENCES

- Bennett G., Kalemari J.M. Review of experience with ecological networks, corridors and buffer zones, *Secretariat of the Convention on Biological Diversity*, Montreal, Technical Series, 2006, no. 23(100), p. 97.
- Chernykh D.V. *Lokal'nye sistemy osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii: realii i perspektivy* [Local systems of specially protected natural territories: realities and prospects], Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2008, p. 88. (In Russian)
- D'yakov K.N., Doncheva A.V. *Ekologicheskoe proektirovanie i ekspertiza* [Ecological design and expertise], Moscow, Aspekt Press Publ., 2002, p. 384. (In Russian)
- Ekologicheskii atlas Moskvy* [Ecological Atlas of Moscow], Moscow, ABF Publ., 2000, p. 96. (In Russian)
- Eringas K.I. *Ekologiya i estetika landshafta: monograficheskii sbornik, k dvenadtsatomu mezhdunarodnomu botanicheskomu kongressu AN LithSSR* [Ecology and Aesthetics of the landscape: a monographic collection, for the Twelfth International Botanical Congress of the Academy of Sciences of the Lithuanian SSR], Vilnius, Mintis Publ., 1975, p. 251. (In Russian)
- Gusev A.V. *Printsipy organizatsii raionnykh setei osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii (RSOOPT)* [Principles of the organization of regional networks of specially pro-

- tected natural territories], *Vestnik Voronezh. gos. un-ta, Ser. Geografiya i geoekologiya*, 2003, no. 2, p. 92–99. (In Russian)
- Hilty J., Worboys G., Keeley A. Guidelines for conserving connectivity through ecological networks and corridors, *Best Practice Protected Area Guidelines*, IUCN, Series 30, Gland, Switzerland, 2020, p. 140.
- Kavalyauskas P. [System design of a network of specially protected areas], *Geoekologicheskie podkhody k proektirovaniyu prirodno-tekhnicheskikh system* [Geoecological approach to designing of natural-technical systems], Moscow, IG AN SSSR Publ., 1985, p. 145–153. (In Russian)
- Khoroshev A.V. Mirovoi opyt primeneniya landshaftno-ekologicheskogo, landshaftno-sotsial'nogo i landshaftno-ehsteticheskogo podkhodov k planirovaniyu ustoiчивого lesopol'zovaniya [International experience in the application of landscape-ecological, landscape-social and landscape-aesthetic approaches to planning sustainable forest management], *Ustoichivoe lesopol'zovanie*, 2021, no. 1(65), p. 21–29. (In Russian)
- Klausnitzer B. *Ekologiya gorodskoi fauny* [Ecology of urban fauna], Moscow, Mir Publ., 1990, p. 246. (In Russian)
- Krasovskaya T.M., Luk'yanov L.E. [Aesthetic innovations in urban parks: *pro et contra*], *Teoreticheskie i prikladnye problemy landshaftnoi geografii* [Theoretic and practical issues of landscape geography], VII Mil'kovskie chteniya, materialy XIV Mezhdunarodnoi landshaftnoi konferentsii, Voronezh, 2023, vol. 2, p. 144–146. (In Russian)
- Lukashov A.A. Geologo-geomorfologicheskoe stroenie i morfodinamika Vorob'evykh gor (g. Moskva) [Geological and geomorphological structure and morphodynamics of Vorobyovy Gory (Moscow)], *Lomonosov Geography Journal (Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.)*, 2008, no. 5, p. 68–73. (In Russian)
- Luk'yanov L.E., Markova O.I. Kartografirovaniye antropogennykh narushenii na territorii prirodnogo zakaznika "Vorob'evy gory" (g. Moskva) [Mapping of anthropogenic disturbances within the territory of the Vorobyovy Gory Nature Reserve (Moscow)], *InterCarto. InterGIS*, Moscow State University's Faculty of Geography Publ., 2023, vol. 29, ch. 2, p. 503–517. (In Russian)
- Luk'yanov L.E., Markova O.I. Ob'ekty prirodnogo i kul'turnogo naslediya i esteticheski tsennyye peizazhi na territorii prirodnogo zakaznika Vorob'evy gory v atlasnoi informatsionnoi sisteme [Objects of natural and cultural heritage and aesthetically valuable landscapes within the territory of the Vorobyovy Gory Nature Reserve in the Atlas information system], *InterCarto. InterGIS*, Moscow State University's Faculty of Geography Publ., 2023, vol. 29, no. 2, p. 518–535. (In Russian)
- Mikhno V.B., Kuchin A.V. K voprosu sozdaniya landshaftno-ekologicheskogo karkasa Zadonskogo raiona Lipetskoi oblasti [On the issue of creating a landscape and ecological framework of the Zadonsky district of the Lipetsk region], *Vestn. Voronezh. gos. un-ta, Ser. Geografiya i geoekologiya*, 2005, no. 2, p. 19–28. (In Russian)
- Millennium Ecosystem Assessment*, Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press. Washington, DC, 2005, p. 100.
- Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Moskvy: spravochnik-putevoditel'* (po zakazu Departamenta prirodopol'zovaniya i okhrany okruzhayushchei sredy goroda Moskvy) [Specially protected natural territories of Moscow: a reference guide (commissioned by the Department of Nature Management and Environmental Protection of the city of Moscow)], Moscow, Torius77 Publ., 2013, p. 178. (In Russian)
- Reimers N.F., Shtil'mark F.R. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii* [Specially protected natural territories], Moscow, Mysl' Publ., 1978, p. 298. (In Russian)
- Sorokin A.S., Tyusov A.V., Pushai E.S. et al. [Formation of an ecological network as a basis for preserving the landscape and biological diversity of the Tver region], *Geograficheskie osnovy formirovaniya ekologicheskikh setei v Rossii i Vostochnoi Evrope* [Geographical basics of the econets development in Russia and Eastern Europe] (Tver', 1–28 fevralya 2011 g.), Moscow, Partnership scientific publications of the KMK Publ., 2011, ch. 1, p. 253–256. (In Russian)
- State Standard 23337-2014 *Shum. Metody izmereniya shuma na selitebnoj territorii i v pomescheniyah zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Noise. Methods of noise measurement within residential areas and in residential and public premises], Moscow, 2014 (in Russian)
- Taranets I.P., Alekseeva V.A. Okhrana prirody na Vorob'evykh gorakh: proshloe i nastoyashchee [Nature protection on Vorobyovy Gory: past and present], *Zhizn' Zemli*, 2022, no. 3, vol. 44, p. 319–333. (In Russian)
- Tikunov V.S. *Klassifikatsii v geografii: renessans ili uvyadanie? (Opyt formal'nykh klassifikatsii)* [Classifications in geography: renaissance or withering? (The experience of formal classifications)], Moscow, Smolensk, SGU Publ., 1997, p. 367. (In Russian)
- Tishkov A.A. [Protected natural territories and the formation of a framework of sustainability], *Otsenka kachestva okruzhayushchei sredy i ehkologicheskoe kartografirovaniye* [Assessment of the environmental quality and the ecological mapping], Nevel', IG RAN Publ., 1996, p. 94–107. (In Russian)
- Web source*
TEEB – The Economics of Ecosystems and Biodiversity, TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management [Electronic resource], 2011, URL: www.teebweb.org (access date 21.02.2024).

Received 18.04.2024

Revised 15.05.2024

Accepted 26.06.2024

УДК 550.42:631.41:502.1(470.343)

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. БОЛЬШОЙ КОКШАГИ

А.В. Исаев¹, Ю.П. Демаков², Р.Н. Шарафутдинов³, Л.В. Рыжова⁴

^{1,2,4} Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»

³ Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) Федерального университета

⁴ Марийский государственный университет, Институт естественных наук и фармации

¹ Зам. директора по научной работе, канд. с.-х. наук; e-mail: avsacha@yandex.ru

² Гл. науч. сотр., д-р биол. наук; e-mail: ypdemakov@yandex.ru

³ Кафедра химии и экологии, доц., канд. биол. наук; e-mail: sharafrn@yandex.ru

⁴ Кафедра биологии, доц., канд. биол. наук; e-mail: procorjeva@mail.ru

В статье приведены результаты работы по выявлению парагенезиса химических элементов и радиальных геохимических барьеров в аллювиальных почвах (Fluvisols) среднего течения р. Большой Кокшаги (Республика Марий Эл), которые являются фоновыми. Установлено, что ведущим (типоморфным) элементом является Fe, с которым ассоциированы Mn, Ba, P, Zn и Ni. Al образует геохимическое семейство с K, Mg, Ti и Sr. Содержание Ca, S, Sr и Cu связано с величиной потери при прокаливании, а Na и Zr – с Si. На радиальных геохимических барьерах установлено закрепление определенных элементов: на механическом – Si и Zr, биогеохимическом – Ca, S, Sr и Cu, сорбционном – Al, K, Mg, Ti и Sr, кислородном – Fe и хемосорбционном – Mn, Ba, P, Zn и Ni. Пиковые концентрации Si и Zr определены на механическом барьере в профиле всех типов почв. На биогеохимическом барьере в дерновых и болотных почвах закрепляются Ca, S, Cu и Sr. На сорбционном барьере во всех типах почв установлены повышенные концентрации Al, K, Mg, Ti и Sr. Действие кислородного и хемосорбционного барьеров проявляется в луговых и перегнойно-глеевых почвах.

Ключевые слова: заповедник «Большая Кокшага», пойма, Fluvisols, парагенетические ассоциации, типоморфные элементы, тяжелые металлы и металлоиды

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.3

ВВЕДЕНИЕ

Одной из фундаментальных и прикладных задач геохимии ландшафтов является выявление геохимических барьеров (ГХБ) [Васильев, Романова, 2014; Водяницкий и др., 2009; Геохимические барьеры..., 2002; Глазовская, 2012; Добровольский, 1997; Перельман, Касимов, 1999], формирование которых связано с субвертикальной миграцией растворов в почвах (радиальные ГХБ), а также с движением вод в субгоризонтальном направлении на границе элементарных ландшафтов (латеральные ГХБ). Их анализ позволяет определить условия закрепления химических элементов, в том числе тяжелых металлов и металлоидов, установить направления и пути их миграции, а также закономерности распределения и аккумуляции [Геохимические барьеры..., 2002].

Формирование ГХБ тесно связано с парагенезом, т. е. с совместной концентрацией химических элементов в различных компонентах ландшафтов, обусловленной единым процессом [Геохимические барьеры..., 2002; Касимов и др., 2019; Перельман, Касимов, 1999]. Изучение парагене-

тических ассоциаций, являющееся одной из главных задач геохимии [Перельман, Касимов, 1999], позволяет установить: а) причины формирования геохимических аномалий, как в природных, так и в техногенных ландшафтах, б) типоморфные (ведущие) элементы, наиболее активно мигрирующие и накапливающиеся в различных компонентах ландшафта, определяющие концентрацию других, геохимическую особенность системы, а также направленность почвообразовательных процессов.

Благодаря многолетним исследованиям накоплен обширный фактический материал по формированию ГХБ и установлению парагенетических ассоциаций элементов [Власов, Касимов, 2016; Геохимические барьеры..., 2002; Глазовская, 2012; Касимов и др., 2019; Kosheleva et al., 2014; Naruna et al., 2017; Enang et al., 2020; Sysuev, 2021], что позволило решить ряд фундаментальных и прикладных вопросов в области экологической геохимии ландшафтов. Актуальность нашей работы определяется отсутствием подобных исследований на территории Республики Марий Эл.

Цель работы – оценка геохимических особенностей аллювиальных почв среднего течения р. Большой Кокшаги. Для ее достижения были решены следующие задачи: 1) установлены парагенетические ассоциации элементов в аллювиальных почвах и конкреционных новообразованиях; 2) выявлены ведущие (типоморфные) элементы; 3) выделены классы радиальных геохимических барьеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационной основой для установления парагенетических ассоциаций и радиальных ГХБ послужили данные многолетних исследований [Исаев, 2008; Исаев и др., 2022; Isaev et al., 2023] аллювиальных почв, сформировавшихся в пойме среднего течения р. Большой Кокшаги в пределах территории одноименного заповедника (рис. 1), названия которых приводятся в соответствии с [Классификация и диагностика..., 1977]. Дополнительно провели исследование конкреционных новообразований (округлых ортштейнов диаметром от 0,5 до 9 мм), выделенных из слоев 0–10, 10–20 и 20–40 см восьми экотопов луговых почв.

Заповедник «Большая Кокшага» расположен в пределах лесной зоны Русской равнины подзоны хвойно-широколиственных лесов Ветлужско-Унженской географической провинции Ветлужско-Кокшагского полесского района Оршано-Кокшагской флювиогляциальной равнины [Васильева, 1979]. На его территории преобладают аккумулятивные формы рельефа, представленные речными долинами и зандровыми равнинами.

Протяженность р. Большой Кокшаги, которая является левым притоком р. Волги и берет начало в Кировской области, составляет 294 км. Литологическая основа ее бассейна представлена покровными валунными и лессовидными суглинками, глинами и лессами [Колеватых, 2010]. В пределах Республики Марий Эл протяженность реки составляет 156 км, а литологическая основа представлена мощной толщей древнеаллювиальных и современных аллювиальных песков и супесей [Смирнов, 1968]. Долина реки имеет хорошо выраженную двухстороннюю почти симметричную пойму шириной до 3 км. Поверхность ее неровная, грядово-западинная, заболоченная, прорезанная старицами.



Рис. 1. Расположение заповедника «Большая Кокшага» на территории Республики Марий Эл (слева) с указанием мест отбора проб почвы (справа), выделенных квадратом

Fig. 1. Location of the Bolshaya Kokshaga Nature Reserve within the territory of the Republic of Mari El (left) with indication of soil sampling sites (right) highlighted by a square

В пойменных лесах доминируют дубово-липовые фитоценозы с примесью вяза гладкого (*Ulmus laevis* Pall.), осины (*Populus tremula* L.), березы пушистой (*Betula alba* L.) и ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) [Исаев, 2008]. Почвенный покров пойм представлен аллювиальными дерновыми кислыми (Eutric Fluvisols), луговыми кислыми (Gleyic Fluvisols), перегнойно-глеевыми (Pantogleyic Fluvisols) и иловато-торфяными (Subaquatic Fluvisols) почвами.

Дерновые кислые почвы (шесть экотопов 30 образцов), формирующиеся преимущественно в прирусловой части поймы, имеют маломощный профиль, гумусовый горизонт составляет от 10 до 30 см. Ниже зачастую залегают песчаные отложения, почти не обнаруживающие признаков развития почвенных процессов. Они имеют легкий гранулометрический состав, ожелезнение профиля отсутствует. Уровень грунтовых вод находится глубже 200 см, продолжительность затопления составляет от 23 до 35 дней.

Луговые кислые почвы (11 экотопов 55 образцов), имеющие тяжелый гранулометрический состав, занимают центральную область поймы. Гумусовый горизонт мощностью 10–15 см хорошо оструктурен, ореховато-зернистый, рыхлый, насыщен мелкими корнями растений. Под ним залегает более уплотненный переходный гумусово-иллювиальный горизонт (10 см), часто с признаками оглеения и/или ожелезнения в виде охристых или сизых примазок, реже дробовин различного размера (от 0,25 до 9 мм). Ниже находится сильноуплотненный иллювиальный горизонт, оглеенный с пятнами ожелезнения. Мощность профиля не превышает, как правило, 80–90 см; подстилаются они рыхлыми оглеенными песчаными отложениями, затапливаются на 30–35 дней.

Болотные почвы формируются в центральной и притеррасной частях поймы при уровне грунтовых вод, достигающем дневной поверхности. Срок их затопления превышает 40 дней. Перегнойно-глеевые почвы (шесть экотопов 30 образцов) имеют двучленное строение профиля: минеральные горизонты чередуются с высокоминерализованными торфяными. Они бесструктурные, вязкие, сильнооглеенные с ржавыми примазками. Иловато-торфяные почвы (два экотопа 10 образцов) имеют незначительное распространение и представлены высокозольным торфяным материалом разной степени разложения.

Валовое содержание элементов определяли в научно-исследовательском центре «ГеоЛаб» Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета с помощью рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра S8 Tiger (Bruker, Германия) по стандартизированной методике Geoquant® фирмы Bruker. Величину потери при прокаливании (ППП) определяли согласно ГОСТ 23740–2016. Для оценки степени обогащения ортштейнов относительно мелкозема почв рассчитывали коэффициент обогащения (K_o): $K_o = C_{орт} : C_{мелк}$, где $C_{орт}$ и $C_{мелк}$ – содержание химического элемента в ортштейне и мелкоземе соответственно. Коэффициенты радиальной дифференциации (R) элементов в профиле почв рассчитывали согласно [Перельман, Касимов, 1999].

Статистическую обработку данных провели с использованием кластерного и регрессионного анализов в пакете прикладных программ Statistica 6.0. С помощью кластерного анализа установили наличие групп, в которых элементы показывают генетическую близость накопления – формируют геохимические парагенезисы, определили ведущие (типоморфные). Для оценки связи между элементами использовали коэффициент корреляции Спирмена (r_s). С помощью регрессионного анализа оценивали функциональную зависимость между элементами и ее форму, которую определяли путем

подбора функции, наилучшим образом аппроксимирующей исходные данные, представленную на графиках в виде тренда. Для оценки точности модели использовали коэффициент детерминации R^2 . Выделение радиальных ГХБ проводили по физико-химическим свойствам и механизмам закрепления на них элементов на основе [Глазовская, 2012].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Парагенетические ассоциации элементов. В иллювиальных почвах среднего течения р. Большой Кокшаги было установлено содержание 34 химических элементов, из которых наиболее распространенными являются 22 [Isaev et al., 2023]. Здесь анализируются только 18 элементов, чья встречаемость составляет более 95% (в расчет не берутся Rb, As, V и Cl).

По результатам группировки химических элементов по степени геохимической сопряженности выявили наличие четырех кластеров (рис. 2А) с анализом связей между элементами внутри каждого из них. Так, с содержанием Al тесно ассоциированы K, Mg, Ti и Cr, с Fe – Mn, Ba, P, Zn и Ni, с органическим веществом – по величине ППП – Ca, S, Sr и Cu. Данные связи аппроксимирует уравнение вида $Y = a \cdot X^b$, параметры которого представлены в табл. 1.

Группу элементов, ассоциированных с Al, по геохимической классификации можно отнести к литофильным. Их сродство в аллювиальных почвах обусловлено наличием глинистого вещества и формированием сорбционного ГХБ [Васильев, Романова, 2014], что подтверждается данными корреляционного анализа содержания этих элементов с содержанием пылеватых и илистых частиц (табл. 2). Накопление Ca, S, Sr и Cu связано с поступлением и миграцией органического вещества (величина ППП). Вместе с тем следует отметить, что Sr формирует более тесную связь с содержанием Ca ($r_s = 0,63$, $p < 10^{-5}$). Содержание элементов этого кластера статистически не связано с гранулометрическим составом (см. табл. 2).

Характер взаимоотношений между элементами, связанными с Fe, подробно рассмотрен в [Васильев, Романова, 2014; Водяницкий, 2008; Водяницкий и др., 2008; Barrón, Torrent, 2013; Michael et al., 2012]. В частности установлено, что Fe выступает в роли фазы-носителя Mn, P, Ba, Zn и Ni. Известно [Добровольский, 1997], что около 50% всего количества металлов связано с гидроксидами Fe, а у Mn в гумидных корах выветривания формируются вторичные геохимические барьеры в форме гидроксидов Fe, приводящие к формированию ортштейнов [Юдович, Кетрис, 2013]. Связь Mn с Fe в почвах может быть обусловлена их совместным осаждением на окислительном барьере, а Zn и Ni – миграцией

в кислых водах окислительной и восстановительной-глеевой обстановках, что способствует их закреплению (гидр)оксидами Fe [Водяницкий, 2008; Водяницкий и др., 2009] в железомарганцевых кон-

крециях (дробовинах). Содержание Fe, Mn и Ba достоверно связано с илом, а Zn и Ni – с пылеватыми частицами (см. табл. 2). Фосфор не проявляет связи с гранулометрическим составом.

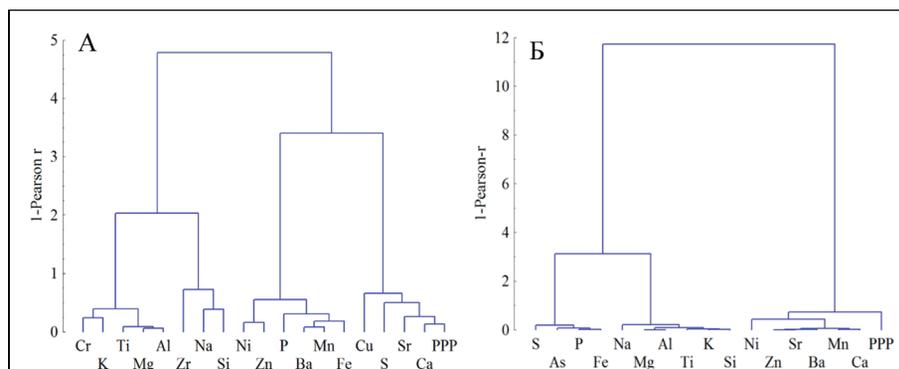


Рис. 2. Дендрограммы сходства содержания химических элементов и величины ППП по изменчивости их содержания в почве (А) и Fe–Mn ортштейнах (Б), построенные способом Варда

Fig. 2. Dendrograms of the similarity of the content of chemical elements and the PPP value in terms of the variability of their content in soil (A) and Fe–Mn ortsteins (B), constructed by the Ward method

Таблица 1

Значения параметров функции ($Y = a \cdot X^b$), описывающей влияние различных фаз-носителей на содержание химических элементов, и значения коэффициентов корреляции Спирмена

Фаза-носитель (Y)	Элемент (X)	Параметр уравнения		Значение R^2	r_s
		a	b		
Fe	Mn	0,01	2,97	0,918	0,88
	P	9,54	1,29	0,677	0,71
	Ba	4,14	1,31	0,787	0,77
	Zn	7,41	0,66	0,731	0,76
	Ni	9,47	0,55	0,759	0,80
Al	K	0,58	0,70	0,667	0,74
	Mg	0,06	1,22	0,920	0,93
	Ti	0,05	1,04	0,913	0,92
	Cr	11,3	0,61	0,581	0,72
ППП	Ca	1,82	0,61	0,776	0,87
	S	$3,4 \times 10^{-3}$	1,75	0,824	0,77
	Sr	25,70	0,56	0,448	0,42
	Cu	31,40	0,30	0,517	0,80

Примечание: содержание Mn, K, Mg, Ti и Ca выражено в г/кг, остальных элементов – в мг/кг. Значения r_s достоверны при $p < 0,0001$.

Совершенно по-другому формируются геохимические сопряжения между Si (X, г/кг), Na и Zr. Выявленные зависимости аппроксимируются следующими уравнениями регрессии, графическое изображение которых приведено на рис. 3:

$$Na = 10,1 \cdot 10^{-4} (467 - X)^{2,39} \times \exp\{-2,07 \cdot 10^{-2} (467 - X)\}; R^2 = 0,682 \quad (1)$$

Таблица 2

Коэффициенты корреляции Спирмена (r_s) содержания химических элементов с гранулометрическим составом аллювиальных почв

Кластер	Элемент	Фракции гранулометрического состава		
		Песок	Пыль	Ил
1	Al	-0,73	0,66	0,52
	K	-0,46	0,39	0,38
	Mg	-0,65	0,55	0,59
	Ti	-0,73	0,67	0,48
	Cr	-0,49	0,43	0,39
2	Sr	-0,15	0,20	-0,10
	Ca	-0,17	0,26	-0,24
	S	0,20	-0,10	-0,41
	Cu	-0,28	0,39	-0,25
3	Fe	-0,58	0,47	0,61
	Mn	-0,36	0,21	0,63
	P	-0,18	0,16	0,12
	Ba	-0,41	0,32	0,43
	Zn	-0,44	0,44	0,19
	Ni	-0,55	0,51	0,34
4	Si	0,41	-0,48	0,05
	Na	-0,12	0,03	0,36
	Zr	-0,07	0,08	0,01

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, достоверные при $p < 0,05$.

$$Zr = 25,9 \cdot 10^{-3} (467 - X)^{2,38} \times \exp\{-1,77 \cdot 10^{-2} (467 - X)\}; R^2 = 0,690 \quad (2)$$

Следует отметить, что для Zr связь установлена при его содержании менее 300 мг/кг, при более высоких величинах связь слабая. Учитывая, что Zr является инертным малоподвижным элементом [Перельман, Касимов, 1999], значения более 300 мг/кг можно назвать «памятью» о прошлых эпохах седиментогенеза в истории формирования почв.

Как видно из рис. 3, тренд имеет куполообразный вид с левосторонней асимметрией: в дерновых почвах с увеличением концентрации Si содержание Na и Zr резко снижается, в болотных и луговых, наоборот, плавно возрастает. В дерновых почвах Na и Zr обнаруживают сродство с Al ($r_s = 0,82$ и $0,86$ соответственно, $p < 0,0001$), что, скорее всего, обусловлено их входением в состав глинистого вещества. Na проявляет слабую связь с илистыми частицами, содержание Zr не связано с гранулометрическим составом (см. табл. 2).

Помимо выделенных парагенных ассоциаций необходимо указать на ряд установленных связей между содержанием элементов, входящих в различные кла-

стеры, функциональную зависимость между которыми можно представить в виде следующих уравнений:

$$Si = 320 \cdot \exp(-4,83 \cdot 10^{-2} \cdot X_1) + 113,3; R^2 = 0,908, \quad (3)$$

$$Al = 71,6 \cdot 10^{-4} (467 - X_2)^{2,16} \times \exp\{-11,5 \cdot 10^{-3} (467 - X_2)\}; R^2 = 0,854 \quad (4)$$

$$Fe = 310 \cdot \exp(-4,77 \cdot 10^{-3} X_2) - 28,7; R^2 = 0,866 \quad (5)$$

(дерновые и луговые почвы)

где X_1 – величина ППП, %; X_2 – содержание Si, г/кг; R^2 – коэффициент детерминации.

Связь Al, а также элементов, входящих с ним в один кластер, с Si отображает куполообразная кривая. Левое «крыло» тренда представлено иловаторфяными и перегнойно-глеевыми почвами, правое – дерновыми, центральная часть – луговыми. Точка перегиба приходится на величину содержания Si 225–275 г/кг. Совершенно по-другому проявляется связь между содержанием Fe и Si: в луговых и дерновых почвах отчетливо прослеживается снижение концентрации Fe с ростом содержания Si. В иловаторфяных почвах его концентрация изменяется сла-

бо, а в перегнойно-глеевых, с лучшими условиями аэрации, начинает постепенно увеличиваться.

Приведенные выше уравнения связи величины ППП с Si, а также Si с Al, Na и Zr показывают, в первом случае, что при приближении величины ППП к нулевому значению содержание Si стремится к

433 г/кг. Схожие значения были получены при анализе песков береговых отмелей, где величина ППП достигает 0,41%, а содержание Si – 454 г/кг [Isaev et al., 2023]. Во втором – критическое содержание Si (467 г/кг), при котором концентрация других элементов стремится к нулю.

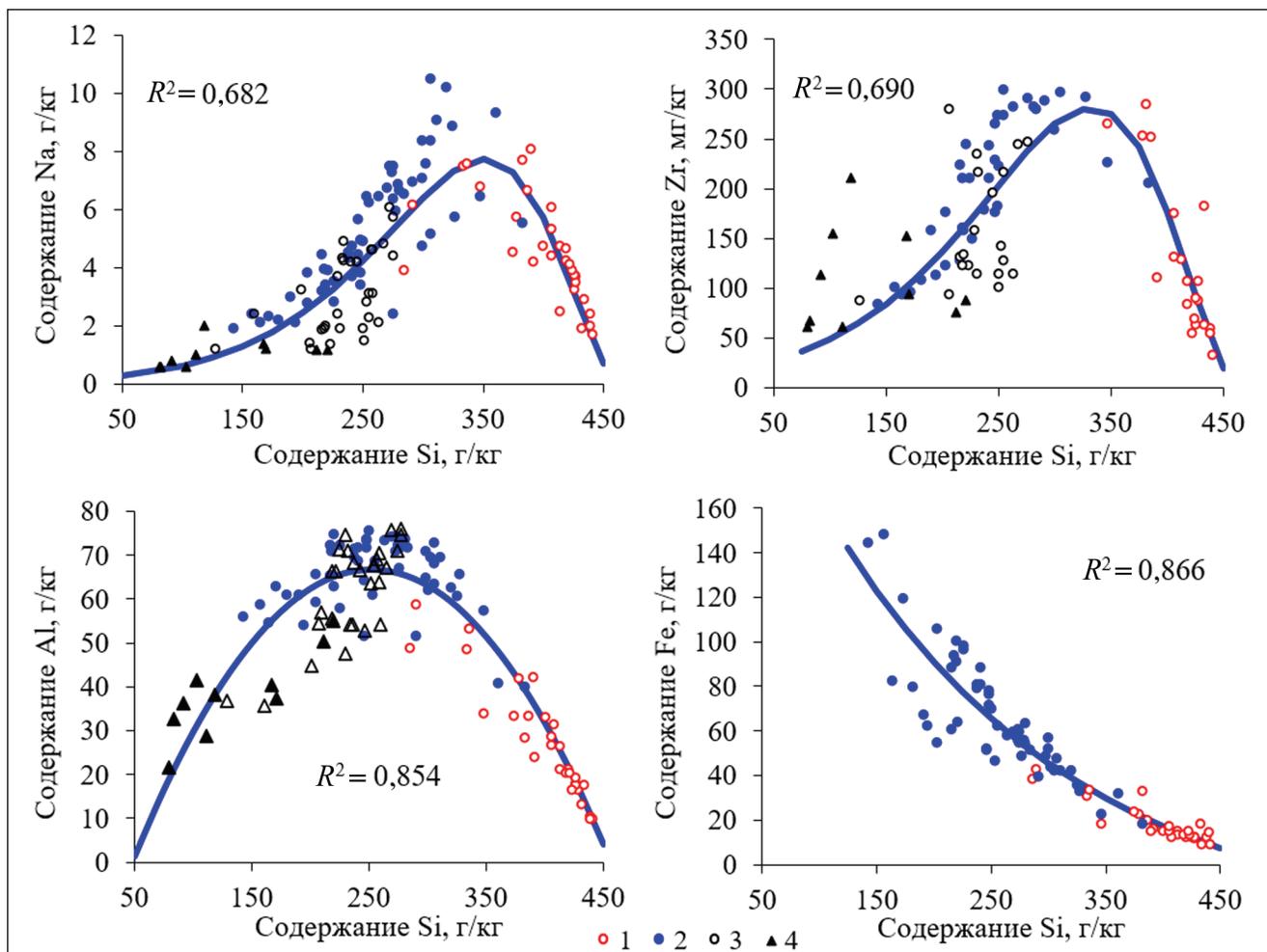


Рис. 3. Зависимость содержания Na, Zr, Al и Fe от Si:

1 – дерновые почвы; 2 – луговые; 3 – перегнойно-глеевые; 4 – иловато-торфяные; R^2 – коэффициент детерминации

Fig. 3. Dependence of Na, Zr, Al and Fe content on Si:

1 – turf soils; 2 – meadow soils; 3 – humus-gley soils; 4 – silt-peat soils; R^2 – coefficient of determination

Причина неоднозначного взаимодействия Al, K, Mg, Ti и Cr с Si в болотных почвах может быть обусловлена их гранулометрическим составом. Установлен особый характер связи содержания Si (Y , г/кг) с илистой фракцией (X , %) в разрезе каждого типа аллювиальных почв (рис. 4). В дерновых почвах с увеличением доли ила и, соответственно, уменьшением песчаной фракции, снижается содержание Si. Подобных зависимостей в луговых почвах не обнаружено. В болотных, наоборот, с увеличением доли илистой фракции возрастает и содержание Si с выходом на плато на уровне 10% без наличия связей с песчаной и пылевой фракциями. Точкой,

где сходятся тренды болотных и дерновых почв, является значение содержания Si в 250 г/кг. При этом значении происходит и смена влияния Si на Al и сопряженных с ним элементов: K, Mg, Ti и Cr и сменой знака с положительного на отрицательное. В луговых почвах связь содержания этих элементов с илистой фракцией отсутствует, а в дерновых она прямая положительная. Это не противоречит имеющимся представлениям: в почвах гидроморфного ряда растворы или осадки соединений Al являются геохимическими ловушками для растворенных соединений кремнезема, и, наоборот, осадки аморфного кремнезема сорбируют глинозем [Ковда, 1985].

При совместной миграции с полуторными окислами соединения кремнезема участвуют в формировании глинистых минералов.

В болотных почвах связь Si, Al, K и Na, может быть обусловлена вхождением их в состав минерала ортоклаза ($K_2Al_2Si_6O_{16}$), мусковита $K_2[Si_6Al_2]Al_4O_{20}(OH)_4$ или альбита ($Na_2Al_2Si_6O_{16}$), трудно поддающегося выветриванию [Перельман, Касимов, 1999]. Связь Si, Na и Zr может быть обусловлена образованием устойчивой промежуточной фазы $ZrSiO_4$ в физико-химической системе ZrO_2-SiO_2 [Гавриленко, Сахоненок, 1986], а также наличием в луговых и болотных почвах ряда минералов (власовит, эльпидит, гейдоннеит, нормандит и др.), содержащих эти элементы, которые могли поступить в долину р. Большой Кокшаги с Кольско-Карельской минералого-геохимической провинции (Хибины) с моренными отложениями ледников, а затем, в результате эрозионно-аккумулятивных процессов, с аллювиальными отложениями принять участие в формировании пойменных почв.

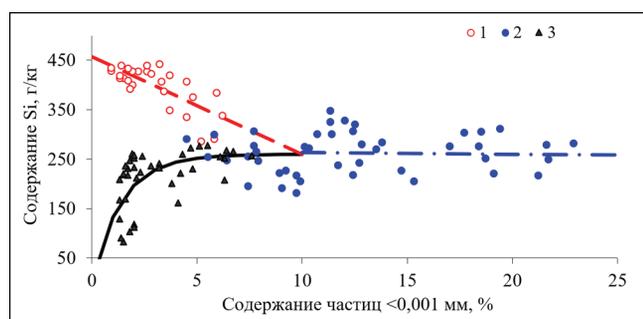


Рис. 4. Зависимость содержания Si от илистой фракции в различных типах аллювиальных почв. Пунктирная линия представляет тренд для дерновых почв, штрихпунктирная – луговых, сплошная – болотных; 1 – дерновые почвы; 2 – луговые; 3 – перегнойно-глеевые и иловато-торфяные

Fig. 4. Dependence of Si content on the silty fraction in various types of alluvial soils. The dotted line represents the trend for turf soils, the dashed line for meadow soils, the solid line for swamp soils; 1 – turf soils; 2 – meadow soils; 3 – humus-gley and silt-peat soils

Парагенетические ассоциации элементов в Fe–Mn ортштейнах. В ортштейнах луговых почв установлено содержание 21 элемента, но наиболее распространенными являются 16, которые по усредненной концентрации формируют следующий ранговый ряд: $Fe > Si > Mn > Al > Ba > P > Ca > K > Mg > Ti > Na > S > Ni > Zn > As > Sr$ (табл. 3). По сравнению с мелкоземом почвы они накапливают Ba ($K_0 = 15,3$), P ($K_0 = 6,5$), Mn ($K_0 = 6,0$), Fe ($K_0 = 1,8$), As ($K_0 = 1,6$), S ($K_0 = 1,4$) и Ni ($K_0 = 1,3$), что свидетельствует об активной миграции и накоплении этих элементов.

Характер формирующихся связей между элементами в Fe–Mn ортштейнах отличается от такового в мелкозем, выделено три парагенетические ассоциации (см. рис. 2Б). Первая представлена Si–Al–K–Na–Mg–Ti, вторая – Fe–P–S–As и третья – Ca–Mn–Ba–Sr–Zn–Ni, в которой синергизм элементов проходит при участии органического вещества (микроколоний бактерий), выраженного через величину ППП. Связи между элементами внутри ассоциаций достоверные ($p < 0,05$).

Таблица 3

Статистические показатели величины потери при прокаливании и содержания химических элементов в Fe–Mn ортштейнах

Элемент, размерность	Значение статистического показателя					
	n	M_x	max	min	$C_v, \%$	K_0
ППП, %	8	25,2	28,5	18,4	14,8	–
Fe, г/кг	8	151,2	179,7	125,9	15,4	1,8
Si, г/кг	8	126,5	186,8	90,8	28,4	0,7
Mn, г/кг	8	71,4	134,2	16,4	72,5	6,0
Al, г/кг	8	39,7	48,4	31,3	17,7	0,7
Ba, г/кг	8	17,6	29,8	6,4	56,9	15,3
P, г/кг	8	14,9	18,3	12,8	16,1	6,5
Ca, г/кг	8	9,7	11,8	7,8	17,6	0,9
K, г/кг	8	7,1	10,0	5,5	23,5	0,9
Mg, г/кг	8	6,2	7,8	4,7	21,1	0,6
Ti, г/кг	8	2,5	3,6	1,8	23,9	0,8
Na, г/кг	8	1,5	2,7	1,0	44,7	0,6
S, г/кг	8	0,4	0,5	0,3	18,7	1,4
Ni, мг/кг	7	131,9	189,0	49,0	46,4	1,3
Zn, мг/кг	8	85,1	141,0	33,0	53,2	0,4
As, мг/кг	7	44,0	52,0	36,0	13,8	1,6
Sr, мг/кг	7	37,7	51,0	22,0	30,7	0,5

Примечание: n – объем выборки, ППП – потеря при прокаливании, M_x – среднее значение, max и min – максимальное и минимальное значения, C_v – коэффициент вариации, K_0 – коэффициент обогащения.

Как видно из рисунка 2Б, в ортштейнах между Si и Al, Fe и S, а также Ca и Mn формируются прямые связи, чего не наблюдается в мелкозем почв. Тогда как парагенез между Fe и Mn, установленный в почве, в конкрециях отсутствует, что подтверждается литературными данными [Водяницкий, 2008; Manseau et al., 2002], поскольку Fe и Mn неравномерно распределены в пределах одного ортштейна. Парагенез Mn и Ca обусловлен тем, что в оболочке крупных ортштейнов могут присутствовать зерна карбонатов [Manseau et al., 2002]. Процесс захвата

Si, Al, K, Na, Mg и Ti связан, как известно [Аристовская, 1980], с включением обломков минералов почвообразующей породы в состав конкреций, которые оказываются сцементированными друг с другом гидроокисями Fe и Mn. Таким образом, характер формирующихся связей в мелкоземной аллювиальной почве и в конкрециях не всегда совпадает. Этот вопрос требует дальнейшей глубокой проработки.

Проведенный анализ позволяет констатировать, что в аллювиальных почвах типоморфным элементом, что особенно четко проявляется в типе луговых и перегнойно-глеевых, является Fe, с которым образуют одно геохимическое семейство Mn, P, Ba, Zn и Ni. С геохимической точки зрения пойма реки представляет характерную картину миграции этих элементов, которая проявляется в их концентрации в почвенных новообразованиях и пределах варьирования их содержания в почве [Исаев, 2008, Isaev et al., 2023]. Это явление характерно для пойм многих равнинных рек, что находит подтверждение в ряде работ [Васильев, Романова, 2014; Добровольский, 2005].

Вертикальная (радиальная) дифференциация элементов и геохимические барьеры. Вертикальную дифференциацию элементов рассмотрим на примере ведущих в каждом из кластеров, выделенных на рис. 2А: ППП, Si, Al и Fe, а также ряда других, иллюстрирующих некоторые яркие ее особенности. Так, распределение величины ППП, а с ней Ca, S и Cu в аллювиальных почвах имеет регрессивно-аккумулятивный характер с максимальными значениями в верхнем слое, представленном гумусово-аккумулятивным горизонтом (рис. 5). В перегнойно-глеевых и иловато-торфяных почвах обнаруживается второй максимум этих элементов, приуроченный к высокозольным торфяным залежам (с величиной ППП > 40%), что особенно выражено для S, чье содержание в таковых может достигать 4,5–11,3 г/кг [Isaev et al., 2023]. Содержание Cu в луговых почвах слабо дифференцировано по профилю, в болотных типах максимум приходится на слой 40–60 см.

Содержание Si в дерновых и луговых почвах изменяется обратно пропорционально величине ППП, так как литологический профиль этих почв характеризуется облегчением гранулометрического состава в нижних горизонтах [Исаев и др., 2022]. В перегнойно-глеевых и иловато-торфяных почвах максимум содержания Si, а также ассоциированных с ним элементов (Al, Mg, Ti и Cr), приходится на слои почвы 20–40 и 40–60 см, которые имеют более тяжелый гранулометрический состав по сравнению с остальными. Содержание Na в луговых и болотных почвах с глубиной возрастает. Распределение Al, а с ним и K, Na, Mg, Ti и Cr по профилю дерновых почв имеет равномерно-аккумулятивный характер. В луговых

и болотных почвах максимум содержания этих элементов приходится на слои 20–40 и 40–60 см.

Содержание Fe и связанных с ним элементов в дерновых почвах, развивающихся без влияния грунтовых вод, носит регрессионно-аккумулятивный характер. В других типах почв наблюдается максимум в слое 10–20 см, особенно четко это прослеживается по концентрации Mn в луговых почвах, резкое перераспределение которого указывает на формирование слабоокислительной обстановки, что является индикатором окислительно-восстановительной зональности [Перельман, Касимов, 1999].

Особый интерес вызывает распределение по профилю почв Zr, который отличается слабой подвижностью в любой геохимической обстановке [Перельман, Касимов, 1999], так как находится в ней преимущественно в составе устойчивых минералов, слабо поддающихся разрушению в процессе почвообразования (циркона) [Гавриленко, Сахоненко, 1986]. В профиле всех типов аллювиальных почв отмечаются пиковые концентрации Zr, обусловленные составом аллювиальных отложений, в которых его содержание может достигать 2877 мг/кг [Исаев и др., 2020].

Основываясь на результатах проведенного выше анализа, можно выделить следующие ГХБ: механический, биогеохимический, сорбционный, кислородный и хемосорбционный. Кислотно-щелочной ГХБ в аллювиальных почвах не формируется [Исаев, 2008], так как они мало различимы по значениям фактической кислотности, величина которой изменяется от слабокислой до нейтральной реакции ($C_v = 8,1\%$). Ни тип почвы ($p = 0,07$), ни слой ($p = 0,36$) не оказывают достоверного влияния на ее величину.

Рассмотрим проявление каждого ГХБ в различных типах почв. Почвенный покров поймы обязан своим происхождением действию в первую очередь механического барьера, благодаря которому в результате снижения скорости водных потоков латерального направления происходило отложение аллювия разного гранулометрического и химического состава. Механическая миграция зависит преимущественно от величины частиц минералов и пород, их плотности, скорости движения вод, тогда как химические свойства элементов не имеют значения [Перельман, Касимов, 1999]. Действие этого барьера будет проявляться до тех пор, пока поверхность поймы не выйдет из зоны затопления. Все рассмотренные типы почв сформировались в результате действия механического барьера, обусловленного неоднородностью поверхности поймы, сила проявления которого, выраженная в количестве и химическом составе аллювия, связана с удалением от русла реки и напряженностью эрозионно-аккумулятивных процессов [Исаев и др., 2020].

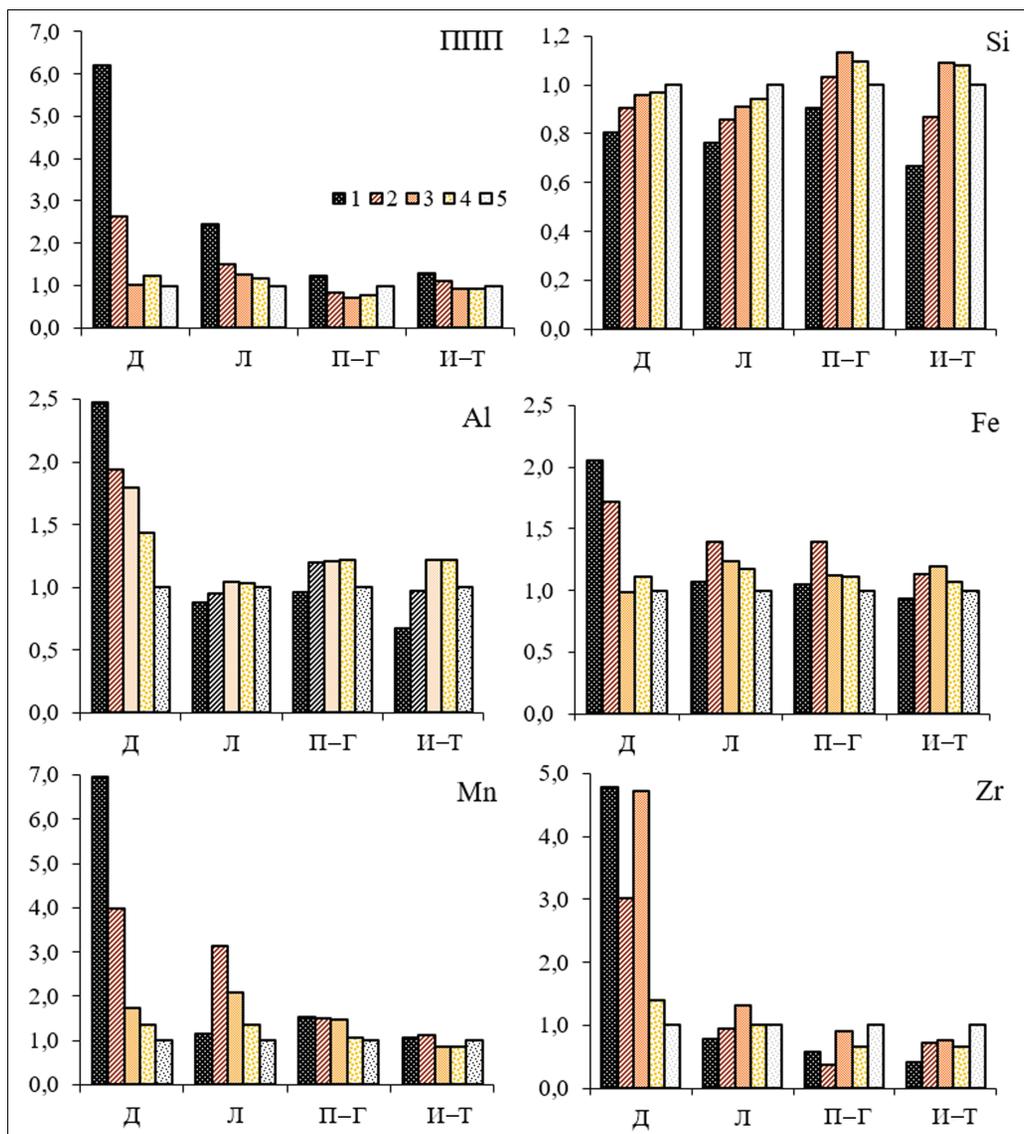


Рис. 5. Величина коэффициента радиальной дифференциации R ведущих элементов, величины ППП, а также Mn и Zr по градиенту глубины: Д – дерновые; Л – луговые; П-Г – перегнойно-глеевые; И-Т – иловато-торфяные; 1 – слой почвы 0–10 см; 2 – 10–20 см; 3 – 20–40 см; 4 – 40–60 см; 5 – 60–80 см

Fig. 5. The value of the radial differentiation coefficient R of leading elements, the PPP values, as well as Mn and Zr along the depth gradient: Д – turf soils; Л – meadow soils; П-Г – humus-gley soils; И-Т – silt-peat soils; 1 – soil layer 0–10 cm, 2 – 10–20 cm, 3 – 20–40 cm, 4 – 40–60 cm; 5 – 60–80 cm

Особенности аллювиального седиментогенеза в процессе латеральной дифференциации вещества во всех типах аллювиальных почв можно диагностировать по радиальному распределению некоторых элементов. Например, содержание Zr в профиле имеет несколько пиков во всех типах аллювиальных почв. Максимум содержания Si в дерновых и луговых почвах приходится на нижние слои, в перегнойно-глеевых и иловато-торфяных почвах – на слои 20–40 и 40–60 см. Приведенные примеры связаны с изменением условий седиментации, вызванной блужданием русла реки по дну долины.

Действие сорбционного ГХБ проявляется в дерновых почвах, в профиле которых нет признаков гидроморфизма, и связано со сродством K, Na, Mg, Ti,

Zr и Sr к Al. В этих почвах распределение большинства элементов имеет регрессивно-аккумулятивный тип: максимальное содержание приходится на верхний 10-сантиметровый слой, который соответствует гумусовому горизонту. В луговых и болотных типах почв на сорбционном барьере происходит осаждение K, Mg, Ti и Sr, ассоциированных с Al, а также Na и Zr, ассоциированных с Si. Распределение частиц физической глины в этих типах почв соответствует максимальным концентрациям в них элементов [Исаев и др., 2022].

Действие кислородного ГХБ в луговых и перегнойно-глеевых почвах проявляется в зоне внутрипочвенного испарения (преимущественно в слое почвы 10–20 см) в области капиллярной каймы

(привнос двухвалентного Fe капиллярными водами). Механизм его действия хорошо описан [Добровольский, 2005; и др.]. Вместе с Fe в результате парагенеза накапливаются и другие элементы: Mn, Ba, P, Zn, Ni, что является проявлением хемосорбционного ГХБ, действие которого приводит к прочному закреплению (гидр)оксидами Fe некоторых опасных тяжелых металлов и металлоидов.

Биогеохимический (органоминеральный) барьер формируется во всех типах аллювиальных почв в верхнем 10-сантиметровом слое, а также в нижних высокозольных торфяных слоях иловато-торфяных и перегнойно-глеевых почв, где происходит закрепление Ca, S, Sr и Cu.

Таким образом, в различных типах аллювиальных почв могут формироваться различные типы и сочетания ГХБ, что обусловлено особенностями пойменного режима реки, почвенно-геохимической характеристикой приречного ландшафта. Это подтверждает многочисленные выводы о роли аллювиальных почв как ГХБ на пути миграции тяжелых металлов и металлоидов с водораздельных территорий [Водяницкий и др., 2009, Добровольский, 2005].

ВЫВОДЫ

В аллювиальных почвах среднего течения р. Большой Кокшаги ведущим (типоморфным) химическим элементом является Fe, с которым ассоциированы Mn, Ba, P, Zn и Ni. С геохимической точки зрения пойма представляет характерную картину миграции этих элементов, что подтверждается их накоплением в ортштейнах луговых почв относительно мелкозема (коэффициент обогащения Ba – 15,3; P – 6,5; Mn – 6,0 Fe – 1,8, Ni – 1,3).

С содержанием Si в луговых и болотных типах почв ассоциированы Na и Zr, для Zr связь установ-

лена при его содержании менее 300 мг/кг. В болотных типах почв с Si ассоциированы также Al, K, Mg, Ti и Cr. Содержание Ca, S, Sr и Cu во всех типах аллювиальных почв связано с величиной ППП. Al в луговых и болотных типах почв образует геохимическое семейство с K, Mg, Ti и Cr, а в дерновых – еще и с Na и Zr. Получены уравнения регрессии, с высокой долей точности описывающие связи содержания элементов между собой.

В Fe–Mn ортштейнах, выделенных из луговых почв, установлено три парагенетические ассоциации: первая представлена Si–Al–K–Na–Mg–Ti, вторая – Fe–P–S–As и третья – Ca–Mn–Ba–Sr–Zn–Ni, в которой синергизм элементов проходит при участии органического вещества.

В аллювиальных почвах выделены следующие радиальные ГХБ: механический – закрепление Si и Zr, биогеохимический – Ca, S, Sr и Cu, сорбционный – Al, K, Mg, Ti и Cr, кислородный – Fe и хемосорбционный – Mn, Ba, P, Zn и Ni. Механический ГХБ в условиях латерального седиментогенеза проявляется в профиле всех типов почв и связан с пиковыми концентрациями Si и Zr. Биогеохимический барьер проявляется во всех типах аллювиальных почв в верхнем 10-сантиметровом слое, а также в нижних высокозольных торфяных слоях болотных почв, где происходит закрепление Ca, S, Sr и Cu. Сорбционный барьер связан с повышенной концентрацией Al, K, Mg, Ti, Cr и проявляется в луговых и болотных почвах в слое 20–40 и 40–60 см, в дерновых – 0–10 см. Действие кислородного и хемосорбционного ГХБ обнаруживается преимущественно в луговых и перегнойно-глеевых почвах, приводит к закреплению на нем Fe и ассоциированных с ним элементов Mn, Ba, P, Zn и Ni.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аристовская Т.В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.
- Васильев А.А., Романова А.В. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья. Пермь: Прокрость, 2014. 231 с.
- Васильева Д.П. Ландшафтная география Марийской АССР. Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1979. 136 с.
- Власов Д.В., Касимов Н.С. Геохимические аномалии металлов и металлоидов в компонентах ландшафтов в восточной части Москвы: парагенезисы элементов и типология // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 3. С. 50–57.
- Водяницкий Ю.Н. Сродство тяжелых металлов и металлоидов к фазам-носителям в почвах // Агрохимия. 2008. № 9. С. 87–94.
- Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Власов М.Н. Гидрогенное загрязнение тяжелыми металлами аллювиальных почв г. Пермь // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1399–1408.
- Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Власов М.Н. и др. Роль соединений железа в закреплении тяжелых металлов и мышьяка в аллювиальных и дерново-подзолистых почвах в районе г. Пермь // Почвоведение. 2009. № 7. С. 794–805.
- Гавриленко В.В., Сахоненок В.В. Основы геохимии редких литофильных металлов. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1986. 172 с.
- Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / под ред. Н.С. Касимова и А.Е. Воробьева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 395 с.
- Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах равнин, их типология, функциональные особенности и экологическое значение // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2012. № 1. С. 8–14.

- Добровольский В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение. 1997. № 4. С. 431–441.
- Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 293 с.
- Исаев А.В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага»). Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2008. 240 с.
- Исаев А.В., Шарафутдинов Р.Н., Гареев Б.И. Эколого-геохимическая характеристика аллювиальных отложений в средней части р. Большая Кокшага и их роль в формировании почвенного покрова // Научные труды гос. природного заповедника «Большая Кокшага». 2020. Вып. 9. С. 8–29.
- Исаев А.В., Демаков Ю.П., Шарафутдинов Р.Н. Закономерности изменения гранулометрического состава аллювиальных почв в процессе развития пойм рек // Вестник Поволжского гос. техн. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 2. С. 80–93. DOI: 10.25686/2306-2827.2022.2.80.
- Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Чалов С.Р. и др. Парагенетические ассоциации химических элементов в ландшафтах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2019. № 6. С. 20–28.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
- Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 264 с.
- Колеватых Е.А. К вопросу о генезисе и геохимии почвенных суглинков Вятско-Камского Предуралья // Литосфера. 2010. № 6. С. 55–65.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
- Смирнов В.Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения. Йошкар-Ола: Марийское кн. изд-во, 1968. 532 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия марганца в процессах гипергенеза: обзор // Биосфера. 2013. Т. 5. № 1. С. 21–36.
- Barrón V., Torrent J. Iron, manganese and aluminium oxides and oxyhydroxides, *European Mineralogical Union Notes in Mineralogy. Notes in Mineralogy*, 2013, vol. 14, Chapter 9, p. 297–336, DOI: 10.1180/EMU-notes.14.9.
- Enang R.K., Kfuban Yerima B.P., Kome G.K. et al. Trace elemental distribution in tephra soils of mounts Kupe and Manengouba (Cameroon), *Eurasian Soil Science*, 2020, no. 5, p. 595–606, DOI: 10.1134/s1064229320050051.
- Haruna I.V., Ishaku J.M., Mamman Y.D. Background Geochemistry of Soil in Part of Girei District, Upper Benue Trough, N. E. Nigeria, *International Journal of Geosciences*, 2017, no. 8, p. 888–901, DOI: 10.4236/ijg.2017.87051.
- Isaev A.V., Demakov Y.P., Sharafutdinov R.N. Specific Features of the Elemental Composition of Alluvial Soils in the Middle Reaches of the Bolshaya Kokshaga River, *Eurasian Soil Science*, 2023, vol. 56, no. 7, p. 868–878, DOI: 10.1134/S1064229323600653.
- Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Vlasov D.V. Impact of Geochemical Barriers on the Accumulation of Heavy Metals in Urban Soils, *Doklady Earth Sciences*, 2014, vol. 458, part 1, p. 1149–1153, DOI: 10.1134/S1028334X14090165.
- Manceau A., Marcus M.A., Tamura N. Quantitative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques, *Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geochemistry and Environmental Science. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2002, vol. 49, p. 341–428, DOI: 10.2138/gsrmg.49.1.341.
- Michael A.W., Allyson V.Y., Bruce D.K. et al. Geochemistry of Alluvial Soils Composed of Metal-Enriched Sediments, Main Stem of the Coeur d’Alene River, Idaho, *Soil Science Society of America Journal Abstract – Soil Mineralogy*, 2012, vol. 76, no. 4, p. 1462–1477, DOI: 10.2136/sssaj2011.0442.
- Sysuev V.V. Formation Processes and Parameters of the Landscape–Geochemical Barrier of the Eutrophic Swamp, *Geochemistry International*, 2021, vol. 59(7), p. 699–710, DOI: 10.1134/S0016702921060100.

Поступила в редакцию 10.11.2023

После доработки 15.05.2024

Принята к публикации 26.06.2024

GEOCHEMICAL FEATURES OF ALLUVIAL SOILS OF THE MIDDLE REACHES OF THE BOLSHAYA KOKSHAGA RIVER

A.V. Isaev¹, Y.P. Demakov², R.N. Sharafutdinov³, L.V. Ryzhova⁴

^{1,2,4} State Nature Reserve "Bolshaya Kokshaga"

³ Naberezhnye Chelny Institute of Kazan (Volga Region) Federal University

⁴ Mari State University, Institute of Natural Sciences and Pharmacy

¹ Deputy Director for Scientific Department, Ph.D. in Agriculture; e-mail: avsacha@yandex.ru

² Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Biology; e-mail: ypdemakov@yandex.ru

³ Department of Chemistry and Ecology, Associate Professor, Ph.D. in Biology; e-mail: sharafn@yandex.ru

⁴ Department of Biology, Associate Professor, Ph.D. in Biology; e-mail: procopjeva@mail.ru

The article presents the results of work on the identification of the paragenesis of chemical elements and radial geochemical barriers in the basic alluvial soils (Fluvisols) of the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga River (Republic of Mari El). It was found that the leading (typomorphic) element is Fe, with which Mn, Ba, P, Zn and Ni are associated. Al forms a geochemical family with K, Mg, Ti and Cr. The content of Ca, S, Sr and Cu is related to the amount of loss during calcination, and Na and Zr are related to Si. Particular elements are fixed on radial geochemical barriers: Si and Zr on the mechanical, Ca, S, Sr and Cu on the biogeochemical, Al, K, Mg, Ti and Cr on the sorption, Fe on the oxygen and Mn, Ba, P, Zn and Ni on the chemisorptions one. The peak concentrations of Si and Zr were recorded on mechanical barrier in the profile of all types of soils. Ca, S, Cu and Sr are fixed on the biogeochemical barrier in turf and swamp soils. Increased concentrations of Al, K, Mg, Ti and Cr were found on the sorption barrier in all types of soils. The effect of oxygen and chemisorption barriers reveals itself in meadow and humus-gley soils.

Keywords: Bolshaya Kokshaga Nature Reserve, floodplain, Fluvisols, paragenetic associations, typomorphic elements, heavy metals and metalloids

REFERENCES

- Aristovskaja T.V. *Mikrobiologija processov pochvoobrazovaniya* [Microbiology of soil formation processes], Leningrad, Nauka Publ., 1980, 187 p. (In Russian)
- Barrón V., Torrent J. Iron, manganese and aluminium oxides and oxyhydroxides, *European Mineralogical Union Notes in Mineralogy. Notes in Mineralogy*, 2013, vol. 14, ch. 9, p. 297–336, DOI: 10.1180/EMU-notes.14.9.
- Dobrovol'skij G.V. *Pochvy rechnyh pojm centra Russkoj ravniny* [Soils of river floodplains in the center of the Russian Plain], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2005, 293 p. (In Russian)
- Dobrovol'skij V.V. Biosphere cycles of heavy metals and regulatory role of soil, *Eurasian Soil Science*. 1997, no. 4, p. 371–380.
- Enang R.K., Kfuban Yerima B.P., Kome G.K., Rans E.V. Trace elemental distribution in tephra soils of mounts Kupe and Manengouba (Cameroon), *Eurasian Soil Science*, 2020, no. 5, p. 595–606, DOI: 10.1134/s1064229320050051.
- Gavrilenko V.V., Sahonenok V.V. *Osnovy geohimii redkih litofil'nyh metallov* [Fundamentals of geochemistry of rare lithophilic metals], Leningrad, Leningrad St. Univ. Publ., 1986, 172 p. (In Russian)
- Geohimicheskie bar'ery v zone gipergeneza* [Geochemical barriers in the hypergenesis zone], N.S. Kasimov, A.E. Vorob'jov (eds.), Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2002, 395 p. (In Russian)
- Glazovskaja M.A. Geohimicheskie bar'ery v pochvah ravnin, ih tipologija, funkcional'nye osobennosti i jekologicheskoe znachenie [Geochemical barriers in plains soils, their typology, functional features and ecological significance], *Lomonosov Geography Journal*, 2012, no. 1, p. 8–14. (In Russian)
- Haruna I.V., Ishaku J.M., Mamman Y.D. Background Geochemistry of Soil in Part of Girei District, Upper Benue Trough, N. E. Nigeria, *International Journal of Geosciences*, 2017, no. 8, p. 888–901, DOI: 10.4236/ijg.2017.87051.
- Isaev A.V. *Formirovanie pochvennogo i rastitel'nogo pokrova v pojmah rechnyh dolin Marijskogo Poles'ja (na primere territorii zapovednika "Bol'shaja Kokshaga")* [Formation of soil and vegetation cover in floodplains of river valleys of the Mari Polesie (case study of the territory of the "Bolshaya Kokshaga" reserve)], Joshkar-Ola, Mari St. Technical Univ. Publ., 2008, 240 p. (In Russian)
- Isaev A.V., Demakov Ju.P., Sharafutdinov R.N. Zakonomernosti izmenenija granulometricheskogo sostava alljuvial'nyh pochv v processe razvitiya pojm rek [Regularities of changes in the granulometric composition of alluvial soils during the development of floodplains], *Vestnik Povolzhskogo gos. tehn. un-ta, Ser. Les. Ekologija. Prirodopol'zovanie*, 2022, no. 2, p. 80–93, DOI: 10.25686/2306-2827.2022.2.80. (In Russian)
- Isaev A.V., Demakov Y.P., Sharafutdinov R.N. Specific Features of the Elemental Composition of Alluvial Soils in the Middle Reaches of the Bolshaya Kokshaga River *Eurasian Soil Science*, 2023, vol. 56, no. 7, p. 868–878, DOI: 10.1134/S1064229323600653.
- Isaev A.V., Sharafutdinov R.N., Gareev B.I. Ekologo-geohimicheskaja harakteristika alljuvial'nyh otlozhenij v srednej chasti r. Bol'shaja Kokshaga i ih rol' v formirovanii pochvennogo pokrova [Ecological and geochemi-

- cal characteristics of alluvial deposits in the middle part of the Bolshaya Kokshaga River and their role in the formation of soil cover], *Nauch. tr. gos. prirodno-go zapovednika "Bol'shaja Kokshaga"*, 2020, iss. 9, p. 8–29. (In Russian)
- Judovich Ja.Je., Ketris M.P. Geohimija marganca v procesah gipergeneza: obzor [Geochemistry of manganese in hypergenesis processes: an overview], *Biosfera*, 2013, vol. 5, no. 1, p. 21–36. (In Russian)
- Kasimov N.S., Lychagin M.Ju., Chalov S.R., Shinkareva G.L. Parageneticheskie asociacii himicheskikh jelementov v landshaftah [Paragenetic associations of chemical elements in landscapes], *Lomonosov Geography Journal*, 2019, no. 6, p. 20–28. (In Russian)
- Klassifikacija i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR], Moscow, Kolos Publ., 1977, 224 p. (In Russian)
- Kolevatyh E.A. K voprosu o genezise i geohimii pokrovnyh suglinkov Vjatsko-Kamskogo Predural'ja [On the genesis and geochemistry of the cover loams of the Vyatka-Kama Pre-Urals], *Litosfera*, 2010, no. 6, p. 55–65. (In Russian)
- Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Vlasov D.V. Impact of Geochemical Barriers on the Accumulation of Heavy Metals in Urban Soils, *Doklady Earth Sciences*, 2014, vol. 458, pt. 1, p. 1149–1153, DOI: 10.1134/S1028334X14090165.
- Kovda V.A. *Biogeohimija pochvennogo pokrova* [Biogeochemistry of soil cover], Moscow, Nauka Publ., 1985, 264 p. (In Russian)
- Michael A.W., Allyson V.Y., Bruce D.K. et al. Geochemistry of Alluvial Soils Composed of Metal-Enriched Sediments, Main Stem of the Coeur d'Alene River, Idaho, *Soil Science Society of America Journal Abstract – Soil Mineralogy*, 2012, vol. 76, no. 4, p. 1462–1477, DOI: 10.2136/sssaj2011.0442.
- Manceau A., Marcus M.A., Tamura N. Quantative speciation of heavy metals in soils and sediments by synchrotron X-ray techniques, Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geochemistry and Environmental Science, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2002, vol. 49, p. 341–428, DOI: 10.2138/gsrmg.49.1.341.
- Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geohimija landshafta* [Geochemistry of the landscape], Moscow, Astreja-2000 Publ., 1999, 768 p. (In Russian)
- Smirnov V.N. *Pochvy Marijskoj ASSR, ih genezis, jevoljucija i puti uluchshenija* [Soils of the Mari ASSR, their genesis, evolution and ways of improvement], Joshkar-Ola, Marijsk. kn. izd-vo Publ., 1968, 532 p. (In Russian)
- Sysuev V.V. Formation Processes and Parameters of the Landscape–Geochemical Barrier of the Eutrophic Swamp, *Geochemistry International*, 2021, vol. 59(7), p. 699–710, DOI: 10.1134/S0016702921060100.
- Vasil'ev A.A., Romanova A.V. *Zhelezo i tzhzhelye metally v alluvial'nyh pochvah Srednego Predural'ja* [Iron and heavy metals in alluvial soils of the Middle Urals], Perm, Prokrost Publ., 2014, 231 p. (In Russian)
- Vasil'eva D.P. *Landshaftnaja geografija Marijskoj ASSR* [Landscape geography of the Mari ASSR], Joshkar-Ola, Marijsk. kn. izd-vo Publ., 1979, 136 p. (In Russian)
- Vlasov D.V., Kasimov N.S. Geohimicheskie anomalii metallov i metalloidov v komponentah landshaftov v vostochnoj chasti Moskvy: paragenезisy jelementov i tipologija [Geochemical anomalies of metals and metalloids in landscape components in the Eastern part of Moscow: paragenesis of elements and typology], *Lomonosov Geography Journal*, 2016, no. 3, p. 50–57. (In Russian)
- Vodjanickij Ju.N. Srodstvo tzhzhelyh metallov i metalloidov k fazam-nositeljam v pochvah [Affinity of heavy metals and metalloids to carrier phases in soils], *Agrohimiya*, 2008, no. 9, p. 87–94. (In Russian)
- Vodjanickij Ju.N., Vasil'ev A.A., Vlasov M.N. Hydrogenic heavy metal pollution of alluvial soils in the city of Perm, *Eurasian Soil Science*, 2008, no. 11, p. 1238–1246.
- Vodjanickij Ju.N., Vasil'ev A.A., Vlasov M.N., Korovushkin V.V. The role of iron compounds in fixing heavy metals and arsenic in alluvial and soddy-podzolic soils in the Perm area, *Eurasian Soil Science*, 2009, no. 7, p. 738–749.

Received 10.11.2023

Revised 15.05.2024

Accepted 26.06.2024

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 911.2:004.932(571.54)

МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОСИСТЕМ

А.К. Черкашин¹, Е.А. Распутина²

^{1,2} *Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, лаборатория теоретической географии*

¹ *Профессор, гл. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: akcherk@irnok.net*

² *Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: elenarasputa@yandex.ru*

Важное направление ландшафтных исследований – разработка новых методов количественного анализа пространственной информации на развивающейся теоретической основе, в данном случае – теории сложных геосистем-комплексов, их моделей линейной упорядоченности и связности различных частей территориального целого. Метод основан на процедурах касательного расслоения геосистемных функций связи географических характеристик и их преобразовании, позволяющем выделять генетическую основу (геоном) ландшафтной структуры и организации по космическим снимкам. Растровые геоизображения развертываются в линейную последовательность пикселей, и проводится расчет линейной зависимости значений яркости этих элементов в разных каналах снимка методом скользящей регрессии. Выделен геоном и проведено растровое картографирование коэффициентов регрессии как параметров порядка горных ландшафтов южного макросклона Тункинских гольцов Восточного Саяна. Вычисленная по пространственным данным многолучевая функция геонома отображает скрытую сущность исходного геоизображения, которое может быть восстановлено по этой функции с 88%-ной точностью. Каждый луч выделяет геоном соответствующего геомера, по которому появляется возможность сравнивать и типизировать геосистемы, а также проследить их пространственную и временную изменчивость. Высокие значения параметров порядка связности относятся к геосистемам высокогорья, северных склонов и речных долин, а также они выделяют точечные границы ядер геомеров и линеаменты территориальной структуры.

Ключевые слова: модели сложных геосистем, геосистемные функции, касательное расслоение, параметры порядка, обработка растровых геоизображений, Восточный Саян

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.4

ВВЕДЕНИЕ

Система – это множество элементов и множество связей элементов; в зависимости от свойств элементов и их связей формируются системы различного рода, что определяет их пространственное и содержательное разнообразие. Причем не так сложно определить элементный состав, сколько выявить структуру связей системы, воспринимаемую как организацию, что постоянно отмечалось в работах многих российских физикогеографов (Л.С. Берг, Н.А. Солнцев, Л.Д. Арманд, А.Д. Арманд, А.Г. Исаченко, Н.Ф. Глазовский, Ю.Г. Пузаченко, Э.Г. Коломыц, В.С. Преображенский и др.). Так, В.Б. Сочава считал, что «предметом физической географии... являются не столько компоненты природы сами по себе, сколько присущие им связи, посредством которых формируются соподчиненные друг другу целостности – геосистемы» [1978, с. 49]. В.Н. Солн-

цев понимал ландшафтную структуру территории как определенный способ функциональной взаимосвязи (структуры связи) геокомпонентов и геокомплексов [Солнцев, 1981; Макунина, 2010].

Для решения подобных задач необходим переход от качественного понимания связей к их количественному выражению с использованием полевых и дистанционных данных [Хорошев и др., 2006; Хорошев, 2016; Remote Sensing..., 2016]. Для установления характера связей обычно используют методы многомерной статистики, включая множественный корреляционный, регрессионный, факторный, дискриминантный, нейросетевой, генетический и другие виды пространственного линейного анализа. В частности, проводится сопряженный среднemasштабный анализ характеристик комплексных полевых описаний с мультиспектральными спутниковыми снимками и характеристиками рельефа [Козлов и др., 2008].

Ландшафтная структура территории понимается как определенный способ функциональной взаимосвязи (структуры связи, организации) разнокачественных компонентов и геокомплексов (ПТК и ТПК), что моделируются как сложные геосистемы-комплексы порядка и связности [Черкашин, 2005; Истомина, Черкашин, 2005; Гомология..., 2009]. Показано, что интертеория¹ комплексов включает также знания о лингвистических и технических системах, основана на принципах расслоения признаков и физических пространств методами дифференциальной геометрии, изучает структуры линейного порядка, отраженные в свойствах числовых рядов [Черкашин, 2022]. Для оценки индексов порядка используются величины, значения которых определяются параметрами внешней и внутренней среды геокомплексов, которые рассчитываются с помощью регрессионных уравнений [Черкашин, Распутина, 2022].

Возникает проблема формальной и содержательной интерпретации выявленных статистических закономерностей, объяснения и понимания скрытых в них зависимостей, основываясь на математических знаниях, для обоснованной обработки рядов пространственно-временных данных и тематического картографирования выделенных связей.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сложное качество связности определяет свойства геосистем увязывать элементы между собой, отражает разнообразие (полиструктуру) видов связей и выражает степень сцепления элементов и систем. Понятие «связность» широко используется в разных науках, что позволяет путем сравнения выявить его смысл и применять в практике моделирования и количественного анализа. Говорят о связности изображения, изложения речи или текста, связности природных материалов, географических положений, исторических событий, членов сообщества, т. е. некоторой последовательности элементов или блоков-модулей, переходящих один в другой. Связность раскрывается через такие качества как прочность материала, неразрывность потоков, причинно-следственная зависимость, транспортная инфраструктура страны, сетевая коммуникация. Наглядно связность проявляется в структуре текста: логическая организация текста обеспечивается его логико-семантическими отношениями между частями предложения, высказываниями или более

крупными фрагментами текста, например, абзацами – группировками однородных единиц изложения, исчерпывающих один из его моментов (композиционный, сюжетно-тематический, ритмический и т. д.) и усиливающий его смысловой акцент. Выделяется группа мереологических логико-семантических отношений, в основе которых лежит операция соотнесения общего и частного, элементов и множеств, представленная в отношениях генерализации, спецификации, исключения и аддитивности, контрастивного описания показателей [Инькова, Манзотти, 2019]. Это закономерно проявляется при комплексном текстовом и картографическом описании ландшафтов с выделением территориальных контрастов, выраженных в геоморфологических, гидрологических и термических различиях, зональных и азональных характеристиках и т. д. Разрабатываются методы адекватного «прочтения» ландшафтов [Yarham, 2018].

Простой топологической моделью системы является граф, в котором вершины (точки) соответствуют элементам, а связи передаются линиями (ребрами), соединяющими вершины. По графу создается соответствующая математическая модель, описывающая процессы и явления в исследуемой системе. Общая теория систем [Волкова, Денисов, 2005] выделяет особенности систем, выраженные в наличии: 1) набора элементов; 2) связей между ними; 3) целостности структуры; 4) пространственно-временной организации; 5) интегративных свойств. Связность графа-системы – это наличие пути от любой вершины к любой другой, от одного подмножества вершин к любому другому. Путь – это простейший граф в виде линейной последовательности вершин и соединяющих их ребер. Непрерывное топологическое пространство линейно связано, если две его любые точки можно соединить непрерывной кривой линией (путем). Поле ареалов ландшафтно-типологических геосистем-геомеров непрерывно связано отношением соседства (границами). Удаление границ делает типологическое пространство несвязанным, расслоенным на ареалы (компоненты связности). Графической моделью организации территории является граф соседства ареалов геосистем (слоев, модулей) с внутренним качеством пространственной связности.

Различаются связанность (coupling) и связность (cohesion), что используются при проектировании программных комплексов, но применимы и при синтезе любых сложных систем. Связность характеризует внутреннюю целостность программного модуля, когда он выполняет соответствующие целевые функции. Связанность (зацепление) модулей определяет их внешнюю зависимость, и необходимо стремиться, чтобы модули имели минимальную

¹ Интертеория – сквозная теория, в единых понятиях описывающая географические и иные объекты как системы определенного рода (динамические, сложные, функциональные и др.), проявляющиеся в объектах природы, хозяйства и населения территории.

связанность, были максимально независимы, что достигается их декомпозицией, *расслоением* на независимые блоки (компоненты связности). Связанность характеризует систему, а связность – ее отдельный модуль: в географии это соответствует геохорам и геомерам, или поли- и моногеосистемам. Каждый гемер, как функционально-гомогенное образование, реализует в своих границах слаженный набор особых геосистемных функций, объединенных свойственным гемеру природным режимом. В гетерогенной геохоре (отдельном районе) гемеры сцеплены границами и обладают связанностью через эти границы вещественными, энергетическими и информационными потоками. На границах связность преломляется – один тип функции связи (гемер) переходит в другой, что фиксируется статистически [Истомина, Черкашин, 2013].

Графоаналитическая модель топологии инфраструктуры транспортной и телекоммуникационной сетей отображает связность и связанность городов и районов как качество взаимной транспортной и информационной доступности [Авдеев, Яблонский, 2022; Mогозов et al., 2023]. Аналогично геоэкологический каркас территории [Комиссарова и др., 2013] обеспечивает внутреннюю и внешнюю целостность ландшафтов, сохранение и неразрывность физических и биотических потоков по геологическим разломам (линеаментам, руслам), уклонам местности и градиентам плотности распределения элементов геосистем с учетом пропускной способности местных «каналов связи».

В общем виде связность формализуется в терминах расслоения дискретных множеств и многомерных непрерывных пространств на *непересекающиеся множества* (независимые слои) [Черкашин, 2005; Bittner, 2017]. Расслоением (fiber bundle) называется структура (E, B, π, T) , где E, B и T – топологические пространства (E – множество (пространство) расслоения, B – база расслоения, T – типовой слой), а $\pi: E \rightarrow B$ – отображение, удовлетворяющее условию тривиальности, когда для каждого элемента $e \in E$ имеется окрестность $U \subset B$ точки $\pi(e) \subset U$ такой, что существует обратное отображение $\sigma: \pi^{-1}(U) \rightarrow U \cdot T$. Сечение $\sigma: B \rightarrow E$ превращает множество E в расслоенное пространство $TE = B \cdot F$ (прямое, декартово произведение) непересекающихся слоев $TE = \{T_b\}$, где каждый слой T_b связан с элементом $b \in B$ базы расслоения B и похож на типовой слой T : $TE = B \cdot T$ – расслоенное пространство над базой B . Операция расслоения напоминает процедуру картографической дифференциации территории на однородные ареалы, когда база расслоения B соответствует легенде ее карты E , в которой каждая позиция легенды $b \in B$ «высвечивает» $\sigma: B \rightarrow E$ ареалы геомеров T_b определенного типа b .

Типовой слой T ландшафтов обычно представляет ареалы геомеров зонального типа, вариациями которого являются азональные геомеры одного типа природной среды. Таким образом, тривиализация территории $TE = B \cdot T$ – это геохора, что включает геомеры $T \rightarrow T_b$ разных видов $b \in B$, встречающихся на местности.

В дифференциальной геометрии расслоение пространства $X = \{X_i\}$ координат X_i осуществляется на каждой точке $x_0 = \{x_{0i}\} \in M \in X$ гладкого многообразия (поверхности) M как базы расслоения B в виде касательных плоскостей (слоев). Например, картографическое расслоение земной поверхности M и отображение ее на плоской карте $TX_b \rightarrow Y_j$ в окрестности $U_b \subset M$ разных пунктов $b(x_0)$ в виде атласа карт $Y = \{Y_j\}$, $Y = M \cdot Y_0$, где Y_0 – образец карты специального тематического содержания, на основании которой создаются все остальные карты Y_j и используются стандартные легенды, что позволяет однообразно воспроизводить и сравнивать карты различных территорий в соответствующем атласе. Обычно это ландшафтные карты или карты административного деления с фиксированной сеткой границ контуров – слоев территориального расслоения. Картографические слои различаются базами расслоения по географическому положению, тематическому содержанию, типологической принадлежности выделов и по многим другим базовым критериям.

В дифференциальной геометрии внутренняя, эндогенная *связность* $F(x)$ реализуется в границах слоя Y_j в виде векторов, касательных к точкам многообразия $M = F(x)$ (рис. 1). Внешняя связность возникает при *переносе касательных слоев* вдоль линии пути на поверхности многообразия $M = F(x)$. Такая связность сопоставляет геометрические образы Y_j (слои), относящиеся к различным точкам $x_{0j} = \{x_{0ji}\} \in M$ пространства X , а именно характеризует преобразование касательных пространств $Y_j \rightarrow Y_k$ от точки x_{0j} к точке x_{0k} . Например, аффинная связность определяется отображением касательных плоскостей, сравнением их по аффинным свойствам переноса, поворота и растяжения, в частности, при проектировании карт. Точка касания лежит как на поверхности многообразия M , так и в плоскости слоя, тем самым определяя специфику соответствующего слоя его положением на M . Сопоставление слоев обосновывается наличием в каждом слое образа инвариантного начала (типового слоя).

Так, межфациальное различие и сходство выражается через подобие функций внутренней связности геокомплексов, например, их средоформирующей роли в горных ландшафтах, локально выполняющих охранную, защитную, водорегулирующую, стокоформирующую и другие функции, что

отражают причинно-следственные связи и особенности реакции на влияние факторов и условий. Типовым слоем (эталоном) функционирования являются коренные геосистемы, выложенные участки которых встречаются на плакорах, террасах и иных

равнинных территориях. Формально получается так, что одни и те уравнения $f(y)$ сквозным образом описывают различные зависимости, аффинно-эквивалентные по масштабу проявления и местоположению (см. рис. 1).

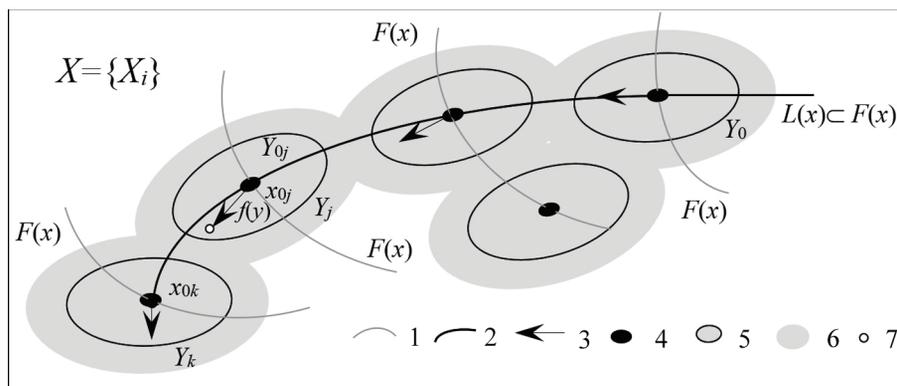


Рис. 1. Расслоение и внешняя связность при сравнении касательных слоев Y_j (геомеров) вдоль линии пути-маршрута $L(x)$ на поверхности многообразия $M = F(x)$: 1 – поверхность многообразия связей $M = F(x)$ (геосистемной функции) в пространстве координат $X = \{X_i\}$; 2 – линия пути $L(x)$ на $F(x)$; 3 – векторы-румбы a направления внутренней связности геосистемных признаков $x \in X$ в слое Y_j ; 4 – центр слоя Y_j (точки касания многообразия $F(x)$ с координатами $x_{0j} = \{x_{0ij}\}$ ($j = 0, 1, \dots, k$)); 5 – пространство ядра Y_{0j} касательного слоя Y_j с внешней границей; 6 – экстерриториальное влияние касательного слоя Y_j ; 7 – текущая связность геосистемы с интегральной характеристикой $f(y) = F(x) - F(x_{0j})$

Fig. 1. Stratification and external connectivity (cohesion) when comparing tangent layers (fibers) Y_j (geomers) along a path-route line $L(x)$ on the surface of a manifold $M = F(x)$: 1 – the surface of link manifold $M = F(x)$ (geosystem function) in the coordinate space $X = \{X_i\}$; 2 – the path line $L(x)$ on $F(x)$; 3 – the rhumb vectors a of the direction of internal cohesion of geosystem features $x \in X$ in layer Y_j ; 4 – the center of Y_j layer (points of contact of the $F(x)$ manifold) with coordinates $x_{0j} = \{x_{0ij}\}$ ($j = 0, 1, \dots, k$); 5 – the core space Y_{0j} of the tangent layer Y_j with an external boundary; 6 – the extraterritorial influence of the tangent layer Y_j ; 7 – the current cohesion in the geosystem with an integral characteristic $f(y) = F(x) - F(x_{0j})$

Сравнительно-географическая *связанность* основана на пограничном сцеплении разных состояний (слоев) геосистем различных местоположений. Связанность напоминает поезд – железнодорожный состав из нескольких сцепленных вагонов, или навигатор, указывающий порядок действий, управляя движением от места к месту, или процедуру логического вывода знаний, или траекторию решения дифференциального уравнения с начальным условием (состоянием) Y_0 . Слабая связанность (зависимость, зацепленность) предполагает высокое сходство слоев через аффинную связность (тождество противоположностей) $Y_j \leftrightarrow Y_k$ (см. рис. 1).

Такие закономерности объясняются средствами математического пространственного анализа. Наблюдаемая геосистемная зависимость $F(x)$ является функцией многих переменных $x = \{x_i\}$ ($i = 1, 2, \dots, n$) многомерного пространства $X = \{X_i\}$ координат X_i , где значение $x_i \in X_i$. Пространство X может быть представлено параметрами физического четырехмерного пространства-времени объектов на территории или признакового пространства измеряемых показателей объектов, географически координиро-

ванных. Неизвестная (выпуклая и замкнутая) функция $F(x)$ описывается с помощью касательного преобразования Лежандра $F(x) \otimes F^*(a)$ [Июффе, Тихомиров, 1968]

$$F(x) = a \cdot x + F^*(a) = \sum_{i=1}^n a_i x_i + F^*(a), \tag{1}$$

$$a_i = \frac{\partial F(x)}{\partial x_i}, \quad x_i = -\frac{\partial F^*(a)}{\partial a_i},$$

где $x = \{x_i\}$, $a = \{a_i\}$ – два независимых набора (вектора) переменных; a_i – коэффициент чувствительности изменения функции $F(x)$ при единичном изменении аргумента x_i . Если функции $F_1(x)$ и $F_2(x)$ описывают измеренные в поле состояния разных ландшафтных компонентов $x = \{x_i\}$, то связанность этих состояний оценивается по модулю значения определителя матрицы Якоби, состоящего из коэффициентов $a = \{a_i\}$ [Истомина, Черкашин, 2013; Черкашин, Распутина, 2022].

В координатах местоположения переменная a_i называется компонентом градиента по фактору x_i , из которых складывается вектор a – градиент функции $F(x)$:

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \nabla F(x) = \text{grad } F(x) = \\ &= a_1 \mathbf{i}_1 + a_2 \mathbf{i}_2 + a_3 \mathbf{i}_3 + \dots + a_n \mathbf{i}_n = \sum_{i=1}^n \frac{\partial F(x)}{\partial x_i} \mathbf{i}_i, \quad (2) \end{aligned}$$

где \mathbf{i}_i – единичные векторы (орты) векторного пространства. Векторы $\mathbf{a}(x)$ определены в каждой точке x и каждом слое Y_j географического пространства X (см. рис. 1), формируя градиентное географическое поле, организующее возможные направления и интенсивности естественных процессов, например, поверхностный сток по градиенту высоты рельефа.

Двойственная функция $F^*(a)$ в соотношениях (1) – это нижняя грань величины $F(x) - a \cdot x$, показывающая насколько реальное значение $F(x)$ отличается от значения касательной плоскости $a \cdot x$, поэтому, с одной стороны, минимум функции $F^*(a)$ указывает на лучшие условия функционирования, а с другой – индексирует слой среди остальных слоев, позволяет их сравнивать по оптимальности. Выражение (1) при постоянном $F^*(a)$ называется аффинной функцией $F(x)$, аффинное преобразование (связность) которой переводит одну такую функцию в другую.

Г. Хакен [2003] ввел представление о параметрах порядка системы – небольшом числе независимых переменных, определяющих наблюдаемое разнообразие состояний функциональных переменных системы. В общем случае порядок для каждого геосистемного показателя задается соответствующей геосистемной функцией $F(x)$ и производными от нее характеристиками по слоям, соответствующим ареалам геоморфов ландшафта с индивидуальным природным режимом. Градиентные поля \mathbf{a} (2) скалярных (потенциальных) полей $F(x)$ эмпирических значений структурообразующих параметров геопространства являются мерами параметров порядка, порождающих географические структуры (паттерны) ландшафта [Варшанина и др., 2013]. Румб градиента \mathbf{a} указывает на направление локального движения геосистемных элементов, а его величина – фиксирует скорость и знак вертикальных и горизонтальных изменений состояний в условиях местной географической среды (см. рис. 1).

Функция (1) позволяет вычислять интегральную характеристику ландшафта по частным показателям $x = \{x_j\}$, что обеспечивает охват всего разнообразия территориальных межкомпонентных взаимодействий на соответствующем уровне организации (в слое). Эта функция включает вектор параметров порядка \mathbf{a} и радиус-вектор \mathbf{x} значений компонентов геосистем $F(x) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{x} + F^*(a)$ при входных значениях $x_0 = \{x_{0i}\}$ и определенном внутреннем воздействии $F^*(a)$. В качестве точки x_0 справедливо принять точку касания $x_0 = \{x_{0i}\}$ j -го слоя на поверхности многообразия со значением $F(x_0) = F_0$. В этом случае

$$F_0 = \mathbf{a} \cdot \mathbf{x}_0 + F^*(a), F^*(a) = F_0 - \mathbf{a} \cdot \mathbf{x}_0, \quad (3)$$

т.е. $F^*(a)$ должно линейно определяться значениями чувствительности $a = \{a_i\}$, что может служить критерием принадлежности $F(x)$ к зависимости (1). Вычитая (3) из (1), получаем

$$F(x) - F_0 = \mathbf{a} \cdot (\mathbf{x} - \mathbf{x}_0), \text{ или } f(y) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y}, \quad (4)$$

где $f(y) = F(x) - F_0$ – относительное значение функции $F(x)$; $\mathbf{y} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_0$ – смещенные значения аргументов $x = \{x_j\}$. Скалярное произведение $f(y) = \mathbf{a} \cdot \mathbf{y}$ – универсальное уравнение, не зависящее от специфических параметров x_0 и F_0 слоя, определяется параметрами порядка (компонентами a_i вектора \mathbf{a}) и величиной компонентов $\mathbf{y} = \{y_i\}$ радиуса-вектора относительных координат \mathbf{y} с центром в точке x_0 (см. рис. 1). Наличие и выделение универсальной функции $f(y)$ как раз и становится основанием для послыонного внешнего, экзогенного сравнения (связности) и суждения о возможности единого ландшафтного поля Земли [Гомология..., 2009; Истомина, Черкашин, 2013].

Допускается обратное преобразование $F^*(a) \rightarrow F(x)$, т.е. если известна внутренняя структура чувствительности, задаваемая параметрами порядка $F^*(a)$, то имеется шанс восстановить реальную картину полей и их связи на изображениях $F(x)$, а также типизировать участки связности по характеру взаимодействия $F^*(a)$. Таким образом, функция $F^*(a)$ отражает внутреннюю, генетическую структуру геосистемы – *генотип ландшафта*, его *геоном*. Изменение геонома $F^*(a)$ в пространстве параметров порядка a в итоге соответствует эволюции (генезису) ландшафта $F^*(a) \rightarrow F(x)$, что описывается неизвестной функцией или дается графическим изображением $F(x)$.

Функция $f(y)$ согласно соотношениям (1) задается дифференциальным уравнением Эйлера

$$f(y) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial y_i} y_i, \quad a_i = \frac{\partial f}{\partial y_i}, \quad (5)$$

что с использованием оператора набла ∇ (см. формулу (2)) кратко записывается уравнением положительной обратной связи $f(y) = \nabla f(y)$, подчеркивающей самоорганизацию геосистемы – формирование ее на своей собственной основе. Уравнение (5) удовлетворяет функциям $f(y)$ различных финслеровых метрик типа евклидова расстояния между пространственными единицами [Mogozov et al., 2023], т.е. от точки x до точки x_0 , что позволяет использовать $f(y)$ в качестве интегрального показателя связности геосистемы.

Каждому типу геосистемы свойствен свой режим функционирования $\{f(y)\}$ – множества причин и порядков изменчивости элементарных геосистем. Полифункциональное преобразование $y \rightarrow f(y)$ можно

трактовать как замену координат, например, отражение свойств компонентов геосистем y в яркости разных каналов дистанционной съемки и, наоборот, зависимости характеристик полевых описаний $f(y)$ от мультиспектральной дистанционной информации $y = \{y_i\}$. Такая зависимость строго реализуется по теореме Бине–Коши для определителей чувствительности преобразований индикаторов y в индикаты их связи $f(y)$ – через последовательный перенос геоинформации одного слоя в другой, что можно использовать для идентификации по космическим снимкам связности натуральных компонентов наблюдаемых геосистем [Гомология..., 2009, с. 134–135].

Исследование пространственного распределения полевых характеристик позволяет выделить на территории однородные участки по каждой величине $f(y)$, когда в окрестности каждой точки x_0 значение $f(y)$ относительно постоянно $f(y) = f_0$. Примерно такое представление о постоянстве компонентных признаков лежит в основе понимания гомогенных природных ареалов – геомеров разной размерности [Сочава, 1978]. В таком случае появляется возможность выразить одну независимую величину через другие:

$$y_j = \sum_{i=1}^n a_{ij} y_i = - \sum_{i=1}^n \frac{\partial y_j}{\partial y_i} y_i,$$

$$a_{ij} = - \frac{\partial y_j}{\partial y_i} = \frac{\partial f(y)}{\partial y_i} / \frac{\partial f(y)}{\partial y_j} = a_i / a_j, i \neq j. \quad (6)$$

Здесь $a_{ij} = a_i / a_j$ – коэффициент замещения одной переменной y_i на другую y_j при сохранении неизменной оценочной функции $f(y) = f_0$, что подразумевается для гомогенных геосистем. Для пары переменных будет $y_j = a_{ij} y_i$, например, $y_2 = a_{12} y_1$. В исходных переменных x_1 и x_2 тогда получается

$$x_2 - x_{02} = a(x_1 - x_{01}), \text{ или}$$

$$x_2 = ax_1 - ax_{01} + x_{02} = ax_1 + b, b = -ax_{01} + x_{02}. \quad (7)$$

Важно, что внутренняя связность независимых аргументов вида (6) и (7) справедлива для всех компонентных характеристик геосистем $f(y)$ при принятом предположении их постоянства $f(y) = f_0$ в границах слоев – ареалов геомеров. Это позволяет по парным и множественным связям (6) и (7) показателей разных каналов дистанционной съемки выделять границы этих ареалов и локально характеризовать особенности их параметров порядка a и оптимальности функционирования b . Для этого проводится локальный регрессионный анализ данных согласно формуле (7) $x_2 = ax_1 + b$ с последующим выделением однородной области корреляции коэффициентов $b = -ax_{01} + x_{02}$ с оценкой локальных характеристик ареала x_{01} и x_{02} (для случая парного

сравнения). По последней формуле получается, чем выше параметр порядка a , тем оптимальней природный режим функционирования. Переход величины a в отрицательную область ($a < 0$) дает прирост b , что указывает на проблемные ситуации (серийные и пограничные состояния).

В итоге на основе математических построений появляется возможность на растровом снимке попиксельно статистически обработать и типизировать участки территории по градациям однородности и связности и отобразить результаты на геоизображениях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве объекта исследования выбран участок $1,7 \times 2,6$ км² территории Тункинской межгорной котловины, включающий южный макросклон хр. Тункинские гольцы Восточного Саяна северной пос. Аршан, где расположены стационар Института географии имени В.Б. Сочавы СО РАН и учебно-научная база географического факультета Иркутского государственного университета. Территория характеризуется большим разнообразием ландшафтов от гольцовых и горнотаежных до подгорных геомов с проявлениями опасных экзогенных процессов и антропогенного влияния. В область исследования попадают литоморфные гольцовые геомы и подгольцовые кедрово- и лиственнично-редколесные, горнотаежные сосново-лиственничные леса с кедром, а также подгорные лиственнично-кедровые и сосновые леса геомеров уровня геомов и классов фаций [Истомина, 2012]. Выбор объекта определен его доступностью, хорошей инструментальной и картографической изученностью, наличием большого объема натуральных данных и данных ДЗЗ для сравнительно-географического анализа.

Использовались космические снимки программы Copernicus Sentinel-2 (20.09.2021, разрешение 10 м) разных спектральных каналов. Для сравнительного анализа привлекались те из них, которые в целом на изображении наименее коррелированы, т. е. демонстрируют специфическую информацию. Для работы выделены каналы В2 (синий) и В3 (зеленый), преимущественно отражающие характеристики растительного покрова. При этом под значениями x яркости пикселей растровых снимков обоснованно понимаются агрегированные показатели – функции разных биотических свойств, комплексно индицирующих влияние всех компонентов геосистем [Гомология..., 2009; Истомина, Черкашин, 2013].

Для обработки пространственной информации предлагаемым методом необходимо, чтобы данные, как в случае временных серий наблюдений,

формировали непрерывный ряд, для чего значения яркости пикселей снимались с растрового снимка каждого канала построчно сверху вниз по схеме бустрофедона (шага быка при вспашке поля), когда первая строка считывается слева направо, вторая – справа налево и т. д. По сути, речь идет о неразрывном сканировании растрового снимка. Таким образом на плоском изображении формируется линейный порядок (ЛП) в виде функции $F(x)$ связи показателей яркости, для которой выявляется локальная внутренняя связность однородных ареалов и межареальная переходная связанность. Результаты обработки обратно свертываются в плоское геоизображение, когда соседние в разных линиях значения пикселей находятся рядом, как и на исходном изображении.

Пространственная серия ЛП формировалась на основе атрибутивной базы данных ГИС цифровых снимков территории. Для статистической обработки использовалась программа для работы с электронными таблицами Microsoft Excel, удобная для научного анализа информации, хотя для массового использования метода необходимо специальное программное обеспечение.

Исследовалась структура линейной связности $x_2 = ax_1 + b$ значений В2(x_2) и В3(x_1) в рядах ЛП

методом скользящей регрессии по пяти точкам с определением коэффициентов a и b и их зависимости $b(a) = -ax_{01} + x_{02}$, где (x_{01}, x_{02}) соответствуют координатам центра пучка функционально однородных данных (x_2, x_1) . Однородность изображений участков тестировалась по линейности связности параметров порядка $b(a)$ (рис. 2А). Зависимость $b(a)$ – эмпирический аналог функции $b(a) = F^*(a)$ – генетической основы (геонома) ландшафтной функции $F(x) = x_2(x_1)$, представленной данными геоизображения в ЛП. Для горно-таежных геосистем в верховьях р. Кынгарги зависимость была $b(a) = -1542a + 648$ с индикаторами типа геомера $x_{01} = 1542$, $x_{02} = 648$ ($R = -0,96$). На всей территории проявился многолучевой пучок линейных связей $b(a)$ (см. рис. 2Б), различающихся положением центра пучка (слоя) с координатами (x_{01}, x_{02}) . Отдельная ветвь (луч) функции $F^*(a)$ соответствует разным геономам трех групп геомов: гольцовые, горнотаежные и подгорные (см. рис. 2Б). Геономный луч содержит географическую информацию, необходимую для построения и поддержания организации геосистемы определенного типа. В такой схеме генезис геосистем рассматривается как поворот лучей, т. е. переход от одних классов фаций к другим.

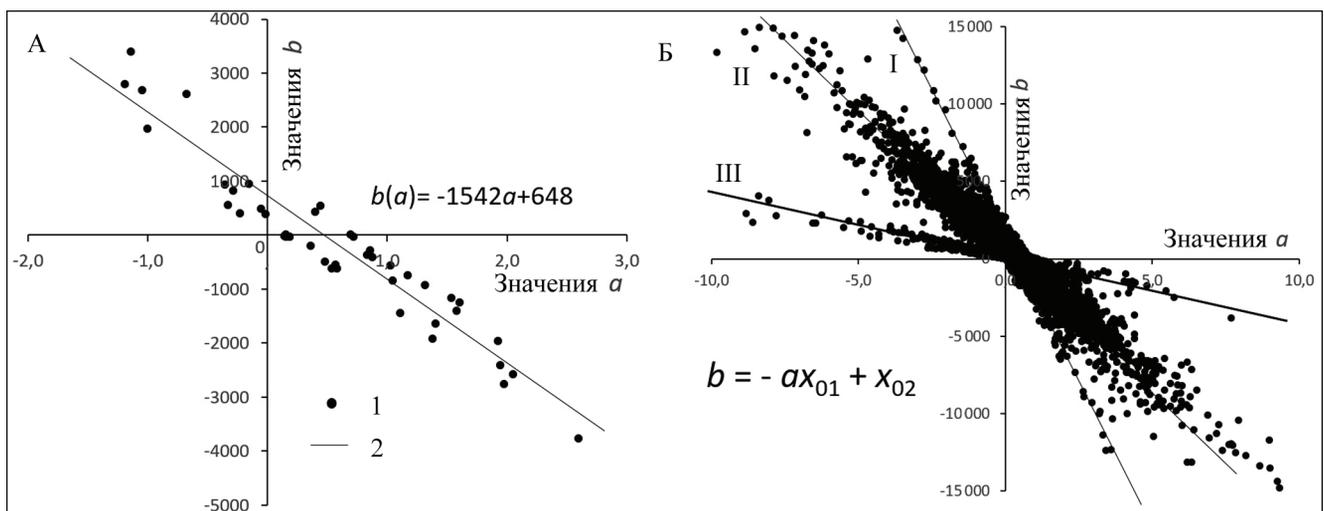


Рис. 2. Взаимодействие параметров порядка $b(a)$ для одного геомера (А) и всей ландшафтной территории (Б): 1 – результаты расчета по исходным данным; 2 – линейные зависимости $b(a) = -ax_{01} + x_{02}$. Группы геомов: I – гольцовые; II – горнотаежные; III – подгорные

Fig. 2. Interaction of parameters of the $b(a)$ order for one geomer (A) and the entire landscape area (B). Symbols: 1 – calculation results based on initial data; 2 – linear dependencies $b(a) = -ax_{01} + x_{02}$. Groups of geomers: I – alpine mountain (goletzes); II – mountain taiga; III – submountain

Координаты центров пучков (x_{01}, x_{02}) связаны формулой $x_{02}(x_{01}) = ax_{01} + b_0$ с коэффициентами $a_0 = 0,35$ и $b_0 = -268,7$ ($R = 0,98$). Схема эмпирической функции $F^*(a) = b(a)$ представлена на рис. 3 в виде директри-

сы $x_{02}(x_{01})$ связности центров (x_{01}, x_{02}) пучков локальных зависимостей $F(x) = x_2(x_1) = ax_1 + b$ разной ориентации a (параметров порядка). Каждый пучок соответствует слою расслоения функции $F(x)$. Схе-

ма дает возможность продемонстрировать, как выглядит ландшафтная территория $F(x)$ в двойственном генетическом пространстве $F^*(a)$ и позволяет типизировать геосистемы по положению центра пучка связи, а также представить пространственную трансформацию ареалов типов по высотным градиентам и во времени, например, в виде пространственного и эволюционного перехода группы геомов в географическом цикле: I (гольцовые) \rightarrow II (горнотаежные) \rightarrow III (подгорные) (см. рис. 2Б и 3).

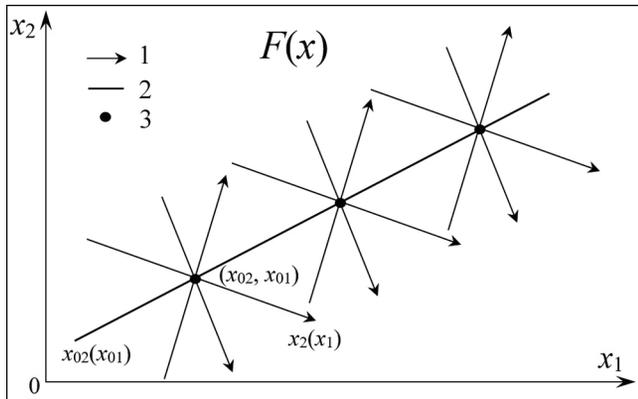


Рис. 3. Схема-модель послойного представления геосистемной функции – многообразия $F(x) = x_2(x_1)$ в пучках векторов линейной связности $x_2(x_1) = ax_1 + b$ (1), упорядоченных директрисой связности $x_{02}(x_{01}) = a_0x_{01} + b_0$ (2) по координатам центров (x_{02}, x_{01}) пучков (3)

Fig. 3. Scheme-model of fiber bundle representation of a geosystem function – manifold $F(x) = x_2(x_1)$ in sheaves of linear connectivity vectors $x_2(x_1) = ax_1 + b$ (1), ordered by the connective directrix $x_{02}(x_{01}) = a_0x_{01} + b_0$ (2) according to the coordinates of the sheaf centers (x_{02}, x_{01}) (3)

Внутри пучка зависимость $x_2 = ax_1 + b$ при известной связи коэффициентов $b = -ax_{01} + x_{02}$ приводится к виду $y_2 = ay_1$ в относительных переменных $y_2 = x_2 - x_{02}, y_1 = x_1 - x_{01}$, где a характеризует направление связности (параметр порядка), что изменяет $y_2 = \gamma ay_1$ от места a к месту $a' = \gamma a$ формально умножением на коэффициент ротации (кручения) $g = a'/a$. В пучке связей $y_2 = ay_1$ эта зависимость вращается, как стрелка компаса или флюгер, указывая на разные векторы a направления связности переменных x_2 и x_1 (см. рис. 3). Эта связность является однотипной для всех пучков (слоев связи) и варьирует кручением $y_2 = \gamma ay_1$ внутри слоя и трансформируется при переходе из слоя в слой при изменении положения центра пучка $x_{02}(x_{01})$. С помощью этих аффинных преобразований переноса центра и поворота линий обеспечивается внешне- и внутрифункциональная связность геосистем. Величиной $b = -ax_{01} + x_{02}$ все изменчивые параметры a, x_{01} ,

x_{02} объединяются в одном выражении и схеме (см. рис. 3), что позволяет сравнивать данные ЛП: как уже отмечено в комментарии к формуле (1), чем меньше $F^*(a) = b(a)$, тем совершенней организация геосистемы.

Геоизображение (рис. 4А) в переменных ЛП обрабатывалось по методу скользящей регрессии (с шагом 3) зависимости значений яркости пикселей двух каналов снимка $B2(x_2)$ от $B3(x_1)$. Результаты расчетов визуализировались по положению x в ЛП(x) и в свернутом виде плоского изображения.

Коэффициент корреляции R (см. рис. 4Б) указывает на степень и качество локальной связности $-1 \leq R \leq 1$ переменных $x_2(x_1)$. Сильная линейная зависимость соответствует интервалу $-0,6 \leq R \leq 0,6$, что на геоизображении прослеживается в виде черных точек границ геомов. Отрицательная корреляция $R \leq -0,6$ подчеркивает эти границы и выделяет участки межсклоновых понижений и речных долин. Положительные значения $R \geq 0,6$ определяют общий фон функциональной связности $x_2(x_1) = ax_1 + b$ геоконтекста, представленного одним пучком $y_2 = x_2 - x_{02} = a(x_1 - x_{01})$ однородного по положению центра (x_{02}, x_{01}) в признаковом пространстве (x_2, x_1) , но изменчивого по направлению влияния a (см. рис. 3).

В пространственных рядах ЛП(ξ) значения $a(\xi)$ имеют линейную тенденцию возрастания и снижения, что обусловлено особенностью формирования ЛП(ξ) по схеме бустрофедона, благодаря чему зависимость коэффициента ротации $\gamma(\xi)$ имеет циклический вид и формирует ячейки однородности связи вокруг координат центров (x_{02}, x_{01}) и линейные области $\gamma(\xi) \approx 1$ постоянства значения a размером примерно 100 м. На геоизображении (см. рис. 4В) фон определяется слабыми положительными или отрицательными значениями параметров порядка a в зависимости $x_2(x_1)$. Высокие значения $a \geq 0,6$ относятся к геосистемам высокогорья, северных склонов и речных долин. Высокие отрицательные значения $a \leq -0,36$, как правило, примыкают к положительным $a \geq 0,6$ в переходных зонах. Кроме того, оба варианта высокой связности на поле фоновых значений a выделяют границы контуров участков геомов класса фаций размером до 200 м. Таким образом, параметры порядка a подчеркивают границы геомов, а также оконтуривают участки вокруг водоразделов и тальвегов.

Геоизображение (см. рис. 4Г) геонимической величины $b(\xi)$ в силу локальной отрицательной зависимости коэффициентов $b = -ax_{01} + x_{02}$ инвертировано повторяет рис. 4В, но учитывает также координаты (x_{02}, x_{01}) типовых центров. Качественно лучшими являются местоположения с отрицательными значениями $b(\xi)$, занимающие большую часть

территории горного ландшафта. Максимальные положительные значения $b(\xi)$ относятся к долинам рек и северным склонам водосборов. Экстремальные значения $b(\xi)$ выделяют особые геоморфологические структуры – линеаменты и концентры, пространственно повторяющие структуру связности признаков (см. рис. 3). Диагональные территориальные структуры (линеаменты, разломы) проявляются

на уровне $b(\xi) < 287$. Концентры просматриваются как ядра геомеров [Истомина, 2012] и оконтуриваются пикселями со значениями $b(\xi) > 378$. Упорядоченность элементов геопространства подтверждается различными показателями (см. рис. 4Б–Г), что могут быть использованы в качестве информационной основы создания корреляционных карт [Сочава, 1978].

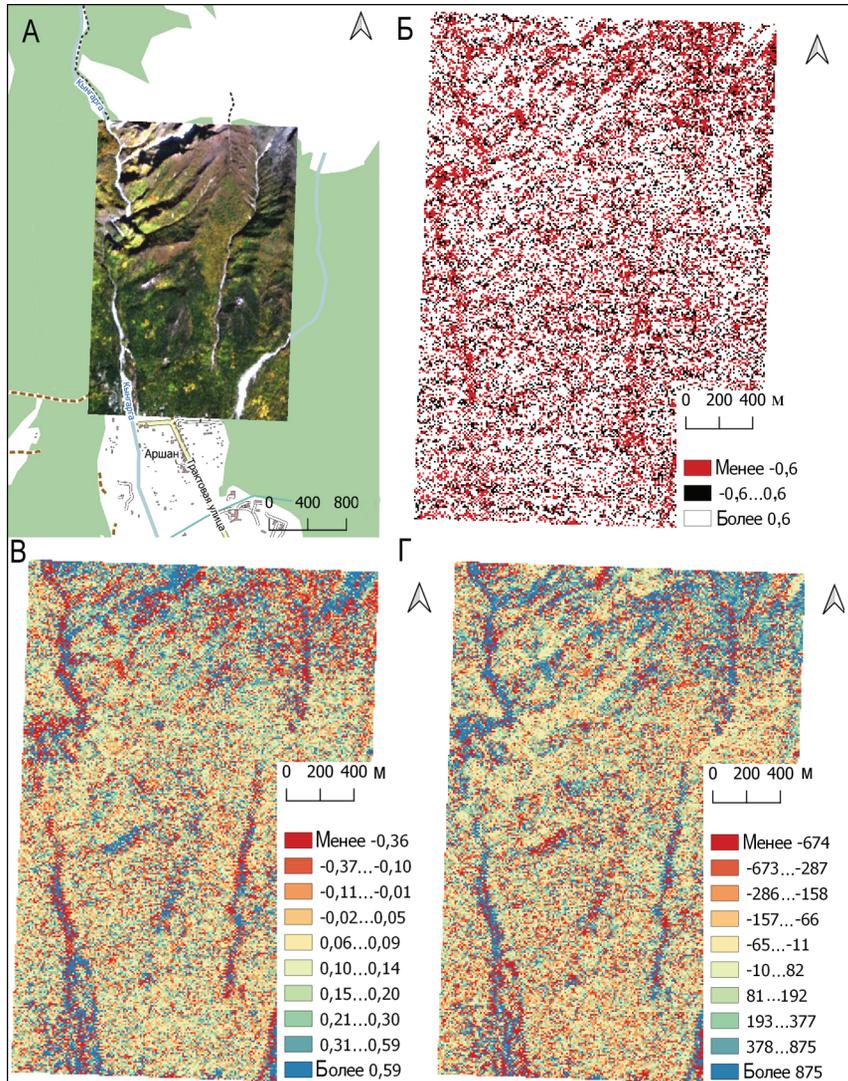


Рис. 4. Порядок статистического анализа геоизображения: А – фрагмент космического растрового снимка Sentinel-2 (сочетание каналов В4, В3, В2) окрестностей пос. Аршан на фоне топографической карты; Б – коэффициент корреляции R значений яркости пикселей снимка в каналах $B3(x_2)$ и $B2(x_1)$; В – значения коэффициента a ; Г – значения коэффициента b зависимости $x_2 = ax_1 + b$

Fig. 4. The order of statistical analysis of a geo-image: A – a fragment of the Sentinel-2 space raster image (combination of B4, B3, B2 channels) of the vicinity of the Arshan village against the topographic map background; B – the correlation coefficient R of the brightness values of pixels on the image in $B3(x_2)$ and $B2(x_1)$ channels; B – the values of a coefficient; Г – the values of b coefficient in the dependence $x_2 = ax_1 + b$

Тонкий количественный анализ растрового изображения на основе преобразования Лежандра $F(x) \rightarrow F^*(a)$ позволяет выявить и картографировать организацию пространства по многоканаль-

ному снимку в виде системы линейных функций $b(a) = F^*(a)$. Обработка данных подтверждает существования этих функций (геономов) ландшафта, по которым обратным статистическим преобразова-

ем $F^*(a) \rightarrow F(x)$ геоизображение восстанавливается с корреляцией исходных и восстановленных значений $F(x)$ на уровне $R = 0,88$.

ВЫВОДЫ

Ландшафтные закономерности проявляются в виде внутренней и внешней функциональной связности компонентов и геоконструктов и внешней потоковой инфраструктурной связанности разных геосистем. Для фиксации разного рода зависимостей используются данные натурных и дистанционных исследований, проводится их многомерный статистический анализ в территориальном и признаковом пространствах.

Вид функций зависимостей неизвестен, поэтому для обоснования ее локального представления используется математическое касательное преобразование Лежандра, статистически реализуемое средствами скользящего регрессионного анализа. Для обеспечения неразрывности обработки геоизображения, оно развертывается по схеме бустрофедона в линейные последовательности пиксельных данных (тексты), а результаты расчетов связности свертываются в производные изображения типа корреляционных растровых картограмм.

Принимается работающая гипотеза постоянства интегральных показателей связи компонентных признаков в границах гомогенных природных ареалов (геомеров), что позволяет исследовать структуру связности ландшафтного пространства по корреляционной зависимости яркостных характе-

ристик растровых космических снимков. Изучена связность значений яркости двух каналов В2 и В3 снимка южного макросклона хр. Тункинские гольцы (Восточный Саян).

Выявленная по данным многолучевая функция Лежандра отображает генетическую основу исходного геоизображения, которое может быть восстановлено по этой функции с 88%-ной точностью. Каждый луч выделяет геонмом соответствующего геомера, по которому появляется возможность сравнивать и типизировать геосистемы, а также проследивать их пространственную и временную изменчивость.

Коэффициенты локальных линейных взаимозависимостей значений яркости снимков разных каналов рассматриваются в качестве параметров порядка, что указывают на величину, направленность и качество связей в ландшафтной системе-комплексе. На производных геоизображениях высокие значения этих параметров относятся к геосистемам высокогорья, северных склонов и речных долин, а также они выделяют точечные границы ядер геомеров классов фаций и линеаменты территориальной структуры.

Дальнейшие исследования предполагают реализацию многомерного анализа связности дистанционных данных, интерпретацию результатов расчетов на местности с привязкой к типам геомеров и создание по этим результатам картографических произведений разного тематического содержания для разработки моделей пространственно-временной изменчивости геосистем.

Благодарность. Исследование выполнено за счет средств государственного задания (№ АААА-А21-121012190056-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авдеев В.А., Яблонский Л.И. Обеспечение геоинформационной связности территории на основе развития инфраструктуры пространственных данных // Вестник СГУГиТ. 2022. Т. 27. № 3. С. 30–39.
- Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Зорин В.П. и др. ГИСНИ самоорганизации геосистем // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». 2013. Вып. 19. Т. 1. С. 94–99.
- Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2005. 520 с.
- Гомология и гомотопия географических систем / под ред. А.К. Черкашина, Е.А. Истоминой. Новосибирск: Гео, 2009. 351 с.
- Инькова О., Манзотти Э. Связность текста. Мереологические логико-семантические отношения. М.: Языки славянской культуры, 2019. 376 с.
- Иоффе А.Д., Тихомиров В.М. Двойственность выпуклых функций и экстремальные задачи // УМН. 1968. Т. 23. Вып. 6. С. 51–116.
- Истомина Е.А. Геоинформационное картографирование ландшафтов Тункинской котловины на основе метода факторально-динамической классификации // Геодезия и картография. 2012. № 4. С. 32–39.
- Истомина Е.А., Черкашин А.К. Математические модели географического комплекса и их применение для анализа космической информации // Известия РАН. Сер. географическая. 2005. № 2. С. 103–113.
- Истомина Е.А., Черкашин А.К. Выделение границ функционально однородных ареалов на космических снимках на основе вычисления определителя Якоби // География и природные ресурсы. 2013. № 1. С. 157–165.
- Козлов Д.Н., Пузаченко М.Ю., Федяева М.В. и др. Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа // Известия РАН. Сер. географическая. 2008. № 4. С. 112–124.
- Комиссарова Т.С., Скупинова Е.А., Титова О.В. Геоэкологический каркас территории как пространственная

- совокупность геосистем разного типа // Вестник ЛГУ им. А.С. Пушкина. 2013. Т. 3. № 1. С. 7–17.
- Макунина Г.С. Три составляющие системной организации ландшафта в концепциях Ф.И. Козловского, А.А. Крауклиса и В.Н. Солнцева // География и природные ресурсы. 2010. № 1. С. 18–23.
- Солнцев В.Н. Системная организация ландшафтов (проблемы методологии и теории). М.: Мысль, 1981. 239 с.
- Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 318 с.
- Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: наука о взаимодействии. М.; Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2003. 320 с.
- Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 416 с.
- Хорошев А.В., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н. Современное состояние ландшафтной экологии // Известия РАН. Сер. географическая. 2006. № 5. С. 12–21.
- Черкашин А.К. Полисистемное моделирование. Новосибирск: Наука, 2005. 280 с.
- Черкашин А.К. Метатеоретическое семиотическое моделирование в науке и технике // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2022. № 2(26). С. 5–23.
- Черкашин А.К., Распутина Е.А. Комплексная география как направление теоретических исследований и моделирования // Географический вестник. 2022. № 1(60). С. 6–22.
- Bittner T. Towards a Quantum Theory of Geographic Fields, 13th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2017), Leibniz International Proceedings in Informatics, Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik, Dagstuhl Publishing, 2017, Article no. 5, p. 5:1–5:14.
- Morozov A.S., Kontsevik G.I., Shmeleva I.A. et al. Assessing the transport connectivity of urban territories, based on intermodal transport accessibility, *Frontiers in Built Environment*, 2023, vol. 9, DOI: 10.3389/fbuil.2023.1148708.
- Remote Sensing and GIS for Ecologists: Using Open Source Software*, M. Wegmann, B. Leutner, S. Dech (eds.), Pelegic Publishing Ltd, 2016, 352 p.
- Yarham R. *How to Read the Landscape*, A Crash Course in Interpreting the Great Outdoors, Ivy Press, 2018, 256 p.

Поступила в редакцию 20.01.2024

После доработки 04.03.2024

Принята к публикации 26.06.2024

MATHEMATICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF GEO-IMAGES FOR STUDYING THE SPATIAL ORGANIZATION OF GEOSYSTEMS

A.K. Cherkashin¹, E.A. Rasputina²

^{1,2} V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Laboratory of Theoretical Geography

¹ Professor, Chief Scientific Researcher, D. Sc. in Geography; e-mail: akcherk@irnok.net

² Senior Scientific Researcher, Ph. D. in Geography; e-mail: elenarasputa@yandex.ru

An important line of landscape studies is the development of new methods for quantitative analysis of spatial information basing on the progressing theoretical basis, here the theory of complex geosystems, their models of linear ordering and cohesion of various parts of a territorial entity. The method is based on the procedures of tangent stratification (fiber bundle) of geosystem functions of the connection of geographical characteristics and their transformation, which makes it possible to identify the genetic basis (geomere) of landscape structure and landscape organization based on space geo-images. Raster geo-images are deployed in a linear sequence, and the linear cohesion of the brightness values of different channels is calculated using the rolling regression method. A geomere has been identified and raster mapping of regression coefficients as parameters of the order of mountain landscapes of the southern macro-slope of the Tunka goletzy in the Eastern Sayan Mountains has been carried out. The multipath geomere function calculated from spatial data displays the hidden essence of the original geo-image, which can be restored with 88% accuracy using this function. Each path ray highlights a geomere of a corresponding geomere, according to which it becomes possible to compare and classify geosystems, as well as to trace their spatial and temporal variability. High values of the cohesion order parameters relate to the geosystems of highlands, northern slopes and river valleys; they also highlight the point boundaries of the geomere's cores and the lineaments of the territorial structure.

Keywords: models of complex geosystems, geosystem functions, tangent bundle, order parameters, processing of raster geo-images, Eastern Sayan

Acknowledgements. The study was carried out using the funds of the state task (state registration number of the topic AAAA21-121012190056-4).

REFERENCES

- Avdeev V.A., Yablonsky L.I. Obespechenie geoinformacionnoj svyaznosti territorii na osnove razvitiya infrastruktury prostranstvennykh dannykh [Ensuring geographic information connectivity of the territory based on the development of spatial data infrastructure], *Vestnik SGUGiT*, 2022, vol. 27, no. 3, p. 30–39. (In Russian)
- Bittner T. Towards a quantum theory of geographic fields, *13th International conference on spatial information theory (COSIT 2017). Leibniz International Proceedings in Informatics. Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik*, Dagstuhl Publishing, 2017, Article no. 5, p. 5:1–5:14.
- Cherkashin A.K. Metateoreticheskoe semioticheskoe modelirovanie v nauke i tekhnike [Metatheoretical semiotic modeling in science and technology], *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii*, 2022, no. 2(26), p. 5–23. (In Russian)
- Cherkashin A.K. *Polisistemnoe modelirovanie* [Polysystem modeling], Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 280 p. (In Russian)
- Cherkashin A.K., Rasputina E.A. Kompleksnaya geografiya kak napravlenie teoreticheskikh issledovanij i modelirovaniya [Integrated geography as a field of theoretical research and modeling], *Geograficheskij vestnik*, 2022, no. 1(60), p. 6–22, DOI: 10.17072/2079-7877-2022-1-6-22. (In Russian)
- Gomologiya i gomotopiya geograficheskikh sistem* [Homology and homotopy of geographical systems], A.K. Cherkashin, E.A. Istomina (eds.), Novosibirsk, Geo Publ., 2009, 351 p. (In Russian)
- Haken H. *Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik – Die Lehre vom Zusammenwirken*, DVA, 1981.
- In'kova O., Manzotti Je. *Svyaznost' teksta. Mereologicheskie logiko-semanticheskie otnosheniya* [The cohesion of text. Mereological logical-semantic relations], Moscow, Jazyki slavjanskoj kul'tury Publ., 2019, 376 p. (In Russian)
- Ioffe A.D., Tihomirov V.M. Dvoystvennost' vypuklykh funktsij i ekstremal'nye zadachi [The duality of convex functions and extreme problems], *Uspekhi matematicheskikh nauk*, 1968, vol. 23, iss. 6, p. 51–116. (In Russian)
- Istomina E.A. Geoinformatsionnoe kartografirovanie landshaftov Tunkinskoj kotloviny na osnove metoda faktoral'no-dinamicheskij klassifikatsii [Geoinformation mapping of the Tunka basin landscapes based on the method of factorial-dynamic classification], *Geodezy and Cartography*, 2012, no. 4, p. 32–39. (In Russian)
- Istomina E.A., Cherkashin A.K. Identifying the boundaries of functionally homogeneous areas in space images from a calculation of the Jacobian determinant, *Geography and Natural Resources*, 2013, vol. 34, no. 1, p. 88–95.
- Istomina E.A., Cherkashin A.K. Matematicheskie modeli geograficheskogo kompleksa i ikh primenenie dlya analiza kosmicheskij informatsii [Mathematical models of a geographical complex and their application for the analysis of space information], *Izvestiya RAN, Ser. geogr.*, 2005, no. 2, p. 103–113. (In Russian)
- Khoroshev A.V. *Polimasshtabnaya organizatsiya geograficheskogo landshafta* [Multi-scale organization of a geographical landscape], Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdanij KMK Publ., 2016, 416 p. (In Russian)
- Khoroshev A.V., Puzachenko Yu.G., D'yakov K.N. Sovremennoe sostoyanie landshaftnoj ekologii [The current state of landscape ecology], *Izvestiya RAN, Ser. geogr.*, 2006, no. 5, p. 12–21. (In Russian)
- Komissarova T.S., Skupinova E.A., Titova O.V. Geoekologicheskij karkas territorii kak prostranstvennaya sovkupnost' geosistem raznogo tipa [The geoecological framework of the territory as a spatial set of geosystems of different types], *Vestnik LGU im. A.S. Pushkina*, 2013, vol. 3, no. 1, p. 7–17. (In Russian)
- Kozlov D.N., Puzachenko M.Yu., Fedyayeva M.V., Puzachenko Yu.G. Otobrazhenie prostranstvennogo var'irovaniya svoystv landshaftnogo pokrova na osnove distantsionnoj informatsii i tsifrovoy modeli rel'efa [Displaying spatial variation of landscape cover properties based on remote information and a digital relief model], *Izvestiya RAN, Ser. geogr.*, 2008, no. 4, p. 112–124. (In Russian)
- Makunina G.S. Tri sostavlyayushchie sistemnoj organizatsii landshafta v kontseptsiyakh F.I. Kozlovskogo, A.A. Krauklisa i V.N. Solntseva [Three components of the system organization of landscape in the concepts by F.I. Kozlovsky, A.A. Krauklis and V.N. Solntsev], *Geography and Natural Resources*, 2010, no. 1, p. 18–23. (In Russian)
- Morozov A.S., Kontsevik G.I., Shmeleva I.A. et al. Assessing the transport connectivity of urban territories, based on intermodal transport accessibility, *Frontiers in Built Environment*, 2023, vol. 9, 2023, DOI: 10.3389/fbuil.2023.1148708.
- Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemakh* [Introduction to the doctrine of geosystems], Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 318 p. (In Russian)
- Solntsev V.N. *Sistemnaya organizatsiya landshaftov (problemy metodologii i teorii)* [System organization of landscapes (problems of methodology and theory)], Moscow, Mysl' Publ., 1981, 239 p. (In Russian)
- Remote Sensing and GIS for Ecologists: Using Open Source Software*, M. Wegmann, B. Leutner, S. Dech (eds.), Pelagic Publishing Ltd, 2016, 352 p.
- Varshanina T.P., Plisenko O.A., Zorin V.P., Solodukhin A.A. GISNI samoorganizatsii geosistem [GISNI of self-organization of geosystems], *Materialy Mezhdunarodnoj konferentsii "InterKarto. InterGIS"*, 2013, iss. 19, vol. 1, p. 94–99. (In Russian)
- Volkova V.N., Denisov A.A. *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Fundamentals of systems theory and system analysis], St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2005, 520 p. (In Russian)
- Yarham R. *How to Read the Landscape: A Crash Course in Interpreting the Great Outdoors*, Ivy Press, 2018, 256 p.

Received 20.01.2024

Revised 04.03.2024

Accepted 26.06.2024

ВЫЯВЛЕНИЕ КЛАСТЕРОВ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА УРОВНЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ РОССИИ В 2015–2019 ГГ.

Р.О. Бобровский¹, М.Д. Горячко²

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России*

¹ *Аспирант; e-mail: rbobrovskiy@yandex.ru*

² *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: mgoryachko@yandex.ru*

Общепризнанное понимание того, что в местах концентрации экономической деятельности, особенно высокотехнологичной, в том числе в кластерах, достигается максимальный экономический эффект, делает крайне актуальной экономическую политику поддержки кластеров. При этом существует проблема корректного выявления кластеров для поддержки. Исследований, предлагающих методики выявления кластеров, относительно мало. В статье предложена и апробирована авторская методика выявления кластеров высокотехнологичных отраслей промышленности, основанная на расчете индекса кластеризации, состоящего из четырех компонентов, связанных с основными характеристиками кластеров: географической концентрацией отрасли в регионе или городе, их специализацией, связями и конкуренцией компаний. Индекс рассчитан как среднее арифметическое показателей, характеризующих данные компоненты, нормированных методами линейного и логарифмического масштабирования. Методика применена на двух масштабных уровнях: регионов России и их административных единиц. В основу расчетов индекса легли данные по компаниям за период 2015–2019 гг., размещенные в СПАРК. В целях выявления кластеров результаты расчетов верифицировались. В результате выделены различия отраслей высокотехнологичной промышленности как по индексу кластеризации в целом, так и по отдельным его компонентам. С географической точки зрения, кластеры высокотехнологичной промышленности выявлены не только в регионах с крупнейшими городскими агломерациями (главным образом, Московской и Санкт-Петербургской), с развитым научно-исследовательским и предпринимательским потенциалом, но и в регионах с крупными производствами соответствующих отраслей (Поволжье и Урал). Также обнаружено, что кластеры в различных отраслях имеют разную территориальную структуру и масштаб: в большинстве отраслей они проявляются на уровне городов, но в ряде отраслей имеют масштаб регионов. Сопоставление выявленных кластеров с поддерживаемыми государством позволило сделать вывод, что среди выявленных кластеров около 35% получают поддержку, тогда как среди поддерживаемых кластеров около 50% соответствует выявленным. Кроме того, уровень поддержки различается между отраслями.

Ключевые слова: индекс кластеризации, кооперационные связи, территориальная структура промышленности, кластерная политика

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.5

ВВЕДЕНИЕ

Экономические концепции XX в. (экономии на масштабе, «центр-периферии», «полусов роста» и «осей развития»), агломерации и локализации производства, «диффузии инноваций» и «вулкана» и др.) доказывают, что наибольший экономический эффект достигается в местах концентрации экономики. В целом возрастающую отдачу от концентрации экономики принято связывать с эффектами кластеризации (Маршалла-Эрроу-Ромера) и урбанизации (Джекобс).

Концепция кластера была раскрыта М. Портером [Портер, 1993], согласно которой, кластер – группа географически соседствующих взаимосвязанных

компаний (поставщики, производители и др.) и связанных с ними организаций (образования, государственного управления, инфраструктуры), действующих в определенной сфере, конкурирующих, но взаимодополняющих друг друга. Теория кластеров была дополнена в работах М. Энрайта [Enright, 2000; 2003], где среди прочего делается вывод, что наиболее часто кластеры формируются на уровне городов.

Актуальность исследования выражается в том, что высокотехнологичные и наукоемкие отрасли обеспечивают экономический рост и конкурентоспособность экономики в долгосрочном периоде, их поддержка, в том числе в кластерах, должна быть эффективной.

Экономическая политика по развитию кластеров (кластерная политика) [Куценко, 2009а] направлена на развитие экономики в целом через возникновение в кластерах дополнительного экономического эффекта. Если поддерживаемые кластеры не формируют его, снижается результативность поддержки. В связи с этим важным является определение подходов и методик к выявлению кластеров.

Работ, посвященных подходам к выявлению кластеров, относительно мало. Большинство современных исследований кластеров и кластерных эффектов за рубежом [Audretsch et al., 2004; Kenney, Patton, 2004] и в России посвящено их непосредственному анализу [Kutsenko, 2015], влиянию кластеров на экономическое развитие регионов и предприятий, анализу кластерных инициатив [Kutsenko et al., 2017], особенностям кластерной политики [Бортник и др., 2015].

Научная проблема состоит в том, что, несмотря на высокий интерес к кластерной политике, прозрачные, формализованные методики выявления кластеров крайне немногочисленны и слабо используются на практике.

Целью исследования является разработка и апробирование методики выявления кластеров высокотехнологичной промышленности на уровне регионов и городов России. Для этого решались такие задачи, как:

- 1) разработка методики выявления кластеров;
- 2) выявление кластеров на основании расчетов индекса кластеризации с последующей верификацией;
- 3) сопоставление выявленных кластеров с поддерживаемыми.

Существующие методики выявления кластеров разделяются на интегральные и оценивающие их отдельные характеристики.

Большинство методик останавливается на основных, но недостаточных для полного определения кластера, критериях географической концентрации и специализации. Для этих целей рассчитываются доли, плотности, индекс локализации, индексы Эллисона – Глейзера, Марелля – Седиллота, оценивающие географическую концентрацию отрасли в регионе, а также агломерационный индекс, характеризующий превышение географической концентрации над рыночной [Ковалева, 2011]. Также для оценки географической концентрации используется индекс Дюрантона – Овермана, который не зависит от границ регионов [Земцов, Буков, 2016].

Критерий разнообразия/конкуренции позволяет определить индексы Джини, энтропии Шеннона, а также Херфиндаля – Хиршмана, который показывает рыночную концентрацию экономики. Его обратное значение показывает рыночную децентрацию.

Критерий связей/взаимодействий, как правило, учитывается на потенциальном уровне – с помощью гравитационных моделей или социологических методов. Для изучения связей используются методы сетевого анализа и теории графов.

К интегральным методикам выявления кластеров стоит отнести методику М. Портера [Porter, 2003; Lindqvist, 2009], основанную на выделении кластерных групп торгуемых отраслей по наличию статистически значимых пространственных корреляций занятости [Данько, Куценко, 2012]. В региональном разрезе кластеры выделяются по коэффициенту локализации, рангу региона по «размеру» и «фокусу» кластерной группы.

Группы взаимосвязанных отраслей, кластерные группы или индустриальные комплексы определяются также с помощью анализа таблиц «затраты–выпуск» (межотраслевого баланса). основополагающими для данного подхода можно считать работы В.В. Леонтьева [Леонтьев, 1997] и У. Айзарда [Isard et al., 1959].

В определенной степени схожим подходом можно считать и метод энергопроизводственных циклов (ЭПЦ), предложенный Н.Н. Колосовским [Колосовский, 1947], в котором производства группируются по связям, а на их основе определяются территориально-производственные комплексы (ТПК).

Опираясь на методику М. Портера, но внеся ряд изменений, группа российских исследователей [Zemtsov et al., 2016] предлагает методику, основанную на индексе потенциала кластеризации. Он рассчитан на основе субиндексов по числу фирм, занятости и продажам (выручке). Каждый из них состоит из индекса локализации отрасли в регионе, доли региона в общероссийском значении и индекса деконцентрации (индекс Херфиндаля – Хиршмана) (кроме числа фирм) (умноженного на среднее арифметическое первых двух). Показатели линейно масштабируются. Итоговый индекс рассчитывается как среднее арифметическое субиндексов. Данная методика расчета кластеризации взята за основу в данном исследовании.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поскольку существующие методики выявления кластеров учитывают не все их компоненты, методика данной работы основана на расчете индекса кластеризации, учитывающего основные характеристики кластеров в соответствии с определением (см. выше).

Индекс рассчитывается на основе данных по компаниям из СПАРК [СПАРК, 2020], агрегированных в нужной разбивке. Основным показателем для расчета субиндексов географической концентрации, специализации и конкуренции служит

выручка компаний (средняя за 2015–2019 гг.), для субиндекса связей – объем закупок товаров, работ и услуг, осуществляемых крупными компаниями высокотехнологической промышленности по 44-ФЗ и 223-ФЗ¹ (суммарный за 2015–2019 гг.).

Выбор периода 2015–2019 гг. связан с относительной стабильностью экономики России в данный период.

Индекс рассчитывается на двух территориальных уровнях – региональном (субъекты РФ) и уровне административных единиц (далее заменяется термином «город»), описываемым классификатором ОКАТО первыми пятью знаками (соответствует уровню городов регионального значения, административных районов, районам городов федерального значения).

Под высокотехнологичными понимаются виды экономической деятельности ОКВЭД, признанные таковыми методическими рекомендациями²: высокого технологического уровня: фармацевтическая (21), электронно-оптическая (26), авиастроительная (30.3) и средневысокого технологического уровня: химическая (20), электротехническая (27), прочее машиностроение (28), автомобилестроение (29), прочее транспортное машиностроение (30 без 30.3), медицинская (32.5). Также учитываются наукоемкие отрасли.

На первом шаге расчета индекса кластеризации определялись субиндексы:

1) *Географическая концентрация*: доля региона/города r в общей выручке отрасли i в стране ($S_{i,r}$):

$$S_{i,r} = \frac{Rev_{i,r}}{Rev_i}, \quad (1)$$

где $Rev_{i,r}$ – суммарная выручка компаний отрасли i региона/города r , Rev_i – суммарная выручка компаний отрасли i страны.

2) *Специализация* региона/города: индекс локализации компаний высокотехнологической отрасли i в регионе/городе r (по выручке) ($LQ_{i,r}$):

$$LQ_{i,r} = \frac{Rev_{i,r} / Rev_r}{Rev_i / Rev}, \quad (2)$$

где $Rev_{i,r}$ – суммарная выручка компаний отрасли i региона/города r , Rev_r – суммарная выручка всех

компаний обрабатывающей промышленности³ региона/города r , Rev_i – суммарная выручка компаний отрасли i страны, Rev_r – суммарная выручка всех компаний обрабатывающей промышленности страны.

3) *Взаимосвязь и кооперация* компаний: доля внутрирегиональных/внутригородских высокотехнологичных и наукоемких поставщиков (по объему поставок) ($C_{i,r}$):

$$C_{i,r} = \frac{Sup_{h,r}}{Sup}, \quad (3)$$

где $Sup_{h,r}$ – сумма поставок высокотехнологичных и наукоемких поставщиков внутри региона/города r , Sup – сумма всех поставок.

4) *Конкуренция* компаний: индекс рыночной деконцентрации равен $1 - HH_{i,r}$ – индекс Херфиндаля – Хиршмана для компаний отрасли i региона/города r (по выручке) ($1 - HH_{i,r}$):

$$1 - HH_{i,r} = 1 - \sum_{k=1}^n S_{i,r}^2, \quad (4)$$

где n – число компаний в отрасли i региона/адм. единицы r , $S_{i,r}$ – доля выручки данной компании в суммарной выручке компаний отрасли i региона/города r .

На следующем шаге субиндексы масштабировались. Применялось как линейное, так и логарифмическое (линейное масштабирование логарифмированных (взят натуральный логарифм – \ln) значений) масштабирование по формулам:

$$I_{lm} = \frac{I - \min(I)}{\max(I) - \min(I)}, \quad (5)$$

$$I_{lnm} = \frac{\ln I - \min(\ln I)}{\max(\ln I) - \min(\ln I)}, \quad (6)$$

где I_{lm} , I_{lnm} – масштабированные значения, I – немасштабированное значение.

Масштабирование субиндексов без логарифмирования (рис. 1) сохраняет параметры их распределений, что позволяет сравнивать регионы по субиндексам, с логарифмированием – изменяет вид распределений субиндексов, но делает их сопоставимыми друг с другом по вкладу в общий индекс, что позволяет корректнее определять лидеров по общему значению кластеризации.

Масштабирование проводилось сквозным способом для всех анализируемых отраслей: минимальные и максимальные значения определялись среди всех отраслей на каждом масштабном уровне, что позволило сравнивать отрасли друг с другом.

¹ Такой тип связей рассматривается, потому что, во-первых, крупные предприятия составляют основу кластеров в России, во-вторых, такая статистика существует для субъектов экономической деятельности, на которые распространяется действие 223-ФЗ, а это в основном крупные предприятия с определенной долей РФ в уставном капитале. Различные оценки показывают, что госсектор в ВВП России составляет в среднем 1/3, а в некоторых отраслях высокотехнологической промышленности эта доля выше.

² Приказ Росстата № 832 от 15.12.2017 г.

³ Под обрабатывающей промышленностью понимается раздел С «Обрабатывающие производства» (коды 10–33) ОКВЭД.

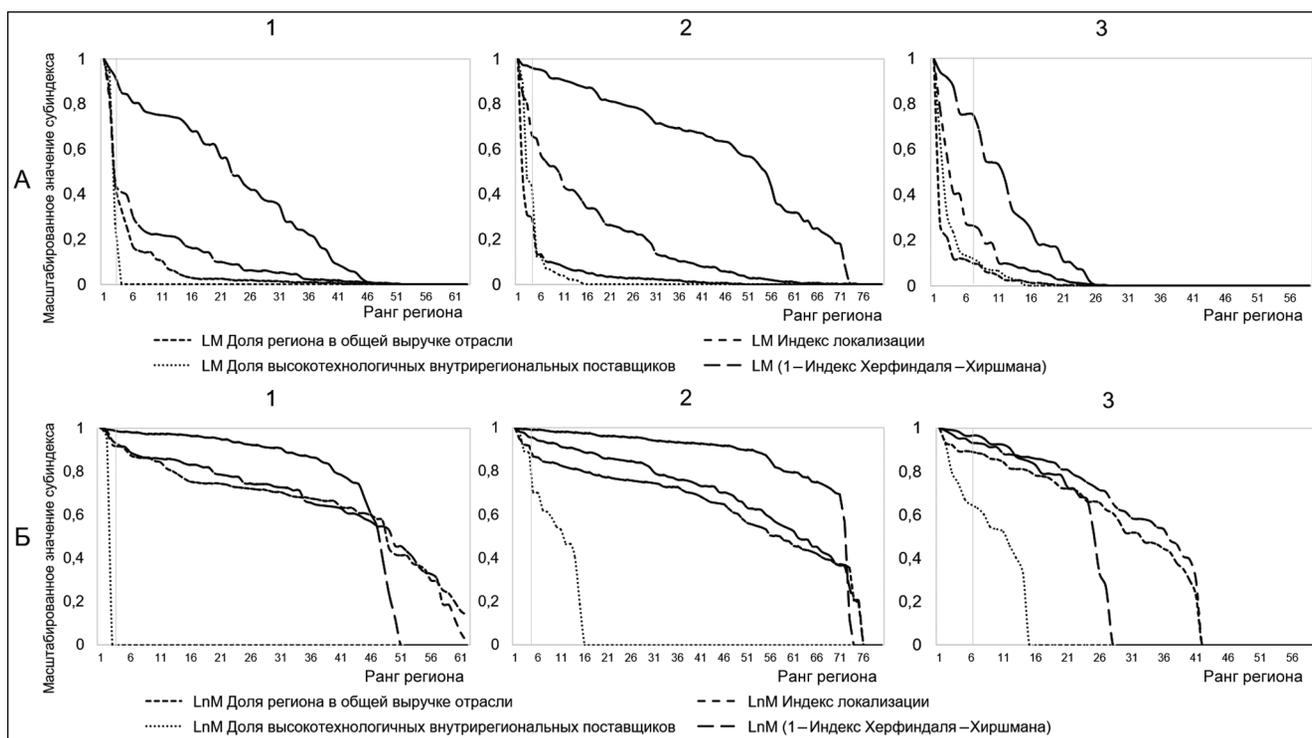


Рис. 1. Ранжированные ряды линейно (А) и логарифмически (Б) масштабированных субиндексов индекса кластеризации для фармацевтической (1), электронно-оптической (2) и авиастроительной (3) отраслей.

Источник: рассчитано авторами по данным СПАРК

Fig. 1. Ranked series of linearly (A) and logarithmically (B) scaled sub-indices of the clustering index for pharmaceutical (1), electronic-optical (2) and aircraft manufacturing (3) industries. Source: calculated by the authors based on SPARK data

Перед включением субиндексов в интегральный индекс проведена проверка на отсутствие парных корреляций.

Расчет индекса с использованием четырех субиндексов применялся только для отраслей высокого технологического уровня (ОКВЭД 21, 26, 30.3). Для отраслей средневысокого технологического уровня (ОКВЭД 20, 27, 28, 29, 30 без 30.3, 32.5, 33) доля высокотехнологичных внутрирегиональных поставщиков не учитывалась ввиду трудоемкости сбора данных.

Итоговый индекс рассчитывался как среднее арифметическое нормированных значений субиндексов по формулам (функция $I(\dots)$ обозначает процедуру масштабирования):

$$CI_{i,r} = 1/4 \cdot (I(S_{i,r}) + I(LQ_{i,r}) + I(C_{i,r}) + I(1 - HH_{i,r})), \quad (7)$$

$$CI_{i,r} = 1/3 \cdot (I(S_{i,r}) + I(LQ_{i,r}) + I(1 - HH_{i,r})). \quad (8)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Различия отраслей по степени кластеризации. В табл. 1 в отраслевом разрезе отражены линейно масштабированные значения для регионов, занима-

ющих первую и пятую позиции⁴ по убыванию каждого из субиндексов и индекса в целом.

Наибольшим интегральным индексом кластеризации характеризуются все отрасли высокого технологического уровня (21, 26 и 30.3), а также медицинская промышленность (32.5) и ремонт (33), но это проявляется только в нескольких регионах-лидерах.

Для субиндекса географической концентрации проявляются такие же закономерности, за исключением фармацевтики (21), которая концентрируется в большем количестве регионов-лидеров.

Максимальный субиндекс локализации характерен для фармацевтической отрасли (21) и прочего транспортного машиностроения (30 без 30.3), поскольку на них специализируются малые по размеру экономики регионы, а также автомобилестроения (29), минимальный – для медицинской промышлен-

⁴ Сравнение отраслей по индексу кластеризации и отдельным его субиндексам на уровне первого и пятого регионов объясняется особенностями распределения показателей: в большинстве случаев существенный разброс значений индекса и субиндексов возникает именно между первым и пятым регионами, при этом разброс значений между первым и шестым, седьмым и т. д. регионами уже не значительно отличается от данного. В то же время, рассмотрение значений показателей для регионов на низких позициях не совсем корректно, поскольку они могут быть нулевыми.

ности (32.5), размещенной в регионах с крупной и диверсифицированной экономикой.

Высокий субиндекс рыночной деконцентрации характерен для фармацевтической (21), электронно-оптической (26), химической (20), электротехнической (27) отраслей, прочего машиностроения (28) и ремонта (33), где большую роль играют малые формы предприятий.

Выявление кластеров в регионах и городах России. При верификации расчетов индекса кластеризации (с логарифмированием и без него) и выделении кластеров рассматривались первые 10 регионов и 20

городов. Также учитывалась структура индекса. По каждому из регионов и городов рассматривался состав зарегистрированных предприятий и их размер. Для Москвы и Санкт-Петербурга проверялся факт ведения производственной деятельности по месту регистрации. Если количество предприятий и их размер недостаточны для формирования кластера или большинство предприятий не ведут производственную деятельность по месту регистрации, делался вывод о невозможности существования кластера.

Верифицированные результаты расчетов индекса кластеризации отражены в табл. 2.

Таблица 1

Линейно масштабированные значения индекса кластеризации и его субиндексов для разных отраслей на уровне регионов, занимающих первую (1) и пятую (5) позиции по убыванию соответствующего показателя

ОКВЭД	Доля региона в общей выручке отрасли		Индекс локализации		Доля высокотехнологичных внутрирегиональных поставщиков		1 – Индекс Херфиндала – Хиршмана		Индекс кластеризации в целом	
	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
21	0,45	0,13	0,58	0,17	0,24	0,00	0,98	0,80	0,44	0,25
26	0,52	0,09	0,31	0,23	1,00	0,12	1,00	0,96	0,56	0,31
30.3	0,86	0,10	0,39	0,22	0,56	0,08	0,88	0,66	0,61	0,22
20	0,25	0,14	0,37	0,21			0,98	0,94	0,41	0,36
27	0,29	0,09	0,49	0,29			0,99	0,96	0,48	0,41
28	0,30	0,09	0,26	0,17			0,99	0,98	0,46	0,37
29	0,30	0,16	0,89	0,30			0,89	0,84	0,42	0,37
30 (без 30.3)	0,34	0,17	1,00	0,23			0,90	0,81	0,48	0,35
32.5	1,00	0,07	0,26	0,14			0,97	0,91	0,71	0,34
33	0,61	0,08	0,54	0,26			1,00	0,99	0,59	0,38

Источник: расчеты авторов.

Для фармацевтической отрасли (21) характерна высокая роль малых предприятий (не всегда производственной специализации). Кластеры выделяются в регионах с крупнейшими агломерациями: Москва, Санкт-Петербург, Республика Татарстан (г. Казань), Новосибирская область (г. Новосибирск и Новосибирский р-н), а также в Московской, Владимирской и Калужской областях. Поддержка кластеров отрасли существует, но сильно зависит от активности региональных властей (см. табл. 2).

Электронно-оптическая отрасль (26) характеризуется высокой долей средних и малых предприятий. Кластеры выделяются в регионах с крупнейшими агломерациями: Санкт-Петербурге, Москве (в первую очередь, в Зеленограде) (высокий вклад доли региона в общей выручке и рыночной деконцентрации), где существует поддержка кластеров, в Ново-

сибирской (г. Новосибирск), Московской областях (высокий вклад рыночной деконцентрации). Кластеры также существуют в регионах и городах преимущественно производственной специализации.

В авиакосмической отрасли (30.3) преобладают крупные предприятия, а значения индекса кластеризации определяются в большинстве случаев субиндексом локализации: в Москве (Северный АО), (высокий вклад доли региона в общей выручке отрасли), Санкт-Петербурге (высокий вклад доли внутрирегиональных высокотехнологичных поставщиков), а также в регионах и городах преимущественно производственной специализации – Самарской области (г. Самара), Республике Башкортостан (г. Уфа), Пермском крае (г. Пермь), Ульяновской (г. Ульяновск и соседний Чердаклинский р-н) и Московской областях, в Казани, Вороне-

же и др. Кластеры отрасли поддерживаются в ряде регионов преимущественно производственной специализации.

Значения индекса кластеризации в химической отрасли (20) определяются скорее субиндексом локализации. Кластеры выделяются в регионах и городах преимущественно производственной специализации: Республика Татарстан (Казань, Ниж-

некамск), Самарская область (Тольятти), Пермский край (Пермь), Тульская область (Новомосковский р-н), Республика Башкортостан (Уфа), Нижегородская область (Дзержинск), также в регионах с высоким вкладом рыночной деконцентрации – Москве, Московской области и Санкт-Петербурге. Поддержка отрасли зависит от активности региональных властей.

Таблица 2

Регионы и их административные единицы с выявленными кластерами, их соответствие поддерживаемым кластерам

Регионы	Административные единицы внутри данных регионов
21 (фармацевтика)	
Москва (0,44/0,90)	Юго-Восточный (0,22/0,77), Северо-Западный (0,21/0,66), Южный (0,25/0,65), Восточный (0,18/0,65), Новомосковский (0,13/0,63), Северный (0,24/0,62) АО
Санкт-Петербург*** (0,35/0,88)	Приморский (0,17/0,65), Фрунзенский (0,09/0,63) р-ны
Республика Татарстан (0,19/0,77)	Казань (0,18/0,79)
Московская обл.*** (0,40/0,71)	Красногорск (0,20/0,67)
Владимирская обл. (0,25/0,67)	Петушинский р-н (0,22/0,67)
Новосибирская обл. (0,25/0,66)	Новосибирск (0,19/0,62), Новосибирский р-н (0,09/0,63)
Калужская обл.*** (0,23/0,66)	Обнинск*** (0,14/0,63)
Другие регионы	Курск (0,22/0,68), Белгородский р-н Белгородской обл. (0,19/0,66), Ставрополь (0,16/0,64)
26 (электронно-оптическая)	
Санкт-Петербург*** (0,56/0,93)	Кировский (0,24/0,65), Выборгский (0,26/0,64), Московский (0,24/0,63), Приморский (0,24/0,62) р-ны
Москва*** (0,52/0,92)	Зеленоградский*** (0,51/0,93), Восточный (0,29 / 0,85), Южный (0,26/0,65), Юго-Западный (0,25/0,63), Северо-Восточный (0,24/0,64), Северный (0,21/0,82) АО
Новосибирская обл. (0,40/0,89)	Новосибирск (0,34/0,87)
Рязанская обл. (0,31/0,85)	Рязань (0,24/0,84)
Московская обл. (0,31/0,82)	–
Удмуртская респ. (0,30/0,82)	Ижевск (0,22/0,81)
Другие регионы	Тамбов (0,36/0,89), Омск (0,24/0,83), Калуга (0,23/0,81), Смоленск (0,22/0,81), Екатеринбург (0,25/0,79), Пенза (0,18/0,77), Йошкар-Ола (0,12/0,77)
30.3 (авиастроение)	
Москва (0,61/0,94)	Северный (0,44/0,84), Восточный (0,20/0,62) АО
Санкт-Петербург (0,32/0,87)	Калининский (0,13/0,64), Московский (0,01/0,64) р-н
Самарская обл.*** (0,24/0,81)	Самара*** (0,23/0,82)
Республика Башкортостан (0,16/0,81)	Уфа (0,10/0,78)
Пермский край*** (0,22/0,80)	Пермь*** (0,21/0,81)
Московская обл. (0,27/0,77)	Дубна (0,15/0,64), Королев (0,09/0,64), Ступино (0,12/0,62), Балашиха (0,11/0,63), Люберцы (0,09/0,62)
Ульяновская обл.*** (0,13/0,77)	Ульяновск*** (0,08/0,77), Чердаклинский р-н*** (0,13/0,60)
Другие регионы	Казань (0,08/0,80), Рыбинск Ярославской обл. (0,07/0,77), Воронеж (0,12/0,70), Нижний Новгород (0,13/0,61)

Регионы	Административные единицы внутри данных регионов
20 (химическая)	
Республика Татарстан* (0,37/0,92)	Казань** (0,23/0,87), Нижнекамск** (0,14/0,85)
Самарская обл. (0,37/0,91)	Тольятти (0,28/0,88), Чапаевск (0,28/0,86)
Пермский край (0,33/0,91)	Пермь (0,32/0,84), Березники (0,12/0,85)
Москва**,* (0,41/0,90)	Юго-Восточный (0,30/0,83), Южный АО (0,24/0,83), Северный (0,30/0,80)
Тульская обл.** (0,33/0,90)	Новомосковский р-н** (0,26/0,90)
Московская обл.** (0,39/0,89)	Ногинск (0,27/0,84), Подольск (0,31/0,81)
Республика Башкортостан*** (0,34/0,89)	Стерлитамак*** (0,25/0,89)
Нижегородская обл. (0,36/0,88)	Дзержинск (0,34/0,88)
Санкт-Петербург (0,35/0,86)	–
Другие регионы	Ярославль (0,29/0,85), Владимир (0,25/0,85), Омск** (0,20/0,84), Томск (0,19/0,84), Новочебоксарск Чувашской Республики (0,15/0,84), Кемерово (0,10/0,84), Новосибирск (0,30/0,82), Екатеринбург (0,32/0,79)
27 (электротехническая)	
Чувашская Республика** (0,48/0,92)	Чебоксары** (0,35/0,90)
Республика Мордовия***,** (0,45/0,91)	Саранск**** (0,33/0,89)
Псковская обл.** (0,47/0,91)	Великие Луки** (0,27/0,87)
Москва (0,44/0,91)	Юго-Восточный (0,34/0,86), Восточный (0,33/0,86), Северо-Восточный (0,27/0,86) АО
Санкт-Петербург (0,41/0,91)	Василеостровский р-н (0,31/0,88)
Московская обл. (0,35/0,91)	Подольск (0,31/0,86), Дубна (0,28/0,86)
Томская обл. (0,37/0,90)	Томск (0,28/0,87)
Самарская обл. (0,35/0,90)	Самара (0,25/0,87)
Кировская обл. (0,35/0,90)	Киров (0,23/0,85)
Ярославская обл. (0,36/0,89)	Рыбинск (0,25/0,86)
Свердловская обл. (0,37/0,88)	Екатеринбург (0,36/0,87)
Другие регионы	Новосибирск (0,33/0,84), Саратов (0,31/0,84), Курск** (0,28/0,86), Смоленск (0,25/0,86)
28 (прочее машиностроение)	
Санкт-Петербург** (0,44/0,92)	Калининский (0,15/0,87), Кировский (0,27/0,86), Невский (0,32/0,85) р-ны
Московская обл. (0,43/0,91)	–
Челябинская обл.**,* (0,38/0,89)	Челябинск** (0,35/0,87)
Республика Башкортостан (0,37/0,89)	Октябрьский (0,26/0,88), Ишимбай (0,22/0,85)
Свердловская обл.** (0,37/0,88)	Екатеринбург (0,36/0,87)
Пермский кр. (0,36/0,88)	Пермь (0,33/0,86)
Другие регионы	Воронеж** (0,34/0,86), Самара (0,33/0,86), Рыбинск Ярославской обл. (0,22/0,86), Новосибирск (0,34/0,85), Саратов (0,32/0,85)
29 (автомобилестроение)	
Республика Татарстан***,**,* (0,42/0,93)	Набережные Челны***,** (0,36/0,92), Елабуга***,** (0,14/0,86), Тукаевский р-н***,** (0,23/0,83)
Самарская обл.** (0,37/0,93)	Тольятти** (0,28/0,90), Самара** (0,30/0,82), Ставропольский р-н** (0,31/0,84)
Калужская обл. (0,38/0,93)	Калуга (0,30/0,90)

Окончание таблицы 2

Регионы	Административные единицы внутри данных регионов
Санкт-Петербург* (0,38/0,92)	Пушкинский (0,25/0,87), Выборгский (0,17/0,87) р-ны
Ульяновская обл.** (0,40/0,91)	Ульяновск** (0,27/0,88), Димитровград** (0,28/0,86)
Нижегородская обл.** (0,36/0,91)	Нижний Новгород** (0,29/0,89)
Челябинская обл. (0,32/0,86)	Миасс (0,26/0,88), Челябинск (0,29/0,82)
Калининградская обл. (0,37/0,92)	Калининград (0,29/0,90)
Другие регионы	–
30 (без 30.3) (прочее транспортное машиностроение)	
Санкт-Петербург (0,43/0,93)	Адмиралтейский (0,32/0,92), Кировский (0,11/0,84), Петроградский (0,12/0,83) р-ны
Свердловская обл. (0,35/0,92)	–
Брянская обл. (0,36/0,91)	Брянск (0,10/0,85)
Астраханская обл. (0,48/0,90)	Астрахань (0,29/0,84)
Тверская обл. (0,31/0,90)	Тверь (0,19/0,88)
Московская обл. (0,30/0,89)	–
Москва (0,33/0,88)	Центральный АО (0,28/0,84)
Калужская обл. (0,23/0,88)	Калуга (0,16/0,85)
Ленинградская обл. (0,29/0,87)	Тихвинский р-н (0,27/0,87)
Ярославская обл. (0,26/0,86)	Ярославль (0,16/0,82)
Архангельская обл.*** (0,40/0,84)	–
Другие регионы	Владивосток (0,22/0,85), Калининград (0,09/0,82), Новосибирск (0,20/0,83)
32.5 (медицинская)	
Москва** (0,71/0,96)	Северный (0,28/0,88), Южный (0,28/0,90), Юго-Восточный (0,32/0,87), Юго-Западный (0,31/0,87) АО
Санкт-Петербург*** (0,44/0,92)	–
Московская обл. (0,40/0,91)	–
Тульская обл. (0,33/0,89)	Тула (0,28/0,87)
Республика Татарстан** (0,36/0,88)	Казань** (0,35/0,88)
Свердловская обл. (0,34/0,87)	Екатеринбург (0,34/0,87)
Новосибирская обл. (0,24/0,86)	–
Нижегородская обл. (0,34/0,86)	Нижний Новгород (0,33/0,85)
Томская обл.*** (0,32/0,83)	Томск*** (0,31/0,82)
Другие регионы	–
33 (ремонт)	
Москва (0,59/0,95), Санкт-Петербург (0,42/0,90), Московская обл. (0,38/0,90), Приморский край (0,37/0,90), Тюменская обл.** (0,38/0,89), Ростовская обл. (0,35/0,87), Свердловская обл. (0,35/0,87), Новосибирская обл. (0,35/0,87)	

Примечания. Через косую черту (слэш) написаны значения индекса кластеризации с использованием линейного/логарифмического масштабирования; * – соответствует кластеру, поддерживаемому ЦКР; ** – соответствует Промышленному кластеру; *** – соответствует Инновационному территориальному кластеру (по основной специализации). *Источник:* расчеты авторов.

Кластеры электротехнической отрасли (27) четко разделяются на существующие в малых по размеру экономики регионах преимущественно производственной специализации – Чувашская Республика (Чебоксары), Республика Мордовия (Саранск), Псковская область (Великие Луки и Псков), где они поддерживаются, и существующие в регионах с крупнейшими агломерациями: Москва, Санкт-Петербург и Московская область.

В прочем машиностроении (28) возможно выделение кластеров в Санкт-Петербурге (энергетическое машиностроение, тракторостроение, оборонно-промышленный комплекс), Московской области (с большой ролью иностранных производств), уральских: Свердловской (Екатеринбург), Челябинской (Челябинск) областях, Пермском крае (Пермь) и Республике Башкортостан (Октябрьский и Ишимбай). Поддержка отрасли встречается в различных регионах.

В автомобилестроении (29) преобладают крупные предприятия, значения индекса кластеризации определяются в основном субиндексами локализации и доли региона в общей выручке отрасли. В Республике Татарстан и Самарской области кластеры формируются вокруг крупнейших предприятий в городе его присутствия и соседних районах, между которыми наблюдается разделение специализации на сборке и производстве компонентов (соответственно Набережные Челны, Елабуга, Тукаевский р-н и Тольятти, Ставропольский р-н), менее сильные (связанные преимущественно со сборкой) кластеры присутствуют в Санкт-Петербурге и Калужской области (Калуга), где в 2000–2010-е гг. отрасль получила развитие благодаря иностранному капиталу, также в Ульяновской (Ульяновск, Димитровград) и Нижегородской (Нижний Новгород) областях. Поддержка кластеров представлена практически во всех перечисленных регионах.

В прочем транспортном машиностроении (30 без 30.3) ключевой вклад в индекс кластеризации вносит также субиндекс локализации. В судостроении наиболее сильный кластер выделяется в Санкт-Петербурге. Кластеры с высокой долей субиндекса локализации существуют в малых по размеру экономики Астраханской и Архангельской областях (в последней поддерживается). В железнодорожном машиностроении выделяются основные регионы и города специализации – Свердловская, Брянская (Брянск), Тверская (Тверь) области и др.

Медицинская промышленность (32.5) представлена малыми предприятиями, концентрирующимися в регионах с крупными агломерациями: Москве, Санкт-Петербурге, Московской области, Республике Татарстан (Казань), Свердловской (Екатеринбург), Новосибирской, Нижегородской (Нижний Новгород),

Томской (Томск) областях. Поддержка кластеров существует в четырех регионах из перечисленных.

О кластерах в отрасли ремонта машин и оборудования (33) говорить не совсем корректно ввиду ее разнообразия, тем не менее, формально они существуют в регионах с крупными городами и фондоемкими промышленностью или транспортом: Москве, Санкт-Петербурге, Московской, Тюменской областях, Приморском, Краснодарском краях, Ростовской, Свердловской, Новосибирской областях.

Особенности кооперационных связей компаний отраслей высокого технологического уровня.

Для отраслей высокого технологического уровня не наблюдается статистически значимой зависимости между размером компании-поставщика и расстоянием поставки. Тем не менее на диаграммах рассеяния (рис. 2) наблюдается четкое разделение поставщиков на внутрирегиональных (расстояние поставки до 50–100 км) и межрегиональных (от 100–150 км). Для фармацевтической (21) и электронно-оптической (26) отраслей характерно преобладание внутрирегиональных поставок, для авиастроительной (30.3) – межрегиональных. Это может говорить о большем территориальном охвате кластеров.

Среди межрегиональных поставок в электронно-оптической (26) и авиастроительной (30.3) отраслях высокую роль играют взаимодействия с Москвой и Санкт-Петербургом и соседские взаимодействия внутри Урала – Поволжья – Волго-Вятки, Урала – Западной Сибири, Центра – Центрального Черноземья.

Соответствие выявленных кластеров поддерживаемым. Кластерная политика в России, активно реализуемая с 2010-х гг., направлена на развитие инфраструктуры, поддержку совместных проектов и связей участников кластеров. Она во многом соответствует выявленным кластерам, но, поскольку основана на заявительном характере поддержки, часто зависит от активности региональных властей.

Из существующих механизмов поддержки на 60% выявленным кластерам соответствуют Пилотные инновационные территориальные кластеры Минэкономразвития России, на 50% – Промышленные кластеры Минпромторга России и кластеры, поддерживаемые Центрами кластерного развития субъектов РФ.

Среди выявленных кластеров около 35% получают поддержку. Наибольшие доли поддерживаемых кластеров характерны для таких отраслей, как автомобилестроение, химическая и прочее машиностроение (50–60%), фармацевтическая, медицинская, авиастроительная (40–45%), т. е. для отраслей с высоким индексом кластеризации.

В региональном разрезе все поддерживаемые кластеры соответствуют выделенным в Санкт-

Петербурге, Республике Татарстан, Московской области, т. е. выбор кластеров для поддержки в этих регионах наиболее корректен, более чем на $\frac{2}{3}$ – в Москве, Челябинской и Ульяновской областях, менее чем на

$\frac{1}{3}$ – в Алтайском и Пермском краях – для них выбор поддерживаемых кластеров не совсем оправдан. Поддержка реально не существующих кластеров может снижать общую эффективность кластерной политики.

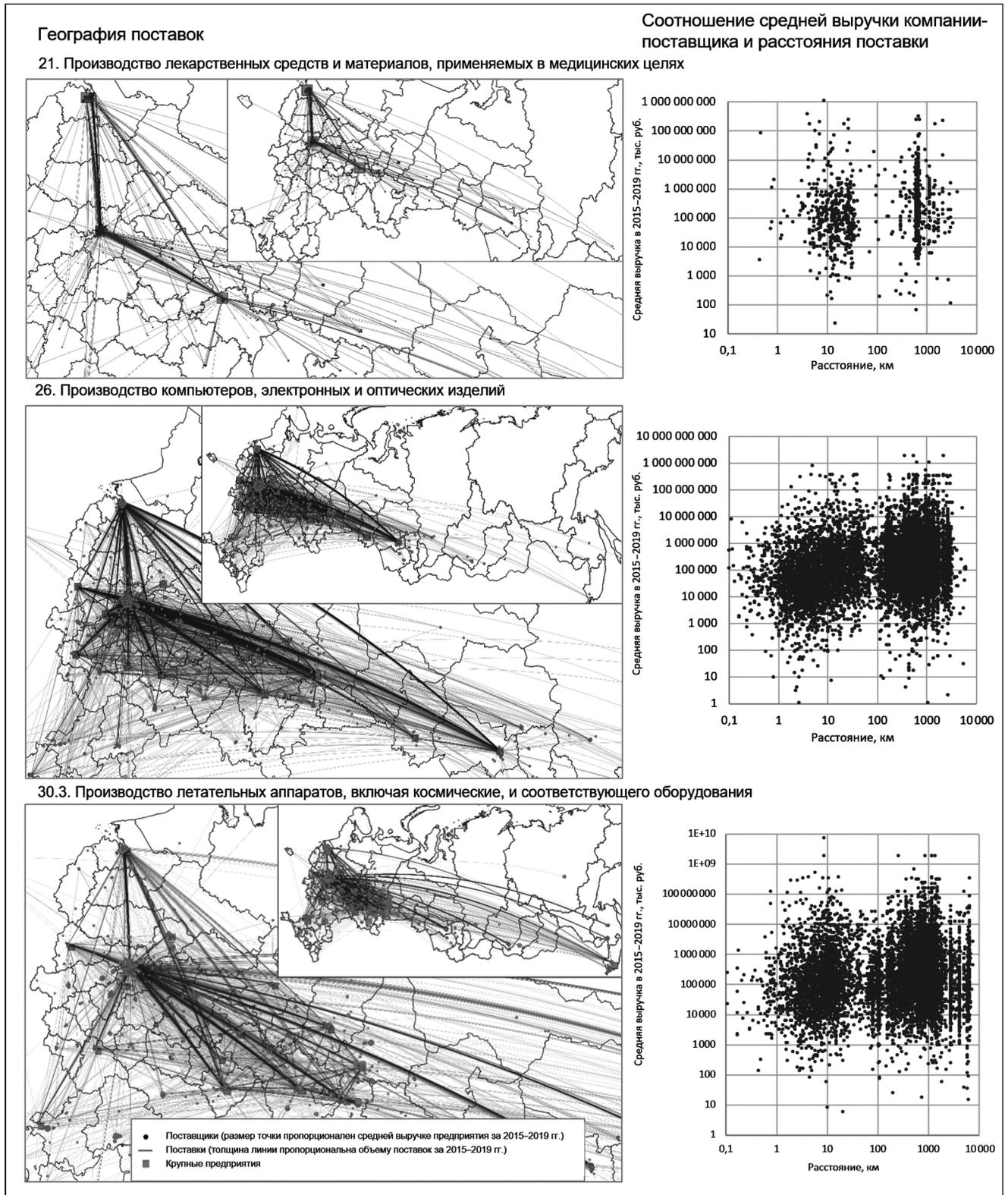


Рис. 2. Особенности кооперационных связей в отраслях высокого технологического уровня.

Источник: составлено авторами по данным СПАРК

Fig. 2. Specific features of cooperative links in high-tech industries. Source: compiled by the authors based on SPARK data

Среди выявленных кластеров более $\frac{2}{3}$ поддерживается в Республике Татарстан, где кластерная политика наиболее развита, около $\frac{1}{2}$ – в Самарской области и Санкт-Петербурге, около $\frac{1}{3}$ – в Москве, Калужской, Нижегородской областях, Пермском крае и Республике Башкортостан, около $\frac{1}{5}$ – в Московской и Свердловской областях. В регионах с невысокой долей необходимо расширение поддержки кластеров.

ВЫВОДЫ

Высокотехнологичные отрасли промышленности различаются по индексу кластеризации: наиболее высок он в фармацевтической, электронно-оптической, авиакосмической, медицинской промышленности.

Кластеры высокотехнологичной промышленности формируются не только в регионах с научно-исследовательскими центрами в крупных городских агломерациях (Москва и Московская область, Санкт-Петербург, Новосибирская область), но и в регионах и городах преимущественно производ-

ственной специализации в конкретных отраслях (Поволжье и Урал), что сильнее проявляется по мере уменьшения технологичности отрасли.

Кластеры на уровне административных единиц в основном повторяют кластеры на уровне регионов, проявляясь в региональных центрах или «вторых» городах.

Кластеры разных отраслей имеют разную территориальную структуру и масштаб. Чаще они развиваются в пределах города, но в ряде отраслей (авиастроение, автомобилестроение и др.) они имеют региональный масштаб.

Поддерживаемые в России кластеры на 50–60% соответствуют выявленным, кластерная политика сильно зависит от активности региональных властей, что отражается на общей ее эффективности. Проведенные сопоставления выявленных кластеров с поддерживаемыми могут быть использованы при определении новых кластеров для поддержки как точек роста высокотехнологичной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

- Бортник И.М., Земцов С.П., Иванова О.В. и др. Становление инновационных кластеров в России: итоги первых лет поддержки // *Инновации*. 2015. № 7(201). С. 26–36.
- Данько Т.П., Куценко Е.С. Основные подходы к выявлению кластеров в экономике региона // *Проблемы современной экономики*. 2012. № 1. С. 248–254.
- Земцов С.П., Буков Д.В. Методы выявления кластеров малого и среднего бизнеса // *Региональная экономика: теория и практика*. 2016. № 3(426). С. 104–117.
- Ковалева Т.Ю. Алгоритм идентификации и оценки кластеров в экономике региона // *Вестник Пермского университета. Серия Экономика*. 2011. № 4. С. 30–39.
- Колосовский Н.Н. Производственно-территориальное сочетание (комплекс) в советской экономической географии // *Вопросы географии*. 1947. № 6. С. 133–168.
- Куценко Е.С. Кластеры в экономике: основы кластерной политики государства // *Обозреватель*. 2009а. № 11. С. 112–120.
- Куценко Е.С. Кластеры в экономике: практика выявления // *Обозреватель*. 2009б. № 10. С. 109–126.
- Леонтьев В. Межотраслевая экономика / пер. с англ. М.: Экономика, 1997. 480 с.
- Портер М. Международная конкуренция: конкурентные преимущества стран / пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 1993. 947 с.
- Audretsch D.B., Lehmann E.E., Warning S. University spillovers and new firm location, *Papers on Entrepreneurship, Growth and Public Policy*, 2004, no. 0204, p. 1–24.
- Enright M.J. Regional clusters: What we know and what we should know, *Innovation clusters and interregional competition. Advances in spatial science*, Berlin, Heidelberg, Springer, 2003, p. 99–129.
- Enright M.J. *Survey on the characterization of regional clusters: initial results*, Working paper, University of Hong Kong, 2000, p. 1–21.
- Isard W., Schooler E.W., Vitorisz T. *Industrial complex analysis and regional development*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1959, 312 p.
- Kenney M., Patton D. Supporting the high-technology entrepreneur: Support network geographies for semiconductor, telecommunications equipment, and biotechnology start-ups, *Working paper. Berkeley Roundtable on the International Economy*, 2004, p. 1–36.
- Kutsenko E., Islankina E., Abashkin V. The evolution of cluster initiatives in Russia: the impacts of policy, life-time, proximity and innovative environment, *Foresight*, 2017, vol. 1, no. 2, p. 87–120.
- Kutsenko E. Pilot innovative territorial clusters in Russia: A sustainable development model, *Foresight and STI Governance*, 2015, no. 9, p. 32–55.
- Lindqvist G. *Disentangling clusters: agglomeration and proximity effects*, Stockholm, Economic Research Institute, Stockholm School of Economics, 2009, 314 p.
- Porter M.E. The economic performance of regions, *Regional Studies*, 2003, vol. 37, no. 6–7, p. 549–578.
- Zemtsov S., Barinova V., Pankratov A. et al. Potential high-tech clusters in Russian regions: From current policy to new growth areas, *Foresight and STI Governance*, 2016, vol. 10, no. 3, p. 34–52.
- Электронный ресурс*
СПАРК. URL: <https://spark-interfax.ru/> (дата обращения 01.08.2020).

Поступила в редакцию 19.12.2023
После доработки 05.04.2024
Принята к публикации 26.06.2024

IDENTIFICATION OF HIGH-TECH INDUSTRY CLUSTERS AT THE LEVEL OF RUSSIAN REGIONS AND CITIES IN 2015–2019

R.O. Bobrovskiy¹, M.D. Goryachko²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia*

¹ *Postgraduate student; e-mail: rbobrovskiy@yandex.ru*

² *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: mgoryachko@yandex.ru*

The general understanding that the maximum effect of economic, especially high-tech activities is achieved in places of their concentration, including in clusters, makes the economic policy of supporting clusters extremely important. At the same time, there is a problem of how to identify clusters deserving of such support. There are relatively few studies suggesting methods for identifying the clusters. The article proposes and tests the author's methodology for identifying clusters of high-tech industries based on the calculation of a clustering index. It consists of four components associated with the most important characteristics of clusters, i. e. the geographical concentration of the industry in a region or city, their specialization, communications and competition of companies. The index is calculated as the arithmetic mean of the indicators characterizing these components, normalized by the methods of linear and logarithmic scaling. The methodology is applied at two scale levels, namely regions of Russia and their administrative units. Calculation of the index is based on SPARK data on companies for the period 2015–2019. The results of index calculations were verified in order to identify clusters. As a result of the study, differences in high-tech industries were revealed both in terms of the clustering index and its individual components. From a geographical point of view, clusters of high-tech industry were found not only in the regions with the largest urban agglomerations (mainly Moscow and St. Petersburg) with considerable research and entrepreneurial potential, but also in the regions with large high-tech industry enterprises (Volga and Ural regions). It was also found that clusters in different industries have different territorial structure and scale. In most industries they appear at a city level, but in some industries they have a regional scale. Comparison of the identified clusters with those supported by the government made it possible to conclude that among the identified clusters about 35% receive such support, while among the supported clusters about 50% correspond to identified clusters. Besides, the level of support varies between the industries.

Keywords: clustering index, cooperation links, territorial structure of industry, cluster policy

REFERENCES

- Audretsch D.B., Lehmann E.E., Warning S. University spillovers and new firm location, *Papers on Entrepreneurship, Growth and Public Policy*, 2004, no. 0204, p. 1–24.
- Bortnik I.M., Zemtsov S.P., Ivanova O.V. et al. Stanovlenie innovatsionnykh klasterov v Rossii: itogi pervykh let podderzhki [Formation of innovation clusters in Russia: results of the first years of support], *Innovatsii*, 2015, no. 7(201), p. 26–36. (In Russian)
- Dan'ko T.P., Kutsenko E.S. Osnovnye podkhody k vyyavleniyu klasterov v ekonomike regiona [Major approaches to distinguishing of cluster in the economy of a region], *Problemy sovremennoi ekonomiki*, 2012, no. 1, p. 248–254. (In Russian)
- Enright M.J. Regional clusters: What we know and what we should know, *Innovation clusters and interregional competition*, Advances in spatial science, Berlin, Heidelberg, Springer, 2003, p. 99–129.
- Enright M.J. Survey on the characterization of regional clusters: initial results, *Working paper. University of Hong Kong*, 2000, p. 1–21.
- Isard W., Schooler E.W., Vietorisz T. *Industrial complex analysis and regional development*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1959, 312 p.
- Kenney M., Patton D. Supporting the high-technology entrepreneur: Support network geographies for semiconductor, telecommunications equipment, and biotechnology start-ups, *Working paper. Berkeley Roundtable on the International Economy*, 2004, p. 1–36.
- Kolosovskii N.N. Proizvodstvenno-territorial'noe sochetanie (kompleks) v sovetskoj ekonomicheskoi geografii [Production-territorial combination (complex) in Soviet economic geography], *Voprosy geografii*, 1947, no. 6, p. 133–168. (In Russian)
- Kovaleva T.Yu. Algoritm identifikatsii i otsenki klasterov v ekonomike regiona [Algorithm for identification and evaluation of clusters in the economy of a region], *Vestnik Permskogo universiteta, Seriya Ekonomika*, 2011, no. 4, p. 30–39. (In Russian)
- Kutsenko E. Pilot innovative territorial clusters in Russia: A sustainable development model, *Foresight and STI Governance*, 2015, no. 9, p. 32–55.
- Kutsenko E., Islankina E., Abashkin V. The evolution of cluster initiatives in Russia: the impacts of policy, life-time, proximity and innovative environment, *Foresight*, 2017, vol. 1, no. 2, p. 87–120.
- Kutsenko E.S. Klasteri v ekonomike: osnovy klasternoi politiki gosudarstva [Clusters in the economy: basics of state cluster policy], *Obozrevatel'*, 2009, no. 11, p. 112–120. (In Russian)
- Kutsenko E.S. Klasteri v ekonomike: praktika vyyavleniya [Clusters in the economy: identification practice], *Obozrevatel'*, 2009, no. 10, p. 109–126. (In Russian)
- Leontief W. *Input-output economics*, Oxford University Press, 1966, 435 p.
- Lindqvist G. *Disentangling clusters: agglomeration and proximity effects*, Stockholm: Economic Research Institute, Stockholm School of Economics, 2009, 314 p.

- Porter M. The Competitive Advantage of Nations, New York, Free Press, 1990, 855 p.
- Porter M.E. The economic performance of regions, *Regional Studies*, 2003, vol. 37, no. 6–7, p. 549–578.
- Zemtsov S., Barinova V., Pankratov A. et al. Potential high-tech clusters in Russian regions: From current policy to new growth areas, *Foresight and STI Governance*, 2016, vol. 10, no. 3, p. 34–52.
- Zemtsov S.P., Bukov D.V. Metody vyyavleniya klasterov malogo i srednego biznesa [Methods to identify clusters of small and medium-sized businesses], *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika*, 2016, no. 3(426), p. 104–117. (In Russian)
- Web source*
SPARK [System of professional analysis of markets and companies], URL: <https://spark-interfax.ru/> (access date 08.01.2020).

Received 19.12.2023

Revised 05.04.2024

Accepted 26.06.2024

ДИНАМИКА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 551.89(571.63)

ВЛИЯНИЕ ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СИХОТЭ-АЛИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА ПО ДАННЫМ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

М.С. Лящевская¹, А.М. Паничев²^{1,2} Тихоокеанский институт географии ДВО РАН¹ Лаборатория палеогеографии и геоморфологии, вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: lyshevskay@mail.ru² Лаборатория экологии и охраны животных, вед. науч. сотр., д-р биол. наук; e-mail: sikhote@mail.ru

Исследованы взаимосвязи между изменением климата в позднем голоцене и развитием кедровых лесов на территории Сихотэ-Алинского биосферного заповедника в зоне среднегорья. Около 2640 календарных лет назад (кал. л. н.) в условиях умеренно теплого климата на месте современного кедрового леса развивались кедрово-дубовые формации с участием ели аянской (*Picea ajanensis*) и пихты белокорой (*Abies nephrolepis*), а также широколиственных пород, берез, ольхи и с примесью лиственницы. При наступлении наиболее теплых условий около 2280 кал. л. н. произошло максимальное обводнение оз. Нижнего, увеличение его площади и активное развитие водной и прибрежно-водной растительности. Повышение среднегодовых и среднелетних температур способствовало снижению в ценозах позиций доминанта – кедра корейского (*Pinus koraiensis*) и усилению роли дуба монгольского (*Quercus mongolica*). Ухудшение климатических условий около 2050 кал. л. н. привело к смене хвойно-широколиственного леса формацией кедровников, которая на территории Сихотэ-Алинского заповедника оказалась вполне устойчивой системой и просуществовала вплоть до середины XVII в., когда наступили самые холодные условия за последние 2640 кал. л. (Маундеровский минимум солнечной активности). В это время произошло снижение границы темнохвойных лесов, на склонах, окружающих оз. Нижнее, получил развитие ельник с кедром и незначительной примесью берез, широколиственных. При смягчении климата ельник сменился сначала елово-пихтовым лесом с кедром и примесью широколиственных, а затем в условиях современного потепления кедровником с участием темнохвойных и редкой примесью широколиственных. Наиболее сухой период за рассматриваемый период имел место примерно 2330 кал. л. н. В это время уровень озера значительно снизился, зарастание происходило осоково-злаковыми сообществами. Активное зарастание началось, когда понизился уровень грунтовых вод во время похолодания и существенного сокращения количества атмосферных осадков, около 1500 кал. л. н. Климатогенные сукцессии кедровых лесов Сихотэ-Алинского заповедника отражают региональные закономерности развития подобных лесных сообществ и сопоставляются с глобальными палеоклиматическими событиями.

Ключевые слова: Солонцовские (Шандуйские) озера, торфяник, пыльца, радиоуглеродное датирование, палеорекострукции, кедровые леса, Центральный Сихотэ-Алинь

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.6

ВВЕДЕНИЕ

Палеогеографические исследования в заповедниках и национальных парках России и за ее пределами могут рассматриваться в качестве методологической основы для проведения оценки уязвимости природных комплексов к изменениям климата и антропогенной нагрузке, с целью их сохранения и восстановления. Для исследований роли климатического фактора в развитии горно-таежных лесов Сихотэ-Алиня был выбран в качестве модельной территории Сихотэ-Алинский государ-

ственный природный биосферный заповедник имени К.Г. Абрамова, расположенный в центральной части Сихотэ-Алиня. Заповедник внесен в Список всемирного наследия ЮНЕСКО как объект, имеющий естественную среду обитания для сохранения исчезающих видов флоры и фауны. По геоботаническому районированию Б.П. Колесникова [1961] территория заповедника расположена в пределах двух геоботанических областей: Восточноазиатской хвойно-широколиственной и Южно-охотской темнохвойно-лесной. Сложный рельеф, а также со-

четание восточносибирских, охотских и маньчжурских видов растений обуславливают своеобразие растительных сообществ и относительное богатство флористического состава [Растительный..., 1982]. Господствующим типом растительного покрова заповедника является лесной, занимающий более 90% площади. Изучение динамики климата и растительности в прошлые эпохи позволит спрогнозировать возможные изменения растительных сообществ при различных сценариях будущих изменений климата [Новенко и др., 2014].

Цель данной работы – выявить взаимосвязи между изменением климата в позднем голоцене и развитием кедровых лесов на территории Сихотэ-Алинского заповедника.

Природные особенности района исследования.

Характерной особенностью рельефа заповедника является морфоструктурная асимметрия Сихотэ-Алиня: пологий западный макросклон и крутой восточный. Высшая точка заповедника – г. Глухоманка (1598 м). Климат на западном и восточном склонах Сихотэ-Алиня различен. На морском побережье лето прохладнее, а зима намного теплее, чем в континентальной части. Среднегодовая температура на берегу моря составляет +3,4°C, в предгорьях восточных склонов – 1,6°C, на западных склонах – 0,4°C. Годовое количество осадков – соответственно 813, 682 и 689 мм [Примпогода, 2023].

Растительность Сихотэ-Алинского заповедника имеет хорошо выраженную высотную поясность. Наиболее богатой и своеобразной во флористическом отношении лесной формацией заповедника являются кедрово-широколиственные леса, которые образуют самостоятельный пояс на высоте 200–600 м над уровнем моря (ур. м.).

Цепочка Солонцовских (Шандуйских) озер, расположенных на восточном макросклоне Сихотэ-Алиня, находится в верховьях ручья Солонцового – левого притока реки Заболоченной, среди руин палеоценового стратовулкана Солонцовский (Шандуйский), на высоте от 500 до 800 м над ур. м. (рис. 1). Образование 10 озер связано с мощным оползнем риолитовых лав и туфов, перекрывших русло ручья. Причиной его возникновения могло быть переувлажнение обильными осадками или землетрясение [Разжигаета и др., 2021]. Оползень, приведший к формированию оз. Изюбриные Солонцы, произошел около 4380 кал. л. н. [Разжигаета и др., 2017]. Уровень воды в озерах варьирует в зависимости от подземного стока. Самым крупным является оз. Большое Солонцовое (Царское). Озеро Изюбриные Солонцы находится на абс. высоте 750 м в поясе пихтово-еловых лесов (700–1200 м). Озеро Нижнее (100×50 м) расположено на высоте 565 м абс. на территории Сихотэ-Алинско-

го заповедника в пределах пояса кедровых лесов (400–700 м). В настоящее время оно представляет собой обводненное олиготрофно-дистрофное болото. Котловина оз. Нижнего заполнена торфом, открытая вода появляется здесь после сильных ливней. По берегам растет лиственница Каяндера (*Larix cajanderi*). Склоны покрыты кедровником с участием пихты белокорой (*Abies nephrolepis*) и ели аянской (*Picea ajanensis*). В травяном покрове преобладают пушицы Шейхцера и влагищная (*Eriophorum scheuchzeri*), осоки скрытоплодная и Миддендорфа (*Carex cryptocarpa*, *C. middendorffii*), встречается очеретник белый (*Rynchospora alba*), камыш озерный (*Schoenoplectus tabernaemontanii*), единично ирис, щитовник болотный (*Dryopteris thelypteris*), в небольшом количестве присутствуют сфагновые мхи [Разжигаета и др., 2021].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Реконструкция позднеголоценовой истории лесной растительности на территории Сихотэ-Алинского заповедника выполнена по палинологическим данным отложений оз. Нижнего (N 45°25'235", E 136°30'585") (см. рис. 1). Разрез (0317) был пробурен с помощью ручного торфяного бура Гиллера-1 (ТБГ-1) в краевой части озера. Вскрыто 3,25 м плотного торфа. Отбор проб проводился с шагом 5 см. Обработка образцов для спорово-пыльцевого анализа проводилась по методике В.П. Гричука. Определение таксонов выполняли с использованием специальных атласов-определителей [Nakamura, 1980]. При подсчете за 100% принималась сумма пыльцы древесной и травянистой растительности. Обработка данных и построение спорово-пыльцевой диаграммы проводились с помощью программы TILIA и TILIA-Graph. Пыльцевые зоны выделены на основе изменений таксономического состава спектров и с учетом их кластеризации при помощи программы CONISS.

Результаты ботанического состава торфа и диатомового анализа отложений оз. Нижнего для разреза 0317 опубликованы в [Разжигаета и др., 2021; Razjigaeva et al., 2023].

Радиоуглеродное датирование образцов торфа выполнено в СПбГУ. Калибровка радиоуглеродных дат сделана с помощью программы OxCal 4.4, калибровочная кривая IntCal 20. Калиброванный возраст определен по модели в программе Bacon 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возрастная модель, созданная по шести радиоуглеродным датам (табл.), показала, что скорости торфонакопления в котловине оз. Нижнего были достаточно равномерными (рис. 2). На начальном эта-

пе торф накапливался со скоростью 0,8–1 мм/год. Около 1290 кал. л. н. скорости возросли до 1,6–1,7 мм/год, несколько снизились 980–620 кал. л. н. (до 1,4 мм/год), возросли около 620–320 кал. л. н. (1,6–1,7 мм/г) и уменьшились в последние 400 лет до 1,2–1,4 мм/год. Временное разрешение реконструкций составляет 50–60 лет, а для последних 1290 кал. л. – 30–40 лет [Раззигаева и др., 2021].

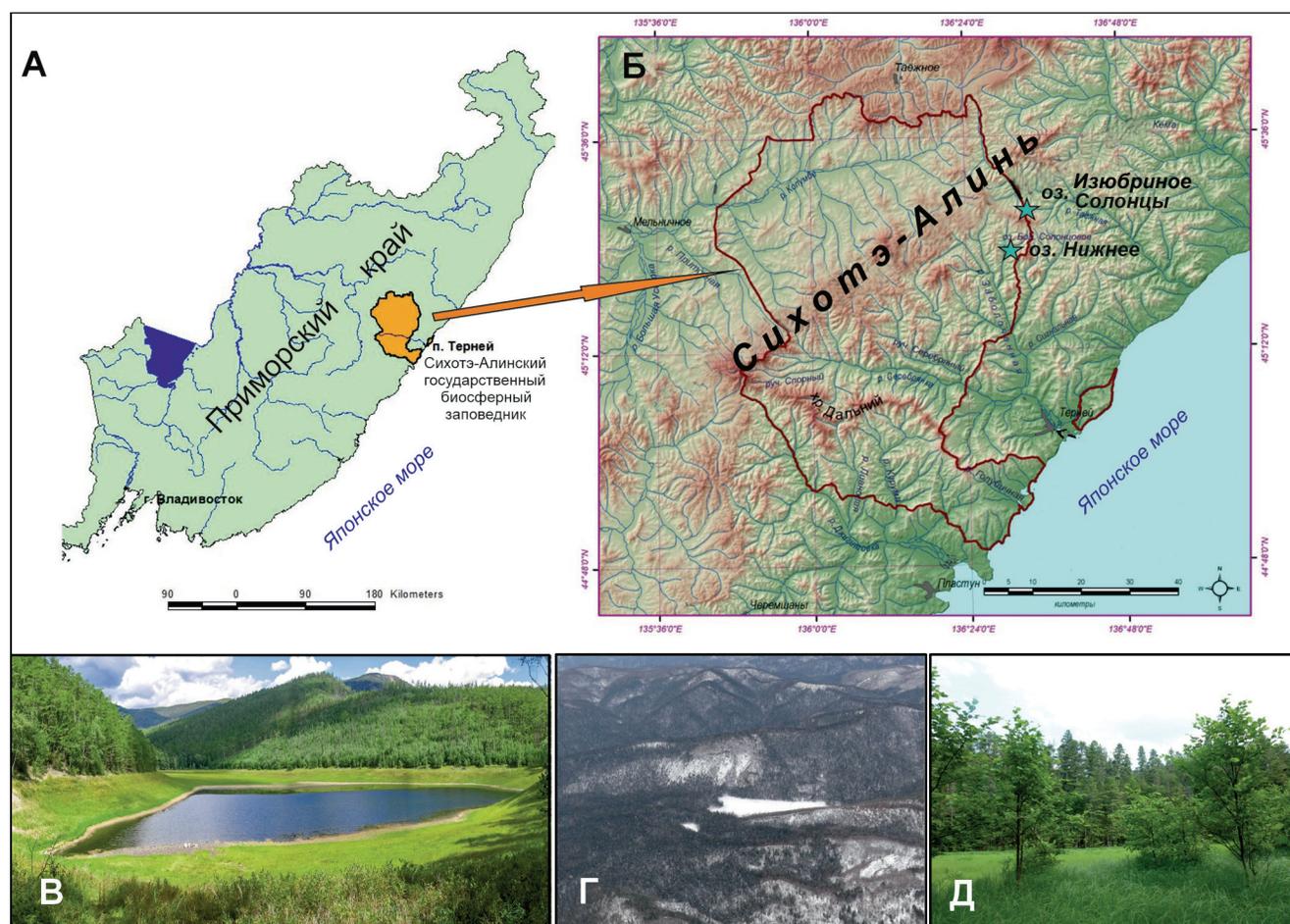


Рис. 1. Район работ и местоположение изученного озера:

А – географическое положение Сихотэ-Алинского биосферного заповедника; Б – схема расположения озер Нижнее и Изюбриные Солонцы; В – оз. Большое Солонцовское (Царское); Г – озера Большое Солонцовское и Нижнее; Д – оз. Нижнее

Fig. 1. Field work area and location of the studied lake:

A – geographical location of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve; Б – location of Nizhnee and Izyubrinye Solontsi lakes; В – Bolshoe Solontsovskoe (Tsarskoe) Lake; Г – Bolshoe Solontsovskoe and Nizhnee lakes; Д – Nizhnee Lake

Таблица

Радиоуглеродный, календарный возраст и скорости накопления отложений озера Нижнее

Лаб. номер (ЛУ)	Интервал, см	Радиоуглеродный возраст, лет	Календарный возраст, кал. л. (2σ)	Моделированный возраст, кал. л.	Скорость торфонакопления по моделированному возрасту (интервал), мм/год
8838	45–50	470±100	480±100	285–320	1,2–1,4
8839	95–100	530±90	550±80	591–622	1,6–1,7
8840	145–150	1100±80	1030±90	944–980	1,4–1,5
8841	195–200	1220±60	1150±70	1258–1289	1,6–1,7
8842	245–250	1850±70	1780±90	1671–1814	1–1,2
8843	285–290	2330±70	2380±130	2220–2279	0,8–1

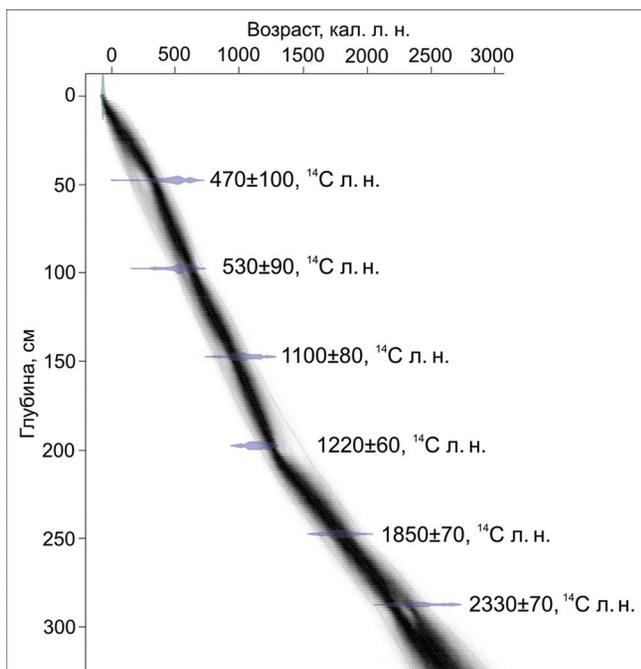


Рис. 2. Возрастная модель накопления отложений оз. Нижнего

Fig. 2. Age model of sediment accumulation in the Nizhnee Lake

Спорово-пыльцевой анализ. Согласно полученным результатам в спорово-пыльцевых спектрах изученного разреза преобладает пыльца деревьев и кустарников (51–92%), ведущие компоненты представлены пыльцой *Pinus* s/g *Haploxyton*, *Picea*, *Abies*, *Betula* sect. *Costatae* и *B. sect. Albae*, *Quercus mongolica*, *Alnus*. Пыльца *Larix*, *Ulmus*, *Corylus*, *Tilia*, *Spirea*, *Cornus*, *Juglans mandshurica*, *Carpinus cordata*, *Fraxinus*, *Salicaceae* и фригидных кустарников (*Betula* sect. *Fruticosa*, *Alnus alnobetula*) присутствует в небольшом количестве (до 3%). Группа трав немногочисленна (5–35%). Доминирует пыльца Сурегасеае, отмечена пыльца Роасеае, *Artemisia*, *Ranunculaceae*, а также мезофитов, гидрофитов и гигрофитов. В спектрах выявлены споры *Polypodiaceae*, *Sphagnum* и *Osmundastrum asiaticum*. На основании изменений состава спектров и кластерного анализа выделено 10 пыльцевых зон (ПЗ), соответствующих основным фазам развития растительности (рис. 3).

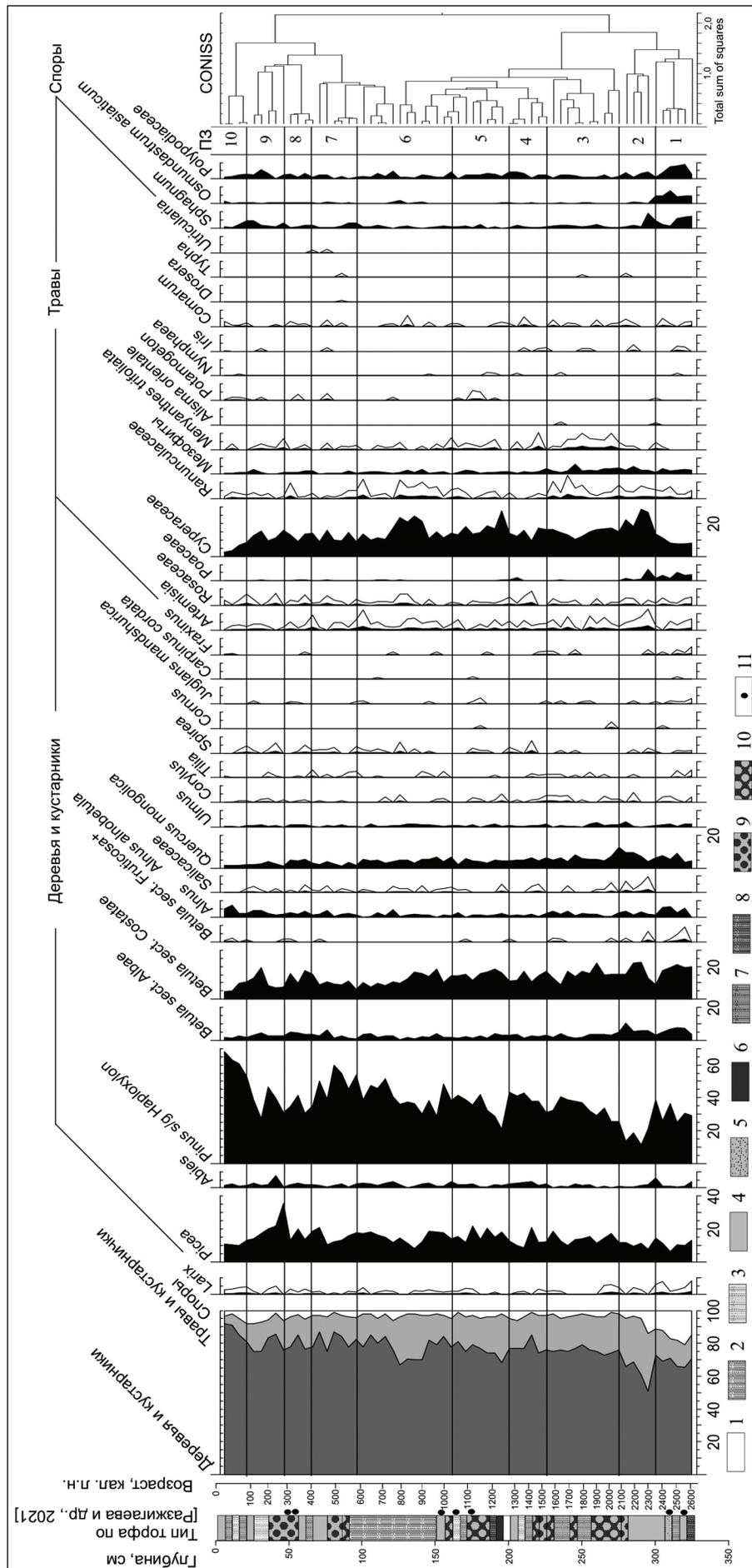
ПЗ 1 (2640–2330 кал. л. н., инт. 295–325 см). Характеризуется доминированием пыльцы хвойных: *Pinus* s/g *Haploxyton* (до 39%), *Picea* (до 15%), *Abies* (до 6%) и *Larix* (до 2%). Среди мелколиственных преобладает пыльца берез: *Betula* sect. *Costatae* (до 21%), *B. sect. Albae* (до 8%), *B. sect. Fruticosa* (до 2%). Присутствует пыльца *Alnus* (до 7%) и единично *A. alnobetula*. Из широколиственных встречена пыльца *Quercus mongolica* (до 9%), *Ulmus* (до 2%) и единично *Corylus*, *Tilia*, *Spirea*, *Cornus*, *Juglans mandshurica*, *Carpinus cordata* и *Fraxinus*. В группе трав (до 19%) доминирует пыльца

Сурегасеае (до 14%). В меньшем количестве присутствует пыльца Роасеае (до 5%) и других мезофитов. Из гидрофитов и гигрофитов (до 2%) найдена пыльца *Menyanthes trifoliata*, *Alisma orientale*, *Potamogeton*, *Nymphaea*, *Iris*. В ПЗ 1 отмечено максимальное обилие спор (до 21%) для всего разреза: *Polypodiaceae* (до 9%), *Osmundastrum asiaticum* (8%), *Sphagnum* (до 7%), единично *Equisetum*. Состав и соотношение основных компонентов спорово-пыльцевых спектров ПЗ 1 отражают как региональную растительность – кедровые леса с примесью темнохвойных, широколиственных и берез, так и азональную – заболоченный лиственничник, а также локальную – водные и прибрежно-водные растения.

ПЗ 2 (2330–2050 кал. л. н., инт. 270–295 см). В начале ПЗ резко сокращается количество древесной пыльцы до 51% (минимальное значение для всего разреза) и увеличивается травянистой до 35% (максимум для всего разреза), но далее наблюдается постепенный рост объема древесной пыльцы. Здесь же зафиксировано самое высокое содержание пыльцы *Quercus* (до 13%). Доля *Pinus* s/g *Haploxyton* сокращается до 11%, уменьшается количество *Picea* и *Abies*. Учитывая, что содержание пыльцы широколиственных в современных спектрах существенно занижено по отношению к их участию в кедровниках, присутствие пыльцы широколиственных >10% свидетельствует об их существенной роли в древостое. В спектрах снижается участие *Alnus*, появляется *Salicaceae* (до 2% – максимальное содержание для всего разреза). В группе трав значительно увеличивается доля Сурегасеае (до 28%), уменьшается Роасеае. Количество спор сокращается до 2%. ПЗ 2 свидетельствует о развитии кедровника с дубом и большим участием березы.

ПЗ 3 (2050–1500 кал. л. н., инт. 220–270 см). Возрастает сумма пыльцы *Pinus* s/g *Haploxyton* до 41% и *Picea* до 18%. Содержание пыльцы *Betula* sect. *Costatae* – до 22%, *Abies* – до 3%. Уменьшается участие *Quercus* (до 4%), *B. sect. Albae*, *Salicaceae*. В группе трав снижается сумма Сурегасеае (до 10%), увеличивается доля мезофитов (до 6%). Участие спор – до 5%. ПЗ 3 говорит о развитии кедровых лесов с елью и пихтой, а также с незначительным участием широколиственных и березы ребристой (желтой).

ПЗ 4 (1500–1260 кал. л. н., инт. 195–220 см). Уменьшается количество широколиственных, *Betula* sect. *Costatae* (до 11%), *Alnus*. Содержание хвойных: *Pinus* s/g *Haploxyton* до 43%, *Picea* до 21%, *Abies* до 4%. В группе трав сокращается доля гидро- и гигрофитов, несколько возрастает у Роасеае, *Artemisia* и *Rosaceae*. Среди спор (до 6%) увеличивается участие *Polypodiaceae*. ПЗ 4 отражает распространение кедрово-еловых лесов с пихтой и кустарниковым подлеском с розоцветными.



ПЗ 5 (1260–1040 кал. л. н., инт. 160–195 см). Несколько увеличивается доля широколиственных и *Betula sect. Costatae* (до 18%). Роль *Pinus s/g Haploxyton* в начале ПЗ снижается до 21%, а Сурегасеае возрастает до 28%. Увеличивается количество пыльцы гидро- и гигрофитов: *Menyanthes trifoliata*, *Iris*, *Nymphaea*, *Comarum*. В группе споровых (до 5%) доминирует Polypodiaceae. ПЗ 5 говорит о развитии кедрово-широколиственного леса с доминированием кедра, кроме того здесь наблюдается два коротких эпизода, в течение которых количество широколиственных пород, берез, а также пихты уменьшается в составе древостоев, а вот кедра и ели возрастает. На заболоченных участках происходит развитие осоковых сообществ, вокруг озера появляется ива и возрастает присутствие ольхи.

ПЗ 6 (1040–590 кал. л. н., 95–160 см). Снижается количество пыльцы деревьев и кустарников до 67% и увеличивается трав до 29%, особенно Сурегасеае (до 24%) в середине ПЗ. Доля *Pinus s/g Haploxyton* возрастает до 51%, широколиственных – до 9%, а *Betula sect. Costatae* уменьшается до 8%. Сокращается участие гидро- и гигрофитов. Содержание спор – до 6%. ПЗ 6 свидетельствует о господстве кедрово-широколиственного леса с заметным участием широколиственных, а также о зарастании озера преимущественно осоковыми сообществами.

ПЗ 7 (590–380 кал. л. н., 60–95 см). Доля *Pinus s/g Haploxyton* в первой половине ПЗ увеличивается до 60%, а во второй уменьшается до 35%, участие *Picea* возрастает до 21%. Сокращается количество широколиственных, *Quercus* до 1%, а также *Betula sect. Costatae* до 6%. В группе трав доминирует Сурегасеае (до 16%), несколько возрастает содержание гидро- и гигрофитов: *Drosera*, *Menyanthes trifoliata*, *Iris*, *Typha*, *Comarum*, *Potamogeton*, *Utricularia*. Доля спор – до 4%, в начале ПЗ *Sphagnum* до 3%. В первой половине ПЗ 7 развивался кедровый лес с незначительным участием широколиственных и берез, а во второй он сменился на елово-кедровый.

ПЗ 8 (380–290 кал. л. н., 45–60 см). Увеличивается участие широколиственных до 9% и *Betula sect. Costatae* до 18%. Доля *Pinus s/g Haploxyton* снижается до 30%, *Picea* до 13%. В группе трав преобладает Сурегасеае (до 13%). Сумма спор – до 5%, доминирует Polypodiaceae. ПЗ 8 отражает доминирование в древостое кедра корейского с небольшой примесью широколиственных пород и берез.

ПЗ 9 (290–130 кал. л. н., 25–45 см). Зафиксировано самое большое количество пыльцы *Picea* до 35% в разрезе, с пиком в начале ПЗ, после которого следует пик *Abies* (8%). Содержание широколиственных, *Betula sect. Costatae*, *B. sect. Albae* уменьшается.

Участие *Pinus s/g Haploxyton* увеличивается после снижения доли темнохвойных. Среди трав преобладает Сурегасеае (до 16%). В группе споровых (до 7%) увеличивается присутствие Polypodiaceae и *Sphagnum*. Начало ПЗ 9 свидетельствует о развитии елового леса с незначительной примесью кедра, берез, широколиственных, но довольно скоро он становится елово-пихтовым, в его составе увеличивается доля кедра и широколиственных, появляется лиственница.

ПЗ 10 (последние 130 кал. л. н., 0–25 см). Зафиксировано самое высокое содержание пыльцы деревьев до 92% и *Pinus s/g Haploxyton* до 68% в разрезе. Доля *Picea*, *Abies*, *Betula sect. Costatae*, *B. sect. Albae* и широколиственных уменьшается. Увеличивается участие *Alnus* до 7%. В группе трав (до 5%) сокращается количество Сурегасеае до 3%, уменьшается сумма спор до 2%. ПЗ 10 говорит об экспансии кедра в лесном фитоценозе, а также об увеличении участия лиственницы и ольхи вокруг озера.

Состав выделенных палинозон отражает изменения климатических условий на территории Сихотэ-Алинского заповедника за последние 2640 кал. л. н. В котловине в период 2640–2330 кал. л. н. существовало озеро с развитой литоральной зоной [Разжигаета и др., 2021]. На окружающих склонах были распространены кедровники с елью и пихтой, дубом и березой, и осоково-мелкотравным с папоротниками покровом. В сложении древостоя единично встречались липа, ильм, лещина. На заболоченных участках произрастали лиственничники с ольхой и подлеском из кустарниковой березки, спиреи и вересковых. В травяном покрове преобладали осоки, злаки, полынь, а также значительное количество гидрофитов: вахта трехлистная (*Menyanthes trifoliata*), ирис, частуха восточная (*Alisma orientale*), хвощ. На озере встречались кувшинка, рдест. По данным ботанического состава торфа [Разжигаета и др., 2021] на болоте росли камыш озерный, хвощ приречной (*Equisetum fluviatile*), кувшинка белая (*Nymphaea alba*) и сфагновые мхи. Климат был близок современному. Раннесубатлантическое потепление было также установлено на побережье юго-западного Приморья [Микишин и др., 2008]. На основе палеомагнитных моделей в периоды 640–550 и 490–420 л. до н. э. (2590–2500 и 2440–2370 кал. л. н. соответственно) были определены гранд-максимумы солнечной активности [Usoskin et al., 2007]. Ослабление Сибирского антициклона около 2500 кал. л. н. обусловило теплые, сухие и более континентальные летние периоды [Nagashima et al., 2013; Harada et al., 2014; Brooks et al., 2015] (рис. 4).

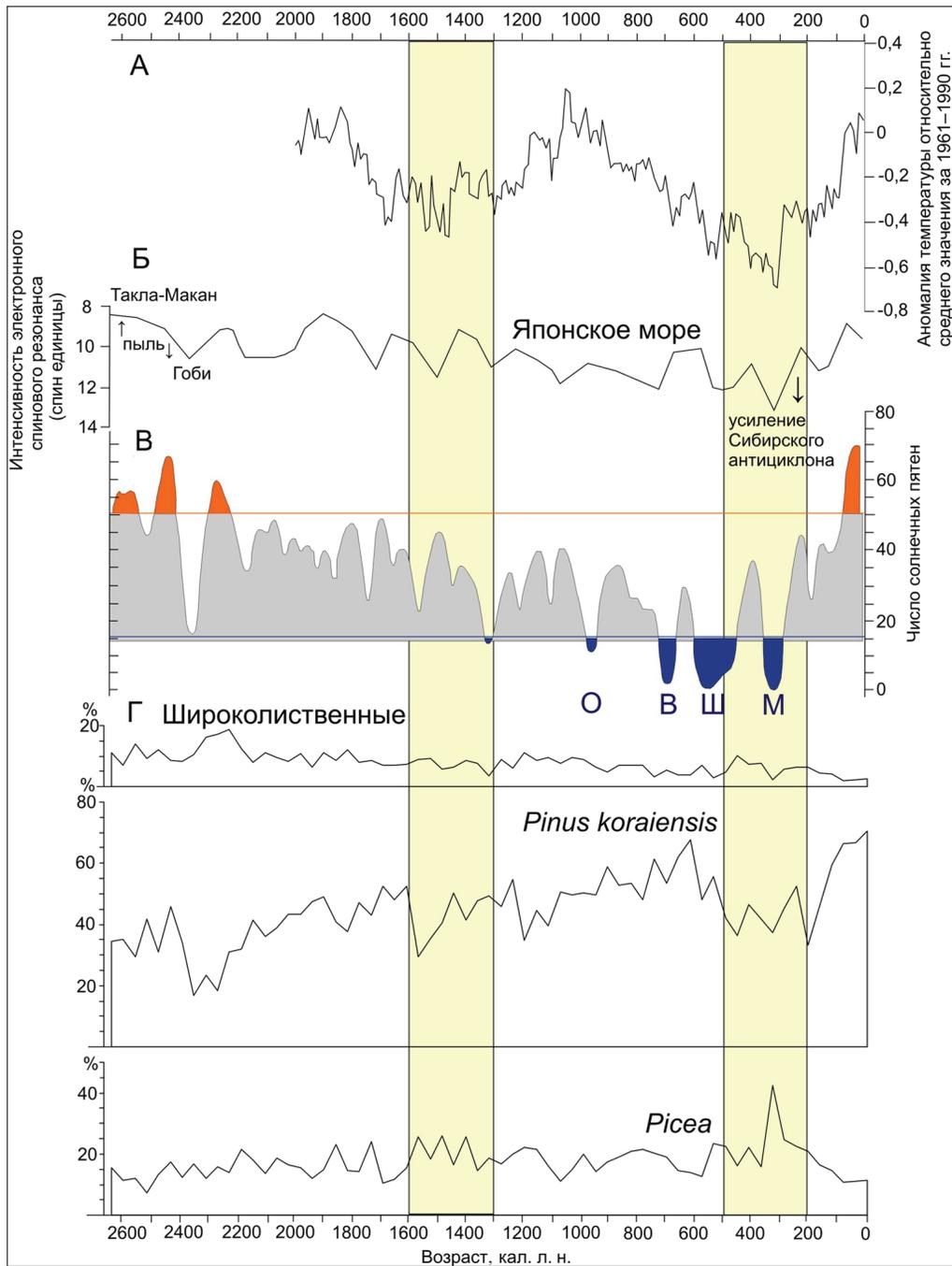


Рис. 4. Сопоставление выборочных прокси-записей из отложений оз. Нижнего с солнечной активностью, палеотемпературами, интенсивностью Сибирского антициклона и Восточно-азиатского летнего муссона:

А – изменение средней температуры внутритропического Северного полушария ($90\text{--}30^\circ$ с. ш.) относительно средней инструментальной температуры 1961–1990 гг. [Ljungqvist, 2010]; Б – сигнал кристаллов эолового кварца в илстой фракции в отложениях Японского моря, обнаруженный с помощью электронного спинового резонанса, как показатель атмосферной циркуляции [Nagashima et al., 2013; Harada et al., 2014]; В – флуктуации солнечной активности, голубые и оранжевые области обозначают гранд-минимумы и максимумы соответственно [Usoskin et al., 2007], периоды больших солнечных минимумов:

О – Оорта, В – Вольфа, Ш – Шперера, М – Маундера; Г – пыльца широколиственных, *Pinus koraiensis* и *Picea* (%).

Вертикальные желтые полосы показывают периоды ослабления летнего муссона [Li et al., 2011]

Fig. 4. Comparison of selected proxy records from the Nizhnee Lake sediments with solar activity, palaeotemperatures, and intensity of the Siberian High and the East Asian summer monsoon:

А – variations of decadal mean temperature of the extra-tropical Northern Hemisphere ($90\text{--}30^\circ\text{N}$) relative to 1961–1990 mean instrumental temperature [Ljungqvist, 2010]; Б – source signal of aeolian silt-sized quartz in the Japan Sea sediments revealed by electron spin resonance, as a proxy of atmospheric circulation [Nagashima et al., 2013; Harada et al., 2014]; В – sunspot activity, blue and orange areas denote grand minima and maxima, respectively [Usoskin et al., 2007], periods of the Grand Solar Minima:

О – Oort, В – Wolf, Ш – Spörer, М – Maunder; Г – Broad-leaved, *Pinus koraiensis* and *Picea* pollen (%). The vertical yellow bars show the periods of summer monsoon weakening [Li et al., 2011]

Около 2330 кал. л. н. по данным диатомового анализа [Разжигаева и др., 2021] произошло кратковременное снижение уровня озера. На осушенных участках развивались осоково-злаковые сообщества, по берегам на сырых лугах появилась ива. Период 2330–2280 кал. л. н. был самым сухим за последние 2640 кал. л. Исследования оз. Изюбриные Солонцы показали, что в это время уровень грунтовых вод упал, озеро обмелело и сократило свою площадь [Разжигаева и др., 2017].

Примерно 2280–2110 кал. л. н. происходит максимальное обводнение оз. Нижнего [Разжигаева и др., 2021]. На окружающих склонах развиваются смешанные хвойно-широколиственные леса с большим участием березы. Наступление неморальных лесов на тайгу было связано с повышением среднегодовых и среднелетних температур [Урусов, 1988]. Климат был теплее и влажнее современного. Улучшение климатических условий привело к очередной трансгрессии Японского моря [Микишин и др., 2008]. В период 300–230 л. до н. э. (2250–2180 кал. л. н.) был выделен гранд-максимум солнечной активности [Usoskin et al., 2007] (см. рис. 4).

Около 2050 кал. л. н. климатические условия ухудшаются. На месте хвойно-широколиственных лесов развиваются кедровники с елью и пихтой, незначительным участием широколиственных, а также берез. Климат был холоднее современного. Уровень моря располагался ниже современного [Микишин и др., 2008]. Для северо-восточного Китая отмечено значительное увеличение содержания пыльцы *Pinus koraiensis* в спорово-пыльцевых комплексах, начиная с 1900 кал. л. н. [Li et al., 2011]. А в течение 1800–1100 кал. л. н. наблюдается максимум пыльцы *Abies* и *Picea*, указывающий на расширение ареала темнохвойных лесов и холодный, влажный климат этой территории. Температура упала примерно на 2°C [Sun, Yuan, 1990]. В Японии 1760–1220 кал. л. н. отмечена холодная стадия климата «Кофун» [Sakaguchi, 1983]. В период 1650–1350 л. н. выделяется глобальное холодное событие – похолодание Темных веков, связанное со снижением инсоляции [Ljungqvist, 2010] (см. рис. 4).

Около 1500 кал. л. н. количество широколиственных в кедровых лесах заметно уменьшается, снижается участие берез, ольхи. Вокруг озера единично встречались лиственница и ива, сократились водные и прибрежно-водные сообщества, по берегам увеличилось мезофильное разнотравье. Примерно 1440 кал. л. н. усиливается роль темнохвойных. Пик похолодания в районе Солонцовских озер (1500–1440 кал. л. н.) сопровождался существенным сокращением количества атмосферных осадков, понижением уровня грунтовых вод и периодом сильного зарастания озера [Разжигаева и др.,

2021]. Причиной снижения количества атмосферных осадков могло быть ослабление летнего муссона около 1600–1300 л. н. [Li et al., 2011]. Усиление похолодания 1480–1330 кал. л. н. было зафиксировано на восточном, юго-восточном и южном побережьях Приморья [Короткий и др., 2004; Микишин, Гвоздева, 2014; Лящевская и др., 2023], а также на побережье оз. Ханка [Микишин и др., 2007]. Похолодание было отмечено на Сахалине [Микишин, Гвоздева, 2016; Leipe et al., 2015] и в Охотском море [Gorbarenko et al., 2014]. Глобальный характер события подтверждается его регистрацией в ядрах льда Гренландии [Mayewski et al., 2004], а также в других регионах Азии с муссонным климатом [Hong et al., 2003; Wang et al., 2005; Leipe et al., 2014]. В период 650–720 гг. н. э. был определен гранд-минимум солнечной активности [Usoskin et al., 2007] (см. рис. 4).

Примерно 1260 кал. л. н. в кедровых лесах увеличивается доля широколиственных, а также березы. В результате увеличения влажности на заболоченных участках развиваются осоковые сообщества. Климат становится более теплым и влажным по отношению к предыдущему, был близок современному, соответствует наступлению средневекового климатического оптимума (VIII–XIII вв.). Реконструированные летние температуры для восточного Приморья превышали современные примерно на 1,5°C [Назарова и др., 2021]. На островном и континентальном побережьях юга Дальнего Востока, потепление проявилось во всех ландшафтных зонах [Razjigaeva et al., 2019]. В Японии теплая стадия Нара-Хейан-Камакура (1220–650 кал. л. н.) характеризовалась более теплыми зимними и летними сезонами [Sakaguchi, 1983]. По мнению В.М. Федорова и П.Б. Гребенникова [2020], средневековый климатический оптимум был связан, прежде всего, с зимним потеплением в Северном полушарии из-за максимума в меридиональном переносе тепла. Уровень Японского моря поднялся примерно на 0,5 м по отношению к современному, трансгрессия продолжалась не менее 400 лет [Короткий и др., 2004].

Потепление в течение средневекового климатического оптимума перемежалось кратковременными холодными периодами. Около 1190 кал. л. н. в составе древостоев уменьшается количество широколиственных пород, берез и пихты, возрастает кедр и ели. Уровень оз. Нижнего снизился [Разжигаева и др., 2021], водоем стал зарастать травянистой растительностью. Причиной могло быть кратковременное похолодание. Но примерно через 60 лет вновь наблюдается тенденция на увеличение доли широколиственных. Около 1070 кал. л. н. наступает очередной кратковременный холодный период, резко сокращается участие широколиственных пород и несколько увеличивается роль кедра, ели и ольхи. Ус-

ловия были достаточно сухими. Возможно, что некоторое влияние на изменения в растительном покрове оказал пирогенный фактор [Разжигаета и др., 2021].

В период 1040–590 кал. л. н. на территории Сихотэ-Алинского заповедника наступают самые теплые условия в течение средневекового климатического оптимума. Доля широколиственных увеличивается. Самые теплые условия для оз. Изюбриные Солонцы были около 880–730 кал. л. н., зафиксировано максимальное количество пыльцы дуба, уменьшение содержания ели и увеличение пихты [Разжигаета и др., 2017]. Изучение структуры местной популяции тиса остроконечного (*Taxus cuspidate*) – реликта третичного периода, в Сихотэ-Алинском заповеднике показало, что существуют группы особей, возрастом 850–1040 лет и 650–720 лет, появившиеся в периоды максимального благоприятствования (мягкий гумидный климат) для развития тиса [Растительный..., 2000]. В докладе МГЭИК [IPCC..., 2013] климат с 950–1250 гг. н. э. в Северном полушарии был признан аномально теплым и мягким.

Около 910–760 кал. л. н. происходит снижение уровня оз. Нижнего и активное зарастание. Возможно, иногда оно полностью зарастало [Разжигаета и др., 2021] осоковыми сообществами. Уменьшение количества атмосферных осадков и снижение обводнения зафиксировано и для оз. Изюбриные Солонцы [Разжигаета и др., 2017]. Причиной могло быть похолодание, в результате гранд-минимума солнечной активности Оорта в 1010–1070 гг. н. э. [Usoskin et al., 2007] (см. рис. 4).

В течение 590–380 кал. л. н. заметно сокращается участие широколиственных пород и берез. Доля кедра в первой половине периода увеличивается, а во второй уменьшается, в то время как участие ели возрастает. Таким образом, вторая половина периода была холоднее. В отложениях оз. Изюбриные Солонцы возрастом около 580 и 440 кал. л. н. отмечено почти полное исчезновение пыльцы широколиственных пород [Разжигаета и др., 2017]. В юго-восточном Приморье в период с 1330 по 1630 г. зимние температуры были значительно ниже, чем в последующие 250 лет [Лящевская и др., 2023]. Зафиксированное на территории заповедника похолодание совпадает с наступлением малого ледникового периода (середина XIV в. – первая половина XIX в.). Расширение ледников произошло в XIV и в XVII–XVIII вв. В интервале 1390–1550 гг. был определен гранд-минимум солнечной активности Шперера [Usoskin et al., 2007]. Холодные зимы во время малого ледникового периода были вызваны усилением Сибирского антициклона [Brooks et al., 2015]. На территории Северо-Восточного Китая в период 500–200 кал. л. н. наблюдалось ослабление муссонов [Li et al., 2011] (см. рис. 4).

Примерно 380 кал. л. н. климат улучшился, увеличилось участие широколиственных и берез, произошло кратковременное обмеление оз. Нижнего [Разжигаета и др., 2021]. На территории Сихотэ-Алинского заповедника есть группа особей тиса, возрастом 390–520 лет, которая появилась в период улучшения климатических условий в течение малого ледникового периода [Растительный..., 2000]. По данным дендрохронологии в Южном Сихотэ-Алине теплые периоды имели место в 1560–1585, 1600–1610, 1614–1618 гг. [Ukhvatkina et al., 2018].

Около 290 кал. л. н. в лесном фитоценозе происходит смена доминантов, широкое развитие получают еловые леса с незначительной примесью кедра, берез, широколиственных. Возможно некоторое влияние на смену растительности оказали пожары около озера 350–290 кал. л. н. [Разжигаета и др., 2021]. Примерно через 40 лет фитоценотические позиции ели уменьшаются и резко увеличиваются у пихты. Возрастает участие кедра и широколиственных. Зафиксированное похолодание совпадает с Маундеровским гранд-минимумом солнечной активности (1640–1720 гг.) [Usoskin et al., 2007] – самым холодным временем малого ледникового периода (см. рис. 4) и самым холодным периодом за последние 2640 кал. л. н. в центральном Сихотэ-Алине. Холодная фаза на оз. Изюбриные Солонцы произошла около 330–160 кал. л. н., когда в лесной растительности уменьшилась роль широколиственных и возросло участие ели [Разжигаета и др., 2017]. Холодная температурная аномалия в южном Сихотэ-Алине по данным дендрохронологии произошла в 1675–1689 гг. [Ukhvatkina et al., 2018]. Анализ исторических документов для Северо-Китайской равнины и реконструкция зимних полугодовых (с октября по апрель следующего года) рядов температур показал, что наиболее холодная фаза малого ледникового периода 1651–1700 гг. имела аномалию $-0,83^{\circ}\text{C}$ [Yan et al., 2014]. Для восточного Приморья реконструировано снижение летних температур на $1,5\text{--}2^{\circ}\text{C}$ [Назарова и др., 2021]. В Японии похолодание сопровождалось увеличением осадков [Sakaguchi, 1983]. В этот период произошла регрессия моря [Короткий, 2004].

В последние 250 кал. л. на оз. Нижнем имело место прогрессирующее обмеление, обусловленное эндогенным развитием, и активное заболачивание [Разжигаета и др., 2021]. В последние 130 кал. л. значительно увеличилось участие кедра. Доля ели, пихты, а также берез и широколиственных уменьшилась. В кровле отложений оз. Изюбриные Солонцы также отмечено максимальное количество пыльцы кедра [Разжигаета и др., 2017]. В настоящее время в Приморье наблюдается процесс распространения кедра корейского к северу. Повы-

шение среднегодовых и среднелетних температур приводит к усыханию таежных древостоев и внедрению в ценоз кедр [Урусов, 1988]. В последние годы выявлен общий тренд – возрастание прироста и расширение ареала кедр в разных регионах мира: в нижней полосе среднегорья за счет увеличения влажности; в верхней полосе среднегорья из-за роста температур [Куулар, 2023].

ВЫВОДЫ

Изученный разрез торфяника оз. Нижнего оказался чутким индикатором климатических изменений. Полученные данные позволили рассмотреть историю смен растительных сообществ пояса кедрово-широколиственных лесов Сихотэ-Алинского заповедника за последние 2640 кал. л. н. Около 2640 кал. л. н. в условиях умеренно теплого климата на месте современного кедровника развивались кедрово-дубовые формации с участием ели и пихты.

При наступлении наиболее теплых условий, около 2280 кал. л. н., произошло максимальное обводнение оз. Нижнего, увеличение его площади и активное развитие водной и прибрежно-водной растительности. Повышение среднегодовых и среднелетних температур способствовало снижению в ценозах позиций доминанта – кедр и усилению роли дуба монгольского. Ухудшение климатических условий около 2050 кал. л. н. привело к смене хвойно-широколиственного леса формацией кедровников, которая на территории Сихотэ-Алинского заповедника оказалась вполне устойчивой системой и просуществовала вплоть до середины XVII в., когда наступили самые холодные условия (Маундеров-

ский минимум солнечной активности) за последние 2640 кал. л. В это время произошло снижение границы темнохвойных лесов, развитие получил ельник с кедром и незначительной примесью других пород. При смягчении климата ельник сменился елово-пихтовым лесом с кедром и примесью широколиственных, а затем в условиях современного потепления кедровником с участием темнохвойных и редкой примесью широколиственных.

Средневековый температурный оптимум реконструирован для Сихотэ-Алинского заповедника с 1260 по 590 кал. л. н. Улучшение климата было не таким значительным как в раннесубатлантическое потепление и перемежалось кратковременными холодными периодами около 1190 и 1070 кал. л. н.

Во время похолоданий (около 2050–1260, 1190–1130, 1070–1040, 590–380, 290–130 кал. л. н.) в древостоях увеличивалось количество ели, а при потеплении (2640–2050, 1260–1190, 1130–1070, 1040–590, 380–290, последние 130 кал. л. н.) активизировался кедр корейский и широколиственные, особенно дуб монгольский.

Наиболее сухой период имел место примерно 2330 кал. л. н. Активное зарастание оз. Нижнего началось около 1500 кал. л. н., когда понизился уровень грунтовых вод, причиной послужило похолодание и существенное сокращение количества атмосферных осадков.

Климатогенные сукцессии кедровых лесов Сихотэ-Алинского заповедника отражают региональные закономерности развития подобных лесных сообществ и сопоставляются с глобальными палеоклиматическими событиями.

Благодарности. Авторы благодарят дирекцию и сотрудников Сихотэ-Алинского биосферного заповедника за помощь в организации и проведении полевых работ. Исследования выполнены в рамках государственного задания ТИГ ДВО РАН № 122020900184-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Колесников Б.П. Растительность // Дальний Восток. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 183–246.
- Короткий А.М., Андерсон П.М., Ложкин А.В. и др. О развитии ландшафтов юго-восточного Приморья в среднем и позднем голоцене // Пространственно-временная изменчивость природной среды Северо-Восточной Азии в четвертичный период. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. С. 12–50.
- Куулар Х.Б. Состояние и динамика границ темнохвойных лесов хребта Западный Танну-Ола в Республике Тыва // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 4. С. 40–50. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.4.
- Лящевская М.С., Базарова В.Б., Макарова Т.Р. Развитие природной среды и эволюция озера Гнилое (Юго-Восточное Приморье) за последние 3300 лет // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54. № 3. С. 108–123. DOI: 10.31857/S2949178923030064.
- Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Палеосреда острова Русский (Южное Приморье) в среднем – позднем голоцене // Фундаментальные исследования. 2014. № 3. С. 516–522.
- Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Поздний субатлантик Южного Сахалина // Успехи современного естествознания. 2016. № 9. С. 137–142.
- Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Гвоздева И.Г. и др. Голоцен побережья Юго-Западного Приморья // Научное обозрение. 2008. № 1. С. 8–27.
- Микишин Ю.А., Петренко Т.И., Попов А.Н. и др. Палеогеография озера Ханка в позднем голоцене // Научное обозрение. 2007. № 2. С. 7–13.
- Назарова Л.Б., Разжигиева Н.Г., Головатюк Л.В. и др. Развитие экологических условий позднего голоцена // Сибирский экологический журнал. 2021. № 3. С. 274–290. DOI: 10.15372/SEJ20210302.

- Новенко Е.Ю., Зюганова И.С., Ольчев А.В. Применение метода палеоаналогов для прогноза динамики растительности при изменениях климата // Доклады академии наук. 2014. Т. 457. № 1. С. 117–121. DOI: 10.7868/S0869565214190311.
- Разжигаяева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. Развитие Солонцовских озер как показатель динамики увлажнения в Центральном Сихотэ-Алине в позднем голоцене // Геосистемы переходных зон. 2021. Т. 5. № 3. С. 287–304. DOI: 10.30730/gtrz.2021.5.3.287-304.
- Разжигаяева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А. и др. Изменения природной среды в позднем голоцене, зафиксированные в отложениях озера Изюбринные Солонцы, Сихотэ-Алинь // Сибирский экологический журнал. 2017. № 4. С. 512–527. DOI: 10.15372/SEJ20170411.
- Растительный и животный мир Сихотэ-Алинского заповедника / под ред. Н.Г. Васильева, Е.Н. Матюшкина. М.: Наука, 1982. 304 с.
- Растительный мир Сихотэ-Алинского биосферного заповедника: разнообразие, динамика, мониторинг / А.В. Галанин и др. Владивосток: Биолого-почвенный институт ДВО РАН, 2000. 373 с.
- Урусов В.М. Генезис растительности и рациональное природопользование на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВО РАН СССР, 1988. 356 с.
- Федоров В.М., Гребенников П.Б. Малый (средневековый) климатический оптимум голоцена и его возможные причины // Жизнь Земли. 2020. Т. 42. № 4. С. 395–405. DOI: 10.29003/ml1768.0514-7468.2020_42_4/395-405.
- Brooks S.J., Diekmann B., Jones V.J. et al. Holocene environmental change in Kamchatka: A synopsis, *Glob. Planet. Change*, 2015, vol. 134, p. 166–174, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2015.09.004.
- Gorbarenko S.A., Artemova A.V., Goldberg E.L. et al. The response of the Okhotsk Sea environment to the orbital-millennium global climate changes during the Last Glacial Maximum, deglaciation and Holocene, *Glob. Planet. Change*, 2014, vol. 116, p. 76–90, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2014.02.002.
- Harada N., Katsuki K., Nakagawa M. et al. Holocene sea surface temperature and sea ice extent in the Okhotsk and Bering Seas, *Prog. Oceanogr.*, 2014, vol. 126, p. 242–253, DOI: 10.1016/j.pocean.2014.04.017.
- Hong Y.T., Hong B., Lin Q.H. et al. Correlation between Indian Ocean summer monsoon and North Atlantic climate during the Holocene, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2003, vol. 211, no. 3–4, p. 371–380, DOI: 10.1016/S0012-821X(03)00207-3.
- IPCC 2013. Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T.F. Stocker et al. (eds.), Cambridge and New York, Cambridge University Press, 2013, 1535 p.
- Leipe C., Demske D., Tarasov P.E. A Holocene pollen record from the northwestern Himalayan lake Tso Moriri: implications for palaeoclimatic and archaeological research, *Quat. Int.*, 2014, vol. 348, p. 93–112, DOI: 10.1016/j.quaint.2013.05.005.
- Leipe C., Nakagawa T., Gotanda K. et al. Late Quaternary vegetation and climate dynamics at the northern limit of the East Asian summer monsoon and its regional and global-scale controls, *Quat. Science Reviews*, 2015, vol. 116, p. 57–17, DOI: 10.1016/j.quascirev.2015.03.012.
- Li C., Wu Ya., Hou X. Holocene vegetation and climate in Northeast China revealed from Jingbo Lake sediment, *Quat. Int.*, 2011, vol. 229, p. 67–73, DOI: 10.1016/j.quaint.2009.12.015.
- Ljungqvist F.C. A new reconstruction of temperature variability in the extratropical Northern Hemisphere during the last two millennia, *Geogr. Ann.*, 2010, vol. 92A, no. 3, p. 339–351.
- Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C. et al. Holocene climate variability, *Quat. Res.*, 2004, vol. 62, no. 3, p. 243–255, DOI: 10.1016/j.yqres.2004.07.001.
- Nagashima K., Tada R., Toyoda S. Westerly Jet – East Asian summer monsoon connection during the Holocene, *Geochim. Geophys. Geosyst.*, 2013, vol. 14, p. 5041–5053, DOI: 10.1002/2013GC004931.
- Nakamura J. Diagnostic characters of pollen grains of Japan, Part 2, *Special publications from Museum of Natural History*, 1980, vol. 12; includes 157 plates.
- Razjigayeva N.G., Ganzey L.A., Bazarova V.B. et al. Landscape response to the Medieval Warm Period in the South Russian Far East, *Quat. Int.*, 2019, vol. 519, p. 215–231, DOI: 10.1016/j.quaint.2018.12.006.
- Razjigayeva N., Ganzey L., Grebennikova T. et al. High-resolution lacustrine records of the Late Holocene hydroclimate of the Sikhote-Alin Mountains, Russian Far East, *Biology*, 2023, vol. 12, p. 913, DOI: 10.3390/biology12070913.
- Sakaguchi Y. Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation – especially on climatic impacts to the global sea level changes and ancient Japanese history, *Bull. of the depart. Geography University of Tokyo*, 1983, vol. 15, p. 1–31.
- Sun X.J., Yuan S. The pollen data and vegetation evolution during the 10,000 years in Jinchuan area, Jilin Province, *Quaternary Geology and Global Change*, Part 2, Beijing, Science Press, 1990, p. 46–57. (In Chinese)
- Ukhvatkina O.N., Omelko A.M., Zhmerenetsky A.A., Petrenko T.Y. Autumn-winter minimum temperature changes in the southern Sikhote-Alin mountain range of northeastern Asia since 1529 AD, *Climate of the Past*, 2018, vol. 14, p. 57–71, DOI: 10.5194/cp-14-57-2018.
- Usoskin I.G., Solanki S.K., Kovaltsov G.A. Grand minima and maxima of solar activity: new observational constraints, *A&A*, 2007, vol. 471, p. 301–309, DOI: 10.1051/0004-6361:20077704.
- Wang Y.J., Cheng H., Edwards R.L. et al. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate, *Science*, 2005, vol. 308, p. 854–857, DOI: 10.1126/science.1106296.
- Yan J., Ge Q., Liu H. et al. Reconstruction of sub-decadal winter half-year temperature during 1651–2010 for the North China Plain using records of frost date, *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014, vol. 4, no. 2, p. 211–218, DOI: 10.4236/acs.2014.42024.

Электронный ресурс

Примпогода. URL: <http://www.Primpogoda.ru> (дата обращения 15.07.2023).

Поступила в редакцию 12.02.2024

После доработки 10.04.2024

Принята к публикации 26.06.2024

INFLUENCE OF THE LATE HOLOCENE CLIMATE CHANGES ON FOREST ECOSYSTEMS OF THE SIKHOTE-ALIN BIOSPHERE RESERVE FROM THE DATA OF SPORE-POLLEN ANALYSIS OF LAKE SEDIMENTS

M.S. Lyashchevskaya¹, A.M. Panichev²

^{1,2} Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

¹ Laboratory of Paleogeography and Geomorphology, Leading Scientific Researcher,
Ph.D. in Geography; e-mail: lyshevskay@mail.ru

² Laboratory of Ecology and Animal Protection, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Biology; e-mail: sikhote@mail.ru

The relationship between climate change in the Late Holocene and evolution of Korean pine forests in the mid-mountain zone of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve has been studied. Under moderately warm climate about 2640 cal BP Korean pine-oak formations, with admixture of Ayan spruce (*Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.)), Khingam fir (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.), and broad-leaved species, birches, alder and larch, developed in place of the modern Korean pine forests. With maximum warming around 2280 cal BP, maximum watering of the Nizhnee Lake occurred; its area increased and the aquatic and coastal-aquatic vegetation developed actively. Rising average annual and average summer temperatures contributed to a decrease in the position of Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. Et Zucc.) as a dominant in phytocenoses and stronger presence of Mongolian oak (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb). Climate breakdown around 2050 cal BP have led to the replacement of coniferous-broad-leaved forest by the Korean pine forests formation, which turned out to be a completely stable system within the Sikhote-Alin Nature Reserve and existed until the middle of the 17th century, when the coldest conditions for the last 2640 cal BP (the Maunder minimum of solar activity) occurred. At that time the limit of dark coniferous forests on the slopes surrounding the Nizhnee Lake became lower and spruce forest with Korean pine and small admixture of birch and broad-leaved trees got wider spread. Under more comfort climate conditions the spruce forest was replaced first by spruce-fir forests with Korean pine and an admixture of broad-leaved trees, and then, under modern warming conditions, by the Korean pine forest with some dark conifers and a rare admixture of broad-leaved trees. The driest period during the time interval under study occurred at approximately 2330 cal BP. The lake level decreased significantly at that time, and it was overgrown with sedge-grass family communities. Active overgrowing began when the groundwater level decreased during cooling and a significant reduction in the amount of atmospheric precipitation at about 1500 cal BP. Climate-induced successions of Korean pine forests of the Sikhote-Alin Nature Reserve reflect regional patterns of development of such forest communities and could be correlated with global paleoclimatic events.

Keywords: Solontsovskie (Shanduiskie) Lakes, peat bog, pollen, radiocarbon dating, paleoreconstructions, Korean pine forests, Central Sikhote-Alin

Acknowledgements. The authors thank the management and staff of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve for assistance in organizing and conducting field work. The research was carried out within the framework of the state assignment of the TIG FEB RAS No. 122020900184-5.

REFERENCES

- Brooks S.J., Diekmann B., Jones V.J., Hammarlund D. Holocene environmental change in Kamchatka: A synopsis, *Glob. Planet. Change*, 2015, vol. 134, p. 166–174, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2015.09.004.
- Fedorov V.M., Grebennikov P.B. Malyyi Srednevekovyy klimaticheskiy optimum golotsena i ego vozmozhnye prichiny [Medieval warm period of the Holocene and its possible causes], *Zhizn' Zemli*, 2020, vol. 42, no. 4, p. 395–405, DOI: 10.29003/m1768.0514-7468.2020_42_4/395-405. (In Russian)
- Gorbarenko S.A., Artemova A.V., Goldberg E.L., Vasilenko Y.P. The response of the Okhotsk Sea environment to the orbital-millennium global climate changes during the Last Glacial Maximum, deglaciation and Holocene, *Glob. Planet. Change*, 2014, vol. 116, p. 76–90, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2014.02.002.
- Harada N., Katsuki K., Nakagawa M. et al. Holocene sea surface temperature and sea ice extent in the Okhotsk and Bering Seas, *Prog. Oceanogr.*, 2014, vol. 126, p. 242–253, DOI: 10.1016/j.pcean.2014.04.017.
- Hong Y.T., Hong B., Lin Q.H. et al. Correlation between Indian Ocean summer monsoon and North Atlantic climate during the Holocene, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2003, vol. 211, no. 3–4, p. 371–380, DOI: 10.1016/S0012-821X(03)00207-3.
- IPCC 2013. *Climate Change: the Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T.F. Stocker et al. (eds.), Cambridge and New York, Cambridge University Press, 2013, 1535 p.
- Kolesnikov B.P. [Vegetation], *Dal'nii Vostok* [Far East], 1961, p. 183–246. (In Russian)
- Korotkii A.M., Anderson P.M., Lozhkin A.V. et al. [Development of landscapes in Southeastern Primor'ye during the Middle and Late Holocene], *Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' prirodnoy sredy Severo-Vostochnoy Azii v chetvertichnyy period* [Spatio-temporal variability of the natural environment of North-Western Asia during the Quaternary], 2004, p. 12–50. (In Russian)

- Kuular Kh.B. Sostoyanie i dinamika granits temnokhvoynykh lesov khrebta Zapadniy Tannu-Ola v respublike Tyva [The state and dynamics of the borders of cedar forests at the western Tannu-Ola Range in the Tyva Republic], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, vol. 78, no. 4, p. 40–50, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.4. (In Russian)
- Leipe C., Demske D., Tarasov P.E. A Holocene pollen record from the northwestern Himalayan lake Tso Moriri: implications for palaeoclimatic and archaeological research, *Quat. Int.*, 2014, vol. 348, p. 93–112, DOI: 10.1016/j.quaint.2013.05.005.
- Leipe C., Nakagawa T., Gotanda K. et al. Late Quaternary vegetation and climate dynamics at the northern limit of the East Asian summer monsoon and its regional and global-scale controls, *Quat. Science Reviews*, 2015, vol. 116, p. 57–17, DOI: 10.1016/j.quascirev.2015.03.012.
- Li C., Wu Ya., Hou X. Holocene vegetation and climate in Northeast China revealed from Jingbo Lake sediment, *Quat. Int.*, 2011, vol. 229, p. 67–73, DOI: 10.1016/j.quaint.2009.12.015.
- Ljungqvist F.C. A new reconstruction of temperature variability in the extratropical Northern Hemisphere during the last two millennia, *Geogr. Ann.*, 2010, vol. 92A, no. 3, p. 339–351.
- Lyashchevskaya M.S., Bazarova V.B., Makarova T.R. Development of the Environment of Southeastern Primorye during the Last 3300 Years, *Doklady Earth Sciences*, 2023, vol. 513, suppl. 1, p. S109–S120, DOI: 10.1134/S1028334X23602468.
- Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C. et al. Holocene climate variability, *Quat. Res.*, 2004, vol. 62, no. 3, p. 243–255, DOI: 10.1016/j.yqres.2004.07.001.
- Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Popov A.N., Orlova L.A. Paleogeografiya ozera Khanka v pozdnem golotsene [Paleogeography of the Khanka Lake in the Late Holocene], *Nauchnoe obozrenie*, 2007, no. 2, p. 7–13. (In Russian)
- Mikishin Yu.A., Petrenko T.I., Gvozdeva I.G. et al. Golotsen poberezh'ya Yugo-Zapadnogo Primor'ya [Holocene of the South-Western Primorye coast], *Nauchnoe obozrenie*, 2008, no. 1, p. 8–27. (In Russian)
- Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G. Paleosreda ostrova Russkii (Yuzhnoe Primor'ye) v srednem-pozdnem golotsene [Mid to Late Holocene of the Russkyi Island (Southern Primorye)], *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, no. 3, p. 516–522. (In Russian)
- Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G. Pozdnii subatlantik Yuzhnogo Sakhalina [Late Subatlantic in the south of the Sakhalin Island], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2016, no. 9, p. 137–142. (In Russian)
- Nagashima K., Tada R., Toyoda S. Westerly Jet – East Asian summer monsoon connection during the Holocene, *Geochim. Geophys. Geosyst.*, 2013, vol. 14, p. 5041–5053, DOI: 10.1002/2013GC004931.
- Nakamura J. Diagnostic characters of pollen grains of Japan, Part 2, *Special publications from Museum of Natural History*, 1980, vol. 12; includes 157 plates.
- Nazarova L.B., Diekmann B., Biskaborn B.K. et al. Reconstruction of environmental conditions in the eastern part of Primorsky Krai (Russian Far East) in the Late Holocene, *Contemporary problems of ecology*, 2021, vol. 14, no. 3, p. 218–230, DOI: 10.1134/S1995425521030094.
- Novenko E.Y., Zyuganova I.S., Olchev A.V. Application of the paleoanalog method for prediction of vegetation dynamics under climate changes, *Doklady Biological Sciences*, 2014, vol. 457, no. 1, p. 228–232. DOI: 10.1134/S0012496614040024.
- Rastitel'nyi i zhivotnyi mir Sikhote-Alinskogo zapovednika [Flora and fauna of the Sikhote-Alin Nature Reserve], N.G. Vasil'ev, E.N. Matyushkin (eds.), Moscow, Nauka Publ., 1982, 304 p. (In Russian)
- Rastitel'nyi mir Sikhote-Alinskogo biosfernogo zapovednika: raznoobrazie, dinamika, monitoring [Flora of the Sikhote-Alin Biosphere Reserve: diversity, dynamics, monitoring], A.V. Galanin et al. (eds.), Vladivostok, Biologo-pochvennyi institut DVO RAN Publ., 2000, 373 p. (In Russian)
- Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Panichev A.M., Kudryavtseva E.P., Kopoteva T.A., Klimin M.A., Arslanov K.A., Maksimov F.E., Petrov A.Y. Environmental changes recorded in deposits of the Izybrinye salontsi Lake, Sikhote-Alin, *Contemporary problems of ecology*, 2017, vol. 10, no 4, p. 441–453. DOI: 10.1134/S1995425517040096.
- Razhigaeva N.G., Ganzey L.A., Bazarova V.B. et al. Landscape response to the Medieval Warm Period in the South Russian Far East, *Quat. Int.*, 2019, vol. 519, p. 215–231, DOI: 10.1016/j.quaint.2018.12.006.
- Razhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A. et al. Razvitiye Solontsovskikh ozer kak pokazatel' dinamiki uvlazhneniya v Tsentral'nom Sikhote-Aline v pozdnem golotsene [Development of Solontsovskie Lakes as indicator of humidity within Central Sikhote-Alin in the Late Holocene], *Geosistemy perekhodnykh zon*, 2021, vol. 5, no. 3, p. 287–304, DOI: 10.30730/grtz.2021.5.3.287-304. (In Russian)
- Razhigaeva N., Ganzey L., Grebennikova T. et al. High-resolution lacustrine records of the Late Holocene hydroclimate of the Sikhote-Alin Mountains, Russian Far East, *Biology*, 2023, vol. 12, p. 913, DOI: 10.3390/biology12070913.
- Sakaguchi Y. Warm and cold stages in the past 7600 years in Japan and their global correlation – especially on climatic impacts to the global sea level changes and ancient Japanese history, *Bull. of the depart. geography University of Tokyo*, 1983, vol. 15, p. 1–31.
- Sun X.J., Yuan S. *The pollen data and vegetation evolution during the 10,000 years in Jinchuan area, Jilin Province*, Quaternary Geology and Global Change, Part 2, Beijing: Science Press, 1990, p. 46–57 (in Chinese).
- Ukhvatkina O.N., Omelko A.M., Zhmerenetsky A.A., Petrenko T.Y. Autumn-winter minimum temperature changes in the southern Sikhote-Alin mountain range of northeastern Asia since 1529 AD, *Climate of the Past*, 2018, vol. 14, p. 57–71, DOI: 10.5194/cp-14-57-2018.
- Urusov V.M. *Genezis rastitel'nosti i ratsional'noe prirodopol'zovanie na Dal'nem Vostoke* [Genesis of vegetation and rational environmental management in the Far East], Vladivostok, DVO RAN SSSR Publ., 1988, 356 p. (In Russian)
- Usoskin I.G., Solanki S.K., Kovaltsov G.A. Grand minima and maxima of solar activity: new observational constraints, *A&A*, 2007, vol. 471, p. 301–309, DOI: 10.1051/0004-6361:20077704.
- Wang Y.J., Cheng H., Edwards R.L. et al. The Holocene Asian monsoon: links to solar changes and North Atlantic climate, *Science*, 2005, vol. 308, p. 854–857, DOI: 10.1126/science.1106296.
- Yan J., Ge Q., Liu H. et al. Reconstruction of sub-decadal winter half-year temperature during 1651–2010 for the North China Plain using records of frost date, *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014, vol. 4, no. 2, p. 211–218, DOI: 10.4236/acs.2014.4.2024.

Web source

Primogoda [Primorye weather], URL: <http://www.Primogoda.ru> (access date 15.07.2023).

Received 12.02.2024

Revised 16.04.2024

Accepted 26.06.2024

РЕКОНСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА ДОЛИНЫ Р. ТЕБЕРДЫ (ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ) В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

А.А. Чепурная¹, Е.Ю. Новенко²

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
кафедра физической географии и ландшафтоведения*

¹ *Инженер, канд. геогр. наук; e-mail: a_che@bk.ru*

² *Вед. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: lenanov@mail.ru*

В работе представлена реконструкция изменений растительности и климата в долине р. Теберды (западная высокогорная провинция Большого Кавказа) за последние 2200 лет на основании палинологических данных, полученных из отложений оз. Каракель. Исследования выполнены с высоким временным разрешением (20–30 лет). Подобные детальные исследования в пределах Западного Кавказа единичны и представляют большую ценность для понимания динамики природной среды горных территорий. Согласно модели накопления отложений, основанной на 10 радиоуглеродных AMS-датировках, изученная колонка донных осадков начала формироваться около 2200 лет назад, осадконакопление шло равномерно и без длительных перерывов. Полученные данные показали, что в течение этого временного интервала выделено три этапа похолодания климата: 236 г. до н. э. – 107 г. н. э., 875–995 и 1210–1780 гг. н. э. и три этапа потепления: 107–875 и 995–1210 гг. н. э. и начиная с 1780 г. по настоящее время. Периоды похолоданий характеризовались увеличением обилия ели и пихты в древостоях, расширением площадей сосновых лесов и снижением участия широколиственных пород в растительном покрове. В течение теплых этапов создавались благоприятные условия для распространения грабовых и буково-грабовых лесов с примесью дуба, вяза, клена, ясеня и хмелеграба. Средневековый климатический оптимум выявлен по палинологическим данным оз. Каракель в 995–1210 гг. н. э. и отличался максимальным обилием широколиственных пород в лесных сообществах в долине р. Теберды. Последующее похолодание Малого ледникового периода продолжалось с 1210 по 1780 г. Признаков, позволяющих выявить внутри него отдельные фазы, установлено не было, несмотря на высокую детальность спорово-пыльцевого анализа.

Ключевые слова: Большой Кавказ, озеро Каракель, озерные отложения, спорово-пыльцевой анализ, средневековый климатический оптимум, Малый ледниковый период

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.7

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция динамики растительности горных территорий – это важная ступень на пути к пониманию функционирования и взаимодействия глобальных экосистем и направленности действия природных процессов. Специфику исследований горных ландшафтов определяет существование высотной поясности, которая многократно усложняет задачу реконструкции изменений растительности и климата, поскольку в горах на довольно ограниченном пространстве могут существовать экосистемы, значительно различающиеся по своим характеристикам и условиям среды.

Изученность динамики растительности Кавказа в голоцене пространственно неравномерна. Наибольшее число исследований посвящено Закавказью, где долгое время ведутся работы, объединяющие в себе целый ряд методов, позволивших восстановить не

только растительность, но и колебания уровня моря, палеоклиматические показатели, а также взаимодействие хозяйственной деятельности человека и палеоландшафтов [Kvavadze et al., 2023; Chichinadze et al., 2017; Connor et al., 2007; Kvavadze, Connor, 2005; Shatilova et al., 2011; Tvalchrelidze et al., 2004]. Интересные результаты по реконструкции растительности в голоцене получены на территории Армении [Joannin, 2014; Naugapetyan et al., 2023; Messenger, 2021]. Здесь за счет присутствия в растительности ярко-выраженной термофильной флоры есть возможность более четкого выделения стадий потепления и похолодания климата.

На Восточном Кавказе ведутся работы по изучению торфяников, в результате которых реконструированы как растительность, так и основные тенденции изменения тепло- и влагообеспеченности для времени голоцена [Рябогина и др., 2019].

На территории Западного Кавказа палеоботанические исследования проводились в районе Архыза (Республика Карачаево-Черкессия) [Kvavadze, Efremov, 1996]. К юго-востоку от данного региона, в урочище Криют (Республика Карачаево-Черкессия), выполнены исследования под руководством Л.Р. Серебрянного [Серебрянный и др., 1984], в результате которых были пробурены отложения несколько озер, по данным изучения которых выявлены основные тенденции изменения растительности в голоцене и закономерности пространственного распределения растительного покрова для среднегорий. На Северо-Западном Кавказе получены керны из оз. Хуко, по отложениям которого сделана реконструкция растительности на большую часть голоцена [Grachev et al., 2021].

Таким образом, Западный Кавказ уступает по подробности изучения другим регионам горной страны, имея в своем арсенале всего несколько коло-

нок отложений горных озер, что явно недостаточно для обширной территории, отличающейся высоким разнообразием природных условий. В статье представлены новые палинологические данные из разреза донных отложений оз. Каракель, расположенного в долине р. Теберды (западная высокогорная провинция Центрального Кавказа), выполненные с высоким временным разрешением. Полученные данные позволили детально рассмотреть изменения растительности и климата региона за последние 2200 лет.

Исзуемая территория. Озеро Каракель ($43^{\circ}26'12.44''$ с. ш., $41^{\circ}44'36.18''$ в. д.) располагается в пределах западной высокогорной провинции Большого Кавказа, в долине р. Теберды, берущей свое начало на склонах Главного Кавказского хребта (рис. 1). В районе расположения оз. Каракель долина реки простирается преимущественно с юго-юго-запада на север-северо-восток и имеет ширину около 1000–1200 м.

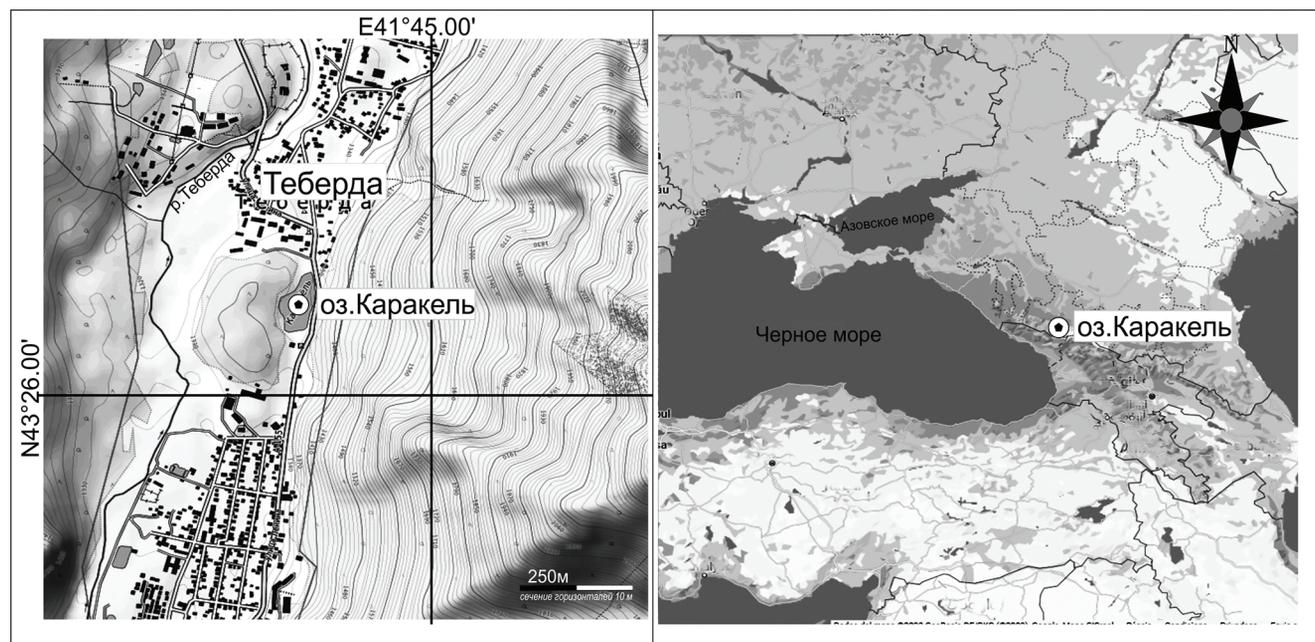


Рис. 1. Карта и схема расположения оз. Каракель
(источник картографической основы <https://bestmaps.ru/map/osm/opentopomap>)

Fig. 1. Map and scheme of the Karakel Lake location (cartographic base from <https://bestmaps.ru/map/osm/opentopomap>)

Озеро расположено на высоте 1335 м над ур. м. (уровнем моря), имеет продолговатую форму, вытянутую в направлении простираения долины. Размеры озера составляют 140×280 м, глубина колеблется в пределах 6–8 м. По мнению Л.Р. Серебрянного [Серебрянный и др., 1980], оз. Каракель образовалось путем подпруживания ледниковых потоков моренной грядой, которая в настоящее время окружает озеро с юго-западной, западной и северо-западной сторон.

Район исследований принадлежит к области умеренно-холодного климата западноевропейского типа. Для данной территории характерна высокая интенсивность солнечной радиации – продолжительность солнечного сияния достигает 2200 часов в год. Среднегодовая скорость ветра составляет около 1,8 м/с. Зима мягкая, лето умеренно теплое. Средняя температура января составляет -3°C , июля – $+15-16^{\circ}\text{C}$. Среднегодовой показатель относительной влажности около 70%, осадков выпадает 700 мм в год [Багрова, Дроздов, 2010].

В пределах долины р. Теберды, кроме глобальных атмосферных потоков, имеющих здесь преимущественно юго-восточное и восточное направления, большое значение имеет местная циркуляция воздушных масс. В частности, горно-долинные ветры, для которых характерны суточные колебания направления – нисходящее ночью и восходящее днем. Также характерен ледниковый ветер, с большой скоростью спускающийся вниз по долине за счет возникающего горизонтального температурного градиента между ледниками и свободной от них поверхностью долины.

Основные древесные породы-эдикаторы ландшафтов на исследуемой территории – пихта (*Abies nordmanniana*), ель (*Picea orientalis*), бук (*Fagus orientalis*), сосна крючковатая (*Pinus sylvestris* subsp. *hamata*), реже дуб скальный (*Quercus petraea*) [Зернов, 2006; Пшегусов и др., 2019; Литвинская, 2021; Саблирова, 2023]. Поверхность моренной гряды, опоясывающей озеро, занята преимущественно сосновыми лесами из сосны крючковатой.

Согласно описаниям растительности, проведенным на склоне восточной экспозиции долины р. Теберды, по профилю оз. Каракель – верховья р. Малая Хатипара [Чепурная, 2014] буковый лес из бука (*Fagus orientalis*) с примесью граба (*Carpinus betulus*), пихты (*Abies nordmanniana*), ели (*Picea orientalis*) и единично березы (*Betula raddeana*) занимает высотный пояс 1300–1650 м над ур. м. Выше до высоты около 2000 м над ур. м. произрастают смешанные хвойно-широколиственные леса, в которых бук постепенно с высоты 1750 м заменяется дубом скальным. Высотный пояс 2000–2300 м над ур. м. занимают лесные сообщества из сосны крючковатой, пихты и березы (*Betula litwinowii*), который сменяется сосновым редколесьем в сочетании с лугами. Выше 2500 м над ур. м. растительный покров образуют субальпийские луга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бурение и отбор образцов из донных отложений озера происходил в два этапа. На первом этапе в 2010 г. были отобраны два керна, охватывающие диапазоны глубин 21–129 и 58–202 см (за ноль условно принята поверхность дна озера). Результаты исследования этих отложений опубликованы [Чепурная, 2014]. В 2014 г. был отобран третий керн из донных отложений озера, имеющий глубину 0–61 см. Хроностратиграфия и литологический анализ отложений озера представлен в работе М.Ю. Александрина с соавторами [Alexandrin et al., 2023]. Детальный спорово-пыльцевой анализ нового керна позволил уточнить и пересмотреть интерпретацию полученных ранее данных. В представленной работе мы

объединили результаты новых палинологических исследований третьего керна и полученные ранее результаты в один сводный разрез, имеющий глубину 76 см и характеризующий временной интервал около 2200 лет.

Донные отложения озера Каракель, вскрытые в результате бурения, четко разделяются на три слоя. Верхний слой (глубина 0–71 см) представлен сапропелем желеобразным, тонкослоистым, плотность и оттенок которого (от серого до темно-серого) меняются вниз по разрезу. Ниже (глубина 71–75 см) залегает глина темно-серая с зеленоватым оттенком, тонкослоистая, сильно обогащенная органическим веществом. Начиная с глубины 75 см вскрыта глина голубовато-серая, иногда с коричневыми прослоями мощностью 1–2 мм, плотность слоя увеличивается вниз по разрезу.

Для отложений озера Каракель получено 10 радиоуглеродных дат (табл.). Радиоуглеродное датирование проведено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США) (см. табл.). В представленной работе использованы расчеты скорости седиментации в озере, выполненные М.Ю. Александриним с соавторами [Alexandrin et al., 2023] на основе модели накопления отложений при помощи программы Bacon [Blaauw, Christen, 2011] в программной среде R. При калибровке радиоуглеродных дат применена калибровочная кривая IntCal20 [Reimer et al., 2020]. Поскольку возрастной диапазон изученного нами разреза составляет около 2200 лет, в представленной работе была использована система исчисления возраста как годы до нашей эры (гг. до н. э.) / годы нашей эры (гг. н. э.).

Образцы для спорово-пыльцевого анализа были отобраны с интервалом 1 см, что позволило рассмотреть динамику растительности изучаемой территории с высоким временным разрешением (20–30 лет). Пробоподготовка проведена по методике, разработанной в Институте географии РАН В.П. Гричуком [1940], включающей сепарацию образца в тяжелой жидкости с удельным весом 2,2 г/см³ с использованием раствора йодистого кадмия. В каждом образце было просмотрено более 700 пыльцевых зерен. Обработка данных и построение спорово-пыльцевой диаграммы проводились с помощью программы TILIA и TILIA-Graph [Grimm, 1990]. Для расчета процентного содержания компонентов спектра за 100% была принята сумма пыльцы древесных и травянистых растений и спор ($\Sigma = AP + NAP + Spores$, где AP (arboreal pollen) – пыльца деревьев и кустарников, NAP (non-arboreal pollen) – пыльца трав и кустарничков).

Таблица

Список радиоуглеродных дат, полученных из отложений оз. Каракель [Alexandrin et al., 2023]

Номер образца	Керн	Глубина, см	Возраст ^{14}C , лет назад (1σ) рмс, %	Калиброванный возраст 2σ (кал. л. н. э.)	Калиброванный средний возраст (кал. л. н. э.)	Материал
IGAN-5497	Kar-14-1	7–8	100,740 ± 0,292	1697–1724; 1812–1836; 1881–1911	1825	Массовый образец (ТОС*)
IGAN-5496	Kar-14-1	13,5–14,5	340 ± 30	1474–1638	1561	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5493	Kar-14-1	13,5–14,5	725 ± 20	1266–1298	1280	Древесный остаток (ТОС)
IGAN-5495	Kar-14-1	18–19	640 ± 20	1290–1326; 1351–1395	1360	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5494	Kar-14-1	21–22	640 ± 20	1290–1326; 1351–1395	1360	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5333	Kar-10-2	6–6,5	880 ± 20	1053–1076; 1156–1120	1185	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5332	Kar-10-2	12–12,5	1030 ± 20	991–1030	1010	Массовый образец (ТОС)
IGAN-5331	Kar-10-2	20–20,5	1235 ± 20	668–742; 772–779; 785–878	798	Массовый образец (ТОС)
Poz-42587	Kar-10-2	30–31	1550 ± 30	431–587	513	Массовый образец (ТОС)
Poz-42588	Kar-10-2	52	2235 ± 35	391–338; 326–198 (кал. лет до н. э.)	278 (кал. лет до н. э.)	Массовый образец (ТОС)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученная спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 2) разделена на семь пыльцевых зон, соответствующих этапам изменения растительности.

Зона 1 (75–65 см, 236 г. до н. э. – 107 г. н. э.). Доля пыльцы древесных пород колеблется в диапазоне 55–70%, при этом доля пыльцы сосны составляет от 40 до 70% по отношению к общей сумме пыльцы и спор. Содержание пыльцы *Betula*, *Alnus* и *Fagus* не превышает 5–10%, доля *Quercus* снижается от 7–8% в нижней части зоны до 3% у ее верхней границы. В небольшом количестве отмечена пыльца *Ulmus*, *Carpinus*, *Acer*, *Ostrya*, а также *Abies*, *Picea* (1–2%). Участие пыльцы хвойных пород *Picea* и *Abies* не превышает 5%. Отмечены единичные пыльцевые зерна грецкого ореха. Кустарники представлены пыльцой *Corylus* (5–10%), *Salix* (до 1%) и *Hippophae rhamnoides* (2–3%).

Отличительная особенность зоны 1 – это максимальное содержание пыльцы травянистых растений во всем изученном разрезе. Среди таксонов этой группы преобладает Poaceae (до 25% в нижней части зоны, сокращаясь вверх по профилю до 10%). Содержание пыльцы *Artemisia* и *Cannabis* составляет 1–2%, доля пыльцы Cyperaceae,

Chenopodiaceae, Ranunculaceae – 0,5–1%. Разнообразна пыльца лугового разнотравья. Пыльца *Plantago* и *Rumex*, используемых часто как индикаторы антропогенного воздействия, присутствует в спектрах в количестве 0,5%. Также обнаружены единичные зерна *Helianthemum* и *Polygonum amphibium*. Содержание пыльцы водных растений, в целом, около 5%. Группа спор немногочисленна (2–3%). Отмечены споры хвоща и папоротников.

Зона 2 (65–49 см, 107–605 гг. н. э.). Участие пыльцы древесных пород возрастает до 90–95%, при этом доля сосны составляет 50–70%. Увеличивается содержание пыльцы березы, ольхи и лещины (15–20%). Доля бука и граба – 3–5%, участие пыльцы других древесных пород и кустарников не превышает 2%. Отмечена пыльца *Ostrya carpinifolia*. В группе пыльцы травянистых растений выявлено существенное сокращение пыльцы злаков (до 5–7%), разнообразие и обилие пыльцы других таксонов группы трав близко к предыдущей зоне. Среди водных растений относительно обильны *Myriophyllum* (до 5%) и *Sparganium* (до 2%). Споры представлены единичными зернами *Equisetum*, *Botrychium* и папоротников сем. Polypodiaceae.

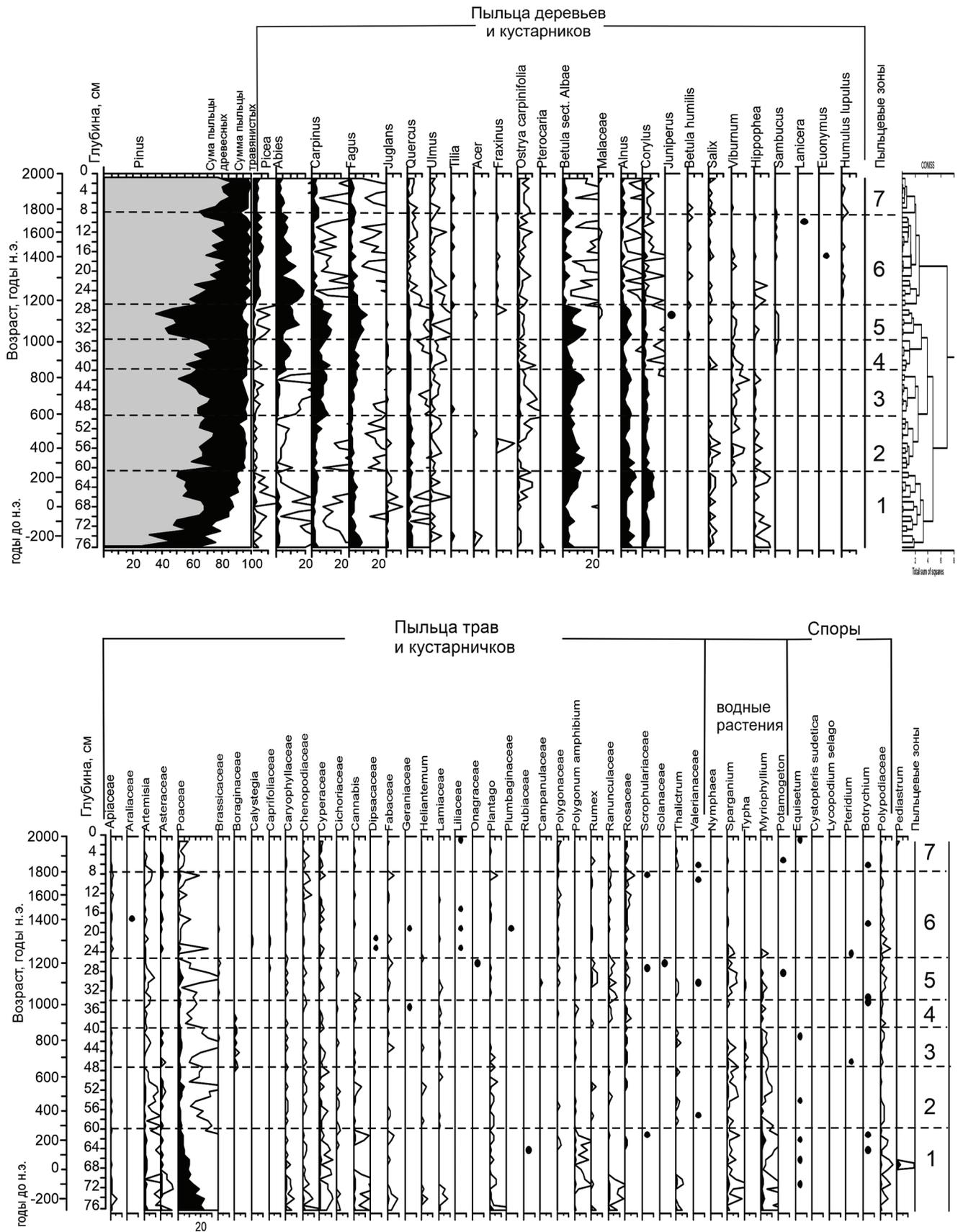


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений оз. Каракель (AP + NAP = 100%. Дополнительный контур показывает увеличение базового таксона в 10 раз)

Fig. 2. Spore-pollen diagram of the Karakel Lake sediments (AP+NAP=100%. Additional contour shows 10-fold increase of the basic taxon)

Зона 3 (49–39 см, 695–875 гг. н. э.) выделена по возрастанию содержания пыльцы *Carpinus* (до 10%). В верхней части зоны увеличивается содержание пыльцы *Fagus* (до 5%) и *Betula* (до 15%). Участие в спектрах травянистых растений снижается до нескольких процентов. Внутри группы NAP сокращается количество пыльцы полыни и возрастает доля разнотравья (*Boaginataceae*, *Lamiaceae*, *Caruophyllaceae*, содержание *Rosaceae* возросла до 1–2%).

Зона 4 (39–35 см, 875–995 гг. н. э.) маркируется возросшим содержанием в спектрах пыльцы *Pinus* (до 80%) и *Abies* (до 10–12%). Доля пыльцы граба и бука, а также березы в средней части зоны снижается до 5–7%. Состав группы пыльцы травянистых растений и спор близок к предыдущей зоне. Заметно сокращается содержание пыльцы водных растений (менее 1%).

Зона 5 (35–26 см, 995–1210 гг. н. э.). Спорово-пыльцевые спектры характеризуются резким сокращением доли пыльцы *Pinus* (30–40%) и существенным возрастанием содержания пыльцы *Abies* (до 17%), *Carpinus* (10–12%), *Fagus* (10%), *Betula* (до 20%), *Alnus* (до 10%). Доля пыльцы ели не превышает 2%, хотя просматривается тенденция к увеличению ее участия в спектрах вверх по разрезу. Отмечена пыльца *Quercus*, *Ulmus*, *Ostrya* (1–2%). Кустарники представлены пыльцой *Corylus* (5%), *Salix*, *Viburnum* и *Sambucus*, отмечены единичные пыльцевые зерна облепихи. Доля группы NAP составляет 3–5%, немного увеличилась доля злаков по сравнению с предыдущей зоной (до 4%). Споры единичны (*Polypodiaceae*). Количество пыльцы водных растений возрастает до 3–5%.

Зона 6 (27–8 см, 1210–1780 гг. н. э.). Доля пыльцы древесных пород составляет 96–98%. В спектрах отмечено увеличение содержания пыльцы пихты (20%), ели (10%) и сосны (70–80%). В то же время участие пыльцы граба, бука, березы и ольхи резко снижается до 2–3%. Доля пыльцы остальных широколиственных пород также снижается, пыльца грецкого ореха исчезает из спектров. В группе NAP (2–3%) в небольшом количестве присутствует пыльца *Roaceae*, *Artemisia*, *Rosaceae* и *Cyperaceae*.

Зона 7 (10–0 см, 1780 г. н. э. – настоящее время) выделяется по увеличению доли пыльцы граба и бука до 4%, березы (10%) и ольхи (4%), одновременно сократилось содержание пихты и ели (3–5%). Участие пыльцы сосны в спектрах остается высоким (80–85%). Группа пыльцы травянистых растений бедна по таксономическому составу и включает небольшое количество пыльцы злаков, осоковых, маревых и представителей разнотравья. В группе водных растений отмечены единичные пыльцевые зерна *Potamogeton* и *Sparganium*. Доля спор не превышает 1% (*Equisetum*, *Botrychium*, *Polypodiaceae*).

На формирование спорово-пыльцевых спектров в пределах горных территорий, кроме биологических особенностей растений, таких как пыльцевая продуктивность разных видов и способность их пыльцы распространяться по воздуху, оказывает влияние целый ряд других факторов: высота территории над уровнем моря, степень залесенности склонов, геоморфологическое положение и климатические характеристики, в частности преобладающее направление ветров, осадки и влажность воздуха.

Для понимания взаимосвязей между составом спорово-пыльцевого спектра и растительности долины р. Теберды были привлечены полученные ранее результаты анализа рецентных проб, отобранных вдоль высотного градиента на юго-восточном склоне хребта Хатипара [Чепурная, 2014], а также опубликованные материалы [Клопотовская, 1973; Kvavadze, 1993; Kvavadze, Stuchlic, 1996; Abraham et al., 2021].

Как показали исследования, горно-долинные ветры, очевидно, способствуют выносу пыльцы древесных пород вниз и вверх по склонам, из-за чего она довольно часто встречается за пределами пояса произрастания продуцирующего источника. Нередко пыльца широколиственных пород отмечается в спектрах, характеризующих субальпийские и альпийские луга [Чепурная, 2014], так как на открытых пространствах дальность ее переноса существенно увеличивается. Это необходимо учитывать при интерпретации данных спорово-пыльцевого анализа.

Согласно полученным данным, доля пыльцы пихты в количестве 15–20% отражает ее участие в древостоях в точке отбора поверхностных проб. Для пыльцы сосны из-за ее существенно большей пыльцевой продуктивности и способности переноситься по воздуху на большие расстояния, процентные соотношения несколько иные – в растительном сообществе сосна встречена только там, где доля ее в спектрах достигает 80%. Для большинства широколиственных пород деревьев, таких как дуб, липа, клен, хмелеграб, граб, бук участие их пыльцы в спектре в количестве 1–2% свидетельствует о наличии этих пород в составе древостоя исследуемого высотного пояса, либо смежных с ним поясов [Чепурная, 2014]. Это заключение согласуется с результатами исследований Э. Квавадзе и Л. Стучлика [Kvavadze, Stuchlic, 1996], которые показали, что пыльца бука преимущественно остается под пологом продуцирующего ее источника. На дальность переноса пыльцы по воздуху существенное влияние оказывает его влажность и количество осадков, выпадающих на протяжении вегетационного периода. Влажный воздух и осадки, вероятно, связывают и утяжеляют пыльцевые зерна [Kvavadze, 1993], тем самым препятствуя их распространению на большие расстояния. Этот фактор, вероятно, имеет зна-

чение в долине р. Теберды, где среднегодовое количество осадков достигает 700 мм, большая часть которых выпадает в теплый период года.

Результаты палинологических исследований отложений оз. Каракель позволяют рассмотреть историю растительности и климата долины р. Теберды в субатлантический период голоцена. Радиоуглеродная датировка нижней границы полученного керна озерных отложений 2235 ± 35 ^{14}C лет назад (см. таблицу). Линейный график модели роста отложений [Alexandrin et al., 2023], построенной по радиоуглеродным датировкам, свидетельствует о том, что аккумуляция минерально-органических осадков проходила равномерно и без длительных перерывов.

В истории растительности и климата изучаемой территории на основании полученных данных выделено семь основных этапов.

Состав и соотношение компонентов спорово-пыльцевых спектров, соответствующих *первому этапу* (236 г. до н. э. – 107 г. н. э.) преобразования растительности, указывают на сочетание в растительном покрове лесных сообществ с участием бука и пихты, теневыносливых и влаголюбивых пород на Кавказе [Зернов, 2006; Литвинская, 2021] и обширных открытых пространств, занятых лугово-степной растительностью, с участием гемиксерофильного гелиофита солнцезвезда (*Helianthemum*) [Литвинская, 2021], что отражает приуроченность растительных сообществ к склонам разной экспозиции. Лугово-степные формации с высокой долей полыней и злаков были приурочены к склонам южной, юго-восточной и юго-западной экспозиций. Нижние и средние части склонов северной и смежных с ней экспозиций были, очевидно, покрыты хвойно-широколиственными лесами из бука и пихты с участием ели. Выше по склону бук, возможно, заменялся более ксерофитным и светолюбивым дубом.

Наличие обширных открытых пространств, занятых лугово-степной растительностью, может указывать на относительно низкую теплообеспеченность в период формирования этих отложений. Похолодание климата в рассматриваемый период отмечено в разрезах Южного Кавказа, в частности в Грузии [Connor et al., 2007; Shatilova et al., 2011] и Армении [Naugapetyan et al., 2023; Joannin et al., 2014]. По данным исследования болота Заришат в Армении [Joannin et al., 2014], похолодание климата проявилось в сокращении доли древесных пород в спектрах и возрастании NAP-компонента. Результаты исследований озерных и морских отложений на территории Грузии [Connor et al., 2007] показывают, что сильное похолодание климата было краткосрочным (продолжительностью около 500 лет). Оно началось около 500 лет до н. э. и сопровождалось снижением границы леса на 350–400 м в сравнении

с современным положением. Таким образом, в изученном нами разрезе отражена лишь завершающая часть этого похолодания и переход к более теплой фазе, о чем свидетельствует тенденция к сокращению площадей открытых пространств, выраженная в спорово-пыльцевых спектрах как снижение доли пыльцы травянистых пород.

Особенность спорово-пыльцевых спектров рассматриваемого этапа – это высокое содержание в спектрах пыльцы пород, формирующих интразональные ландшафты – березы, облепихи и ивы. Согласно исследованию ландшафтных сукцессий на Кавказе [Петрушина, 2016], эти древесные породы приурочены к нарушенным селевыми и лавинными процессами грунтам в днищах долин. Березовые формации также располагаются по лавинным ручьям и конусам выноса на склонах троговых долин. Возможно, похолодание климата способствовало развитию процессов морозного выветривания и усилению экзарационной деятельности ледников, что создавало условия для активизации катастрофических геоморфологических процессов, в частности селей и лавин.

В течение *второго этапа* (107–605 гг. н. э.) происходит заселение открытых пространств древесной растительностью (пыльцевая зона 2) – в первую очередь сосной, распространяющейся по потяжинам, лоткам и оврагам на южных – более сухих – склонах, а также по дренируемым местообитаниям в днищах долин. Судя по сокращению доли пыльцы растений, характерных для интразональных сообществ (березы, ивы, облепихи), происходило снижение активности селей и лавин. Начавшееся потепление климата способствует расширению влияния граба (*Carpinus betulus*), который, обладая высокой экологической пластичностью, способен занимать местообитания с нарушенными и слабо развитыми почвами [Зернов, 2006], вытесняя таким образом березу с отмирающих лавинных лотков и конусов выноса в нижних частях склонов долины.

Третий этап (695–875 гг. н. э.) характеризовался преобладанием грабовых, грабово-буковых, реже дубово-грабовых лесов на нижних частях склонов долины р. Теберды (пыльцевая зона 3). Наличие первых процентов пыльцы пихты в спектрах, вероятно, свидетельствует о том, что выше по склону широколиственные леса переходят в хвойно-широколиственные. Снижение доли пыльцы сосны, также наблюдающееся в спектрах, может быть признаком сокращения участия сосновых лесов на моренной гряде, окружающей озеро, место которых заняли широколиственные или смешанные сосново-широколиственные леса. Ориентируясь на минимальное содержание пыльцы темнохвойных пород и высокую долю пыльцы широколиственных в спектрах,

можно предполагать, что на протяжении данного временного интервала теплообеспеченность достигает своего максимума. Влагодобеспеченность также возрастает.

В спорово-пыльцевых спектрах, соответствующих **четвертому этапу** развития растительности (875–995 гг. н. э.), доля широколиственных снижается вдвое, при этом доля пихты возрастает в пять раз. Незначительно увеличивается и содержание сосны. Подобная динамика древесной растительности свидетельствует о довольно резком похолодании. Длительность его не превышала 150 лет. Однако оно привело к снижению границы пояса хвойно-широколиственных лесов из пихты, бука и граба к подножию и на нижние части склонов. Похолодание способствовало, вероятно, тому, что сосна снова стала завоевывать пространства на моренных грядках в днище долины.

Спорово-пыльцевые спектры из отложений, накопившихся в течение **пятого этапа** истории растительности (995–1210 гг. н. э.) отличаются максимальным за весь рассматриваемый период содержанием пыльцы граба и бука, а также высокой долей пихты (зона 5). Широкое развитие получают грабовые, буковые, пихтово-буковые леса. Распространение буковых и буково-пихтовых формаций свидетельствует о значительном потеплении климата и высоких, близких к максимальным, значениях влагодобеспеченности. Временные рамки этого интервала соответствуют Средневековому климатическому оптимуму (СКО) [PAGES 2k Consortium, 2013]. Результаты геохимических исследований отложений оз. Каракель, в том числе анализ содержания брома в озерных осадках, позволили выделить теплую фазу, соответствующую СКО в интервале 960–1270 гг. н. э., что в целом хорошо согласуется с палинологическими данными [Alexandrin et al., 2023]. В отложениях оз. Хуко, расположенного на Западном Кавказе на высоте 1744 м над ур. м., в этот же временной интервал выявлено увеличение содержания органического вещества в озерных осадках и рост обилия пыльцы *Quercus*, *Tilia* и *Corylus* в палинологических спектрах [Grachev et al., 2021]. В Грузии СКО выделен по росту в спектрах таких пород, как *Zelkova*, *Pterocarya*, *Juglans* [Connor et al., 2007; De Klerk et al., 2009]. В отложениях болота Заришат (Армения) этого времени фиксируется появление пыльцы *Pterocarya* [Joannin et al., 2014].

Похолодания климата **шестого этапа** (1210–1780 гг. н. э.) привело к сокращению численности широколиственных пород в лесных сообществах. Одновременно с этим возрастает доля пихты, ели и сосны (зона 6). В начале данного этапа (1210–1315 гг. н. э.) – широкое распространение получили

буково-пихтовые леса на нижних частях склонов северной и смежной с ней экспозиций, сменяющиеся вверх по склону пихтарниками, иногда с примесью ели. Высокая доля пихты в ландшафтах свидетельствует о продолжающемся положительном тренде влагодобеспеченности, максимум которого вероятно совпадает с максимумом пихты. Последовавшее снижение влажности в период с 1315 до 1780 г. н. э. подтверждается экспансией сосны, которая относится к мезоксерофитным растениям [Зернов, 2006]. Сосна, вероятно, расселялась не только по моренным грядкам и понижениям на склонах южной экспозиции, но и расширяла свой пояс, располагающийся выше пояса темнохвойных лесов и граничащий с субальпийскими лугами [Литвинская, 2021; Shatilova, 2011].

Данный этап похолодания климата совпадает по времени с Малым ледниковым периодом (МЛП) [PAGES 2k Consortium, 2013], существование которого на Кавказе подтверждается большей частью палеогеографических исследований. На основе результатов литологического изучения отложений оз. Каракель, М.Ю. Александрин с соавторами [Alexandrin et al., 2023] выделили в составе МЛП в рассматриваемом регионе три фазы: 1270–1410, 1500–1630, 1750–1840 гг. н. э. По результатам изучения отложений оз. Рыбного [Kvavadze, Efremov, 1996], расположенного в 50 км к северо-западу от оз. Каракель на высоте 2156 м абс., в районе Архыза было выделено две стадии Малого ледникового периода, соответствующих XV и XVII вв. Палинологические данные изученного нами разреза оз. Каракель не выявили различных стадий МЛП, несмотря на высокое временное разрешение, с которым проведен спорово-пыльцевой анализ (около 30 лет). Изменения растительного покрова в течение шестого этапа отражают, скорее, эволюционное преобразование растительности на протяжении одной стадии, в которой происходило постепенно похолодание и аридизация климата.

Если проводить сопоставление с результатами других палинологических исследований Кавказа, то несколько этапов МЛП выделяется не везде. Например, на диаграмме разреза Ispani II [Connor et al., 2007], изученного на Черноморском побережье Грузии, признаки похолодания климата (около 500–600 лет назад), индикатором которого было существенное снижение содержания пыльцы *Pterocarya* и *Zelkova*, соответствуют одному этапу.

Заключительный, **седьмой этап** развития растительности в долине р. Теберды (1780 г. – настоящее время) характеризуется расширением площадей распространения широколиственных и хвойно-широколиственных лесов, преимущественно из граба, бука, пихты и ели и продвижением их вверх по

склонам долины. Высокая доля пыльцы сосны в спектрах (до 85%, зона 7) указывает на увеличение площади сосняков в окрестностях озера, что может быть связано с сукцессиями растительности в результате антропогенного воздействия.

ВЫВОДЫ

Проведенные палинологические исследования показали, что разрез донных отложений оз. Каракель – один из наиболее полных и репрезентативных разрезов в Кавказском регионе, описывающий субатлантический период голоцена. Полученные результаты спорово-пыльцевого анализа, выполненные с высоким временным разрешением (20–30 лет), позволили сделать следующие выводы:

1. В течение последних 2200 лет было выделено три этапа похолодания климата: 236 г. до н. э. – 107 г. н. э., 875–995 и 1210–1780 гг. н. э. и три этапа потепления: 107–875 и 995–1210 гг. н. э. и начиная с 1780 г. по настоящее время. В течение относительно холодных интервалов происходило перемещение

на более низкие гипсометрические уровни нижней границы пояса темнохвойных и хвойно-широколиственных лесов с участием темнохвойных пород, а также расширение площадей сосновых лесов. В течение теплых этапов создавались благоприятные условия для произрастания широколиственных лесов в долине р. Теберды. Эти интервалы характеризовались распространением грабовых, буковых, грабово-буковых и пихтово-буковых лесов.

2. Период с высокими тепло- и влагообеспеченностью и максимальным обилием широколиственных пород деревьев в лесных сообществах выявлен между 995 и 1210 гг. н. э., что соответствует средневековому климатическому оптимуму.

3. Малый ледниковый период четко выделяется по палинологическим данным из оз. Каракель в интервале 1210–1780 гг. н. э. Несмотря на высокое временное разрешение, с которым проведен палинологический анализ, нами не были выявлены различные стадии МЛП, установленные в результате литологического изучения отложений озера.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность руководителю полевого отряда член-корр. РАН О.Н. Соломиной и всем участникам полевых работ на озере Каракель 2010–2014 гг. Подготовка статьи выполнена в рамках государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багрова Т.Н., Дроздов В.В. Влияние крупномасштабной атмосферной циркуляции на климатические параметры Западного Кавказа (Тебердинский биосферный заповедник) // Ученые записки Рос. гос. гидрометеорологического университета. 2010. № 13. С. 52–63.
- Гричук В.П. Методика обработки осадочных пород бедных органическими остатками, для целей пыльцевого анализа // Проблемы физической географии. 1940. Вып. 8. С. 53–58.
- Зернов А.С. Флора Северо-Западного Кавказа. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2006. 664 с.
- Клопотовская Н.Б. Основные закономерности формирования спорово-пыльцевых спектров в горных районах Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1973. 186 с.
- Литвинская С.А. Флора и растительность высотной поясности северо-западнокавказского оробиома // Химия, экология и рациональное природопользование: материалы Международной научно-практической конференции (г. Магас, 21–23 октября 2021 г.). Махачкала: АЛЕФ, 2021. С. 221–228.
- Петрушина М.Н. Особенности ландшафтных сукцессий в зонах схода селевых потоков на Северном Кавказе // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: материалы IV Международной конференции (Россия, г. Иркутск – пос. Аршан (Республика Бурятия), 6–10 сентября 2016 г.). Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. С. 199–203.
- Пиегусов Р.Х., Темботова Ф.А., Саблирова Ю.М. Основные закономерности пространственной локализации различных типов хвойных лесов северного макросклона Западного Кавказа по материалам дистанционного зондирования земли // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: доклады VII Всероссийской конференции (Москва, 22–24 апреля 2019 г.). М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 84–88.
- Рябогина Н.Е., Идрисов И.А., Борисов А.В. и др. Болота восточного Кавказа как высокоразрешающие архивы палеогеографической информации // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 85–94.
- Рябогина Н.Е., Насонова Э.Д., Борисов А.В. и др. Изменения растительности Дагестана в голоцене (по пыльцевым данным горных и равнинных торфяных архивов) // Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (к 100-летию Л.Г. Динесмана) / отв. ред. А.Б. Савинецкий. М.: Медиа-ПРЕСС, 2019. С. 288–289.
- Саблирова Ю.М. Березовые леса с участием *Betula raddeana* Trautv. Тебердинского национального парка (Северо-Западный Кавказ) // Мат. межд. конф.: Теоретические и прикладные аспекты организации, проведения и использования мониторинговых наблюдений, посвященной 95-летию со дня рождения члена-корреспондента НАН Беларуси Е.А. Сидоровича (Минск, 9–10 марта 2023 г.) / Нац. акад. наук Беларуси; под ред. Ж.А. Рупасова и др. Минск: ИВЦ Минфина, 2023. С. 277–280.
- Серебрянный Л.Р., Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н. и др. Растительность центральной части высокогорного Кав-

- каза в голоцене // Бюлл. комиссии по изуч. четвертичн. периода. 1980. № 50. С. 123–137.
- Серебряный Л.Р., Голодковская Н.А., Орлов А.В. и др. Колебания ледников и процессы моренонакопления на Центральном Кавказе. М.: Наука, 1984. 216 с.
- Чепурная А.А. Динамика растительного покрова в позднем голоцене в районе оз. Каракель – долина р. Теберды (по палинологическим данным) // Известия РАН. Сер. Географическая. 2014. № 2. С. 84–95. DOI: 10.15356/0373-2444-2014-2-84-95.
- Abraham V., Hicks S., Svobodová-Svitavská H. et al. Patterns in recent and Holocene pollen accumulation rates across Europe – the Pollen Monitoring Programme Database as a tool for vegetation reconstruction, *Biogeosciences*, 2021, no. 18, p. 4511–4534, DOI: 10.5194/bg-18-4511-2021.
- Alexandrin M.Y., Solomina O.N., Darin A.V. Variations of Heat Availability in the Western Caucasus in the Past 1500 Years Inferred from a High-Resolution Record of Bromine in the Sediment of Lake Karakel, *Quaternary International*, 2023, vol. 664, p. 20–32, DOI: 10.1016/j.quaint.2023.05.020.
- Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process, *Bayesian Analysis*, 2011, vol. 3, p. 457–474, DOI: 10.1214/11-BA618.
- Chichinadze M., Kvavadze E., Martkoplshvili I. Environmental Conditions at the Vani Site of the Classical Period according to Palynological Data, *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 2017, vol. 11, no. 4, p. 112–118.
- Connor S.E., Thomas I., Kvavadze E.V. A 5600-Yr History of Changing Vegetation, Sea Levels and Human Impacts from the Black Sea Coast of Georgia, *The Holocene*, 2007, vol. 17, iss. 1, p. 25–36, DOI: 10.1177/0959683607073270.
- De Klerk P., Haberl A., Kaffke A. et al. Vegetation History and Environmental Development since ca 6000 Cal Yr BP in and around Ispani 2 (Kolkheti Lowlands, Georgia), *Quaternary Science Reviews*, 2009, vol. 28, iss. 9–10, p. 890–910, DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.12.005.
- Grachev A.M., Novenko E.Y., Grabenko E.A. et al. The Holocene paleoenvironmental history of Western Caucasus (Russia) reconstructed by multi-proxy analysis of the continuous sediment sequence from Lake Khuko, *The Holocene*, 2021, vol. 31, p. 368–379, DOI: 10.1177/0959683620972782.
- Grimm E.C. TILIA and TILIA*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data, *INQUA Working Group on Data-Handling Methods*, Newsletter, 1990, vol. 4, p. 5–7.
- Hayrapetyan N., Hakobyan E., Kvavadze E. et al. Middle to late Holocene lake level changes of Lake Sevan (Armenia) – Evidence from macro and micro plant remains of Tsovinar-1 peat section, *Quaternary International*, 2023, vol. 661, p. 34–48, DOI: 10.1016/j.quaint.2023.03.013.
- Joannin S., Ali A.A., Ollivier V. et al. Vegetation, Fire and Climate History of the Lesser Caucasus: A New Holocene Record from Zarishat Fen (Armenia), *Palaeoenvironment and palaeoclimate in Armenia. J. Quaternary Sci.*, 2014, vol. 29, iss. 1, p. 70–82, DOI: 10.1002/jqs.2679.
- Kvavadze E.V. On the interpretation of subfossil spore-pollen spectra in the mountains, *Acta Paleobot.*, 1993, vol. 33, iss. 1, p. 347–360.
- Kvavadze E., Chagelishvili R., Rezesidze N. et al. Palynological Study of Archaeometallurgical Artefacts from the Late Bronze Age Copper Smelting Sites (Georgia): First Results and Implications for Future Research, 2023, 13 p., URL: <https://ssrn.com/abstract=4427249>, DOI: 10.2139/ssrn.4427249.
- Kvavadze E.V., Connor S.E. *Zelkova carpinifolia* (Pallas) K. Koch in Holocene sediments of Georgia – an indicator of climatic optima, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2005, vol. 133, iss. 1–2, p. 69–89.
- Kvavadze E.V., Efremov Y.V. Palynological studies of lake and lake-swamp sediments of the Holocene in the high mountains of Arkhyz (Western Caucasus), *Acta Paleobot.*, 1996, vol. 36, iss. 1, p. 107–119.
- Kvavadze E.V., Stuchlic L. Recent pollen spectra of the mountain forests of the Lagodekhi reservation (East Georgia), *Acta Paleobot.*, 1996, vol. 36, iss. 1, p. 121–148.
- Messenger E., Poulenard J., Sabatier P. et al. Paravani, a puzzling lake in the South Caucasus, *Quaternary International*, 2021, vol. 579, p. 6–18, DOI: 10.1016/j.quaint.2020.04.005.
- PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia, *Nature Geoscience*, 2013, vol. 6, p. 339–346.
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. The Intcal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal ka BP), *Radiocarbon*, 2020, vol. 4, p. 725–757, DOI: 10.1017/RDC.2020.41.
- Shatilova I., Mchedlishvili N., Rukhadze L. et al. *The history of the flora and vegetation of Georgia*, Tbilisi, Georgian National Museum, 2011, 200 p., DOI: 10.1007/978-3-642-29915-5_2.
- Tvalchrelidze M., Lebanidze Z., Jaoshvili G. Eustatics of the Black Sea and sedimentation peculiarities during the last 20 000 years (Georgian sector of the Black Sea), *Proceed. of Geological Institute, Georgian Academy of Sciences*, new series, 2004, vol. 119, p. 656–670.

Поступила в редакцию 16.01.2024

После доработки 12.04.2024

Принята к публикации 26.06.2024

VEGETATION AND CLIMATE HISTORY OF THE TEBERDA RIVER VALLEY (WESTERN CAUCASUS) IN THE LATE HOLOCENE FROM THE PALYNOLOGICAL DATA

A.A. Chepurnaya¹, E.Yu. Novenko²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Department of Physical Geography and Landscape Science*

¹ *Engineer, Ph.D. in Geography; e-mail: a_che@bk.ru*

² *Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: lenanov@mail.ru*

The paper presents a reconstruction of the Late Holocene vegetation and climate changes in the Teberda River valley (highland part of the Western Caucasus), based on palynological data from the Lake Karakel' sediment cores. A high time resolution (20–30 years) of obtained results gives us a unique possibility for detailed studies of natural environment dynamics in the Western Caucasus. According to the age-depth model based on 10 radiocarbon AMS dating, the sediments of the studied core formed during the last 2200 years with a stable accumulation rate without hiatuses. The obtained pollen data showed that during this time interval three stages of climate cooling were determined: 236 BC – 107 AD, 875–995 AD and 1210–1780 AD, as well as three stages of warming: 107–875 AD and 995–1210 AD and starting from 1780 to the present. Cooling phases were characterized by increasing abundance of *Picea* and *Abies* in forest stands, the expansion of pine forests and decreasing participation of broad-leaved species in vegetation cover. During the warm stages favourable conditions were created for the spread of *Carpinus* and *Fagus-Carpinus* forests with an admixture of *Quercus*, *Ulmus*, *Acer*, *Fraxinus* and *Ostrya*. The period of the Medieval Climate Anomaly between 995 and 1210 AD was revealed by the palynological data from the Karakel Lake and was distinguished by the maximum abundance of broad-leaved tree species in forests of the Teberda River valley. The subsequent cooling of the Little Ice Age (LIA) lasted from 1210 to 1780 AD. No signs of different phases within the LIA were determined by pollen analysis despite the high temporal resolution of obtained data.

Keywords: the Greater Caucasus, the Karakel Lake, lake deposits, pollen analysis, Medieval Climate Anomaly, Little Ice Age

Acknowledgements. The authors are deeply grateful to O.N.Solomina, Corresponding Member of the RAS, Head of the field party, and to all participants of 2010–2014 field studies at the Karakel Lake. The paper was prepared under the state task of the Institute of Geography of RAS FMWS-2024-0005.

REFERENCES

- Abraham V., Hicks S., Svobodová-Svitavská H. et al. Patterns in recent and Holocene pollen accumulation rates across Europe – the Pollen Monitoring Programme Database as a tool for vegetation reconstruction, *Biogeosciences*, 2021, no. 18, p. 4511–4534, DOI: 10.5194/bg-18-4511-2021.
- Alexandrin M.Y., Solomina O.N., Darin A.V. Variations of Heat Availability in the Western Caucasus in the Past 1500 Years Inferred from a High-Resolution Record of Bromine in the Sediment of Lake Karakel, *Quaternary International*, In press. Available online 11 June 2023, DOI: 10.1016/j.quaint.2023.05.020.
- Bagrova T.N., Drozdov V.V. Vliyanie krupnomasshtabnoj atmosfernoj tsirkulyatsii na klimaticheskie parametry Zapadnogo Kavkaza (Teberdinskij biosfernij zapovednik) [Influence of large-scale atmospheric circulation on climatic parameters of the Western Caucasus (Teberdinsky state reserve)], *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*, 2010, no. 13, p. 52–63. (In Russian)
- Blaauw M., Christen J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process, *Bayesian Analysis*, 2011, vol. 3, p. 457–474, DOI:10.1214/11-BA618.
- Chepurnaya A.A. Dinamika rastitalnogo pokrova v pozdnem goltsene v rajone oz. Karakel – dolina r. Teberda (po palinologicheskim dannym) [Dynamics of Vegetation Cover in the Late Holocene in Lake Karakel – Teberda Valley Area (According to Palynological Data)], *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 2, p. 84–95, DOI: 10.15356/0373-2444-2014-2-84-95. (In Russian)
- Chichinadze M., Kvavadze E., Martkoplshvili I. Environmental Conditions at the Vani Site of the Classical Period according to Palynological Data, *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 2017, vol. 11, no. 4, p. 112–118.
- Connor S.E., Thomas I., Kvavadze E.V. A 5600-Yr History of Changing Vegetation, Sea Levels and Human Impacts from the Black Sea Coast of Georgia, *The Holocene*, 2007, vol. 17, iss. 1, p. 25–36, DOI: 10.1177/0959683607073270.
- De Klerk P., Haberl A., Kaffke A. et al. Vegetation History and Environmental Development since ca 6000 Cal Yr BP in and around Ispani 2 (Kolkheti Lowlands, Georgia), *Quaternary Science Review*, 2009, vol. 28, iss. 9–10, p. 890–910, DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.12.005.
- Grachev A.M., Novenko E.Y., Grabenko E.A. et al. The Holocene paleoenvironmental history of Western Caucasus (Russia) reconstructed by multi-proxy analysis of the continuous sediment sequence from Lake Khuko, *The Holocene*, 2021, vol. 31, p. 368–379, DOI: 10.1177/0959683620972782.

- Grichuk V.P. [A technique for processing sedimentary rocks poor in organic residues for the purposes of pollen analysis], *Problemy fizicheskoy geografii* [Problems of physical geography], 1940, iss. 8, p. 53–58. (In Russian)
- Grimm E.C. TILIA and TILIA*GRAPH.PC spreadsheet and graphics software for pollen data, *INQUA Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter*, 1990, vol. 4, p. 5–7.
- Hayrapetyan N., Hakobyan E., Kvavadze E. et al. Middle to late Holocene lake level changes of Lake Sevan (Armenia) – Evidence from macro and micro plant remains of Tsovinar-1 peat section, *Quaternary International*, 2023, vol. 661, p. 34–48, DOI: 10.1016/j.quaint.2023.03.013.
- Joannin S., Ali A.A., Ollivier V. et al. Vegetation, Fire and Climate History of the Lesser Caucasus: A New Holocene Record from Zarishat Fen (Armenia). Palaeoenvironment and palaeoclimate in Armenia, *J. Quaternary Sci.*, 2014, vol. 29, iss. 1, p. 70–82, DOI: 10.1002/jqs.2679.
- Klopotovskaya N.B. *Osnovnye zakonomernosti formirovaniya sporovo-pyl'tsevykh spektrov v gornykh raionakh Kavkaza* [The main regularities of the formation of spore-pollen spectra in the mountainous regions of the Caucasus], Tbilisi, Metsniereba Publ., 1973, 186 p. (In Russian)
- Kvavadze E.V. On the interpretation of subfossil spore-pollen spectra in the mountains, *Acta Paleobot.*, 1993, vol. 33, iss. 1, p. 347–360.
- Kvavadze E., Chagelishvili R., Rezesidze N. et al. *Palynological Study of Archaeometallurgical Artefacts from the Late Bronze Age Copper Smelting Sites (Georgia): First Results and Implications for Future Research*, 2023, 13 p., URL: <https://ssrn.com/abstract=4427249>, DOI: 10.2139/ssrn.4427249.
- Kvavadze E.V., Connor S.E. Zerkova carpinifolia (Pallas) K. Koch in Holocene sediments of Georgia – an indicator of climatic optima, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2005, vol. 133, iss. 1–2, p. 69–89.
- Kvavadze E.V., Efremov Y.V. Palynological studies of lake and lake-swamp sediments of the Holocene in the high mountains of Arkhyz (Western Caucasus), *Acta Paleobot.*, 1996, vol. 36, iss. 1, p. 107–119.
- Kvavadze E.V., Stuchlic L. Recent pollen spectra of the mountain forests of the Lagodekhi reservation (East Georgia), *Acta Paleobot.*, 1996, vol. 36, iss. 1, p. 121–148.
- Litvinskaya S.A. [Flora and vegetation of the North-West Caucasian orobiom], *Khimiya, ekologiya i ratsionalnoe prirodopolzovanie* [Chemistry, ecology and rational nature management], Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Magas, October 21–23, 2021), Makhachkala, ALEF Publ., 2021, p. 221–228. (In Russian)
- Messenger E., Poulenard J., Sabatier P. et al. Paravani, a puzzling lake in the South Caucasus, *Quaternary International*, 2021, vol. 579, p. 6–18, DOI: 10.1016/j.quaint.2020.04.005.
- PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia, *Nature Geoscience*, 2013, vol. 6, p. 339–346.
- Petrushina M.N. [Features of landscape successions in the zones of debris flows release in the Northern Caucasus], *Selevyte potoki: katastrofy, risk, prognoz, zaschita* [Debris flows: risks, forecast, protection], materials of IV International Conference (Russia, Irkutsk – Arshan village (The Republic of Byriatia), September 6–10, 2016), Irkutsk, Publishing House of Sochava Institute of Geography SB RAS, 2016, p. 199–203. (In Russian)
- Pshegusov R.KH., Tembotova F.A., Sablirova Yu.M. [The main regularities of the spatial localization of various types of the coniferous forests of the Western Caucasus by remote sensing], *Aerokosmicheskie metody i geoinformatsionnye tekhnologii v lesovedenii, lesnom khozyajstve i ekologii* [Aerospace methods and GIS-technologies in forestry, forest management and ecology], proceedings of the VII All-Russian Conference, Moscow, Russia, April 22–24, Moscow, CEPF RAS Publ., 2019, p. 84–88. (In Russian)
- Reimer P., Austin W.E.N., Bard E. et al. The Intcal 20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal ka BP), *Radiocarbon*, 2020, vol. 4, p. 725–757, DOI: 10.1017/RDC.2020.41.
- Ryabogina N.E., Idrisov I.A., Borisov A.V. et al. Swamps of East Caucasus as high resolution archives of paleogeographical information, *Geography and Natural Resources*, 2019, no. 2, p. 85–94. (In Russian)
- Ryabogina N.E., Nasonova E.D., Borisov A.V., Idrisov I.A. [Changes in the vegetation of Dagestan in the Holocene (according to pollen data from mountain and plain peat archives)], *Dinamika ekosistem v golotsene* [Ecosystems Dynamics in the Holocene] (dedicated to the 100th anniversary of L.G. Dinesman), Proceedings of the V Russian Scientific Conference with International Participation, A.B. Savinetsky (ed.), Moscow, Media-PRESS Publ., 2019, p. 288–289. (In Russian)
- Sablirova Y.M. [Birch forests with *Betula raddeana* Trautv. in Teberdinsky National Park], *Teoreticheskie i prikladnye aspekty organizatsii, provedeniya i ispolzovaniya monitoringovykh nablyudenij* [Theoretical and applied aspects of the organization, conduct and use of monitoring observations], proceedings of the international conference: dedicated to the 95th anniversary of the birth of Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus E.A. Sidorovich (Minsk, March 9–10, 2023), Nat. acad. sciences of Belarus, Zh.A. Rupasova et al. (eds.), Minsk, IVTs of the Ministry of Finance Publ., 2023, p. 277–280. (In Russian)
- Serebryannyi L.R., Gei N.A., Dzhinoridze R.N. et al. Rastitelnost tsentralnoj chaste vysokogornogo Kavkaza v golotsene [Vegetation of central part of alpine Caucasus in Holocene], *Bulletin of the Commission for Study of the Quaternary*, 1980, no. 50, p. 123–137. (In Russian)
- Serebryannyi L.R., Golodkovskaya N.A., Orlov A.V. et al. *Kolebaniya lednikov i protsessy morenonakopleniya na Tsentral'nom Kavkaze* [Oscillations of glaciers and processes of moraine accumulation in the Central Caucasus], Moscow, Nauka Publ., 1984. (In Russian)
- Shatilova I., Mchedlishvili N., Rukhadze L., Kvavadze E. *The history of the flora and vegetation of Georgia*, Tbilisi, Georgian National Museum Publ., 2011, 200 p., DOI: 10.1007/978-3-642-29915-5_2.
- Tvalchrelidze M., Lebanidze Z., Jaoshvili G. Eustatics of the Black Sea and sedimentation peculiarities during the last 20 000 years (Georgian sector of the Black Sea), *Proceed. of Geological Institute, Georgian Academy of Sciences, New series*, 2004, vol. 119, p. 656–670.
- Zernov A.S. *Flora Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Flora of the Northwestern Caucasus], Moscow, Tovarishchestvo nauchn. publ. KMK Publ., 2006. (In Russian)

Received 16.01.2024

Revised 12.04.2024

Accepted 26.06.2024

УДК: 911.3:33

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ КОРЕЯ В XXI В.

В.В. Акимова¹, Ф.М. Чернецкий²

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран*

² *Центр российской стратегии в Азии Института экономики РАН*

¹ *Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: varvaraakimova1576@gmail.com*

² *Аспирант; мл. науч. сотр.; e-mail: fedor.mche@gmail.com*

Азиатский финансовый кризис 1997–1998 гг. стал для Республики Корея мощнейшим экономическим потрясением, спровоцировавшим значимые изменения в территориальной структуре обрабатывающей промышленности страны, анализу которых и посвящена данная статья. После кризиса трансформация территориальной структуры характеризуется пятью основными процессами. Два из них, на первый взгляд взаимоисключающих, – децентрализация и концентрация – не только затрагивают всю структуру, но и определяют общий вектор ее трансформации в рассматриваемый период. Децентрализация наблюдается в большинстве отраслей обрабатывающей промышленности и выражается в росте специализированных промышленных центров на периферии старых (Столичный регион) и в появлении новых (в Чхунчхоне и Чолла). Рост концентрации фиксируется в высокотехнологичных отраслях (фармацевтика, производство полупроводников, электронных компонентов, медицинского оборудования), получающих больше преимуществ от локализации в крупных центрах с диверсифицированной экономикой и все больше концентрирующихся в Столичном регионе. Другие процессы (вынос производств за рубеж, диверсификация и пульсации в местной экономике) либо воздействуют локально, либо оказывают существенно меньшее влияние на трансформацию территориальной структуры обрабатывающей промышленности, чем основные два. Вынос производственных функций южнокорейских компаний в основном направлен в развивающиеся страны Азии (КНР, Вьетнам, Индонезия), Восточную Европу и Северную Америку. Возможность интернационализации производственной структуры крупнейших фирм снижает конкурентоспособность южнокорейских периферийных и старопромышленных районов, оказывающихся неспособными привлекать новые и удерживать существующие предприятия. На региональном уровне это способствует децентрализации территориальной структуры, однако на национальном уровне провоцирует рост концентрации в районах с сильнейшими конкурентными преимуществами (Столичный регион). Локальные процессы – диверсификация и пульсации в местной экономике – характерны для наиболее специализированных промышленных центров. Диверсификация затрагивает в первую очередь старопромышленные районы, ранее специализировавшиеся на текстильно-швейном производстве (Тэгу, Чонджу, Пусан). Пульсации численности занятых и объемов производства – свойство в основном специализированных судостроительных центров (Тхонъен, Косон, Кодже), переживающих регулярные циклические отраслевые кризисы.

Ключевые слова: промышленное развитие, Республика Корея, территориальная структура промышленности, обрабатывающая промышленность

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.8

ВВЕДЕНИЕ

Республика Корея (далее также Корея и РК) – страна, которая за XX в. смогла превратиться из одной из беднейших стран мира в развитую индустриальную державу. Модель ее развития похожа на примеры соседних Японии и Тайваня, а попытки копировать историю ее успеха наблюдаются во Вьетнаме и КНР. Важнейшую роль в модернизации

экономики РК играло промышленное развитие и, в отличие от большинства развитых стран, в Корее обрабатывающая промышленность до сих пор остается одной из ключевых отраслей по вкладу как в ВВП (39%), так и в занятость (25%).

Экономисты и географы уделяли немалое внимание как государственной политике, развитию отдельных фирм и отраслей, так и пространствен-

ной динамике этих процессов в XX в. [Lee, 1988; Amsden, 2003; The Park Chung Hee Era..., 2011]. Однако Азиатский финансовый кризис (АФК) 1997–1998 гг. привнес существенные изменения во всю экономическую сферу РК. Трансформировались отношения между государством и крупным бизнесом, произошли изменения в структурах крупнейших конгломератов (чеболей), приоритетах промышленной политики, изменилось место страны в международном разделении труда [Park, Koo, 2021].

Общие экономические тренды последующих двух десятилетий XXI в. уже стали объектом исследований, однако экономико-географические работы, посвященные не только анализу отдельных примеров, но и полноценной концептуализации географической динамики развития экономики страны, пока единичны [Kalinowski, 2009]. Особый интерес представляет современная динамика промышленного развития РК, так как обрабатывающая промышленность страны столкнулась во время Азиатского финансового кризиса с серьезными вызовами, которые не могли не повлиять на ее территориальную структуру [Park, Koo, 2021].

Азиатский финансовый кризис стал для Кореи мощнейшим экономическим потрясением, обусловленным: а) отсутствием в стране развитого независимого финансового сектора, б) многолетней политикой чрезмерной зависимости компаний от иностранных займов как средства достижения высокого роста при отсутствии достаточного внутреннего капитала, в) повышенной ролью в экономике и лоббистскими возможностями чеболей, монополизировавших ряд отраслей [Kalinowski, 2009]. Кризис спровоцировал масштабные реформы, направленные на трансформацию экономики, региональной политики, рынка труда, организационных структур чеболей и т. д. Реформирование новым правительством старой системы повысило прозрачность и подотчетность чеболей, упростило внутренние связи внутри них, а также усилило специализации крупнейших конгломератов. Если раньше большинство из них вело бизнес практически во всех отраслях сразу, от пищевой промышленности до электроники и судостроения, то после АФК они были вынуждены выбрать несколько ключевых отраслей специализации. Непрофильные активы продавались конгломератам, для которых они были основой специализации [Kalinowski, 2009].

Приватизация многих государственных компаний, либерализация внешней торговли, увеличение гибкости рынка труда, борьба с монополиями и интернационализация южнокорейской экономики привели к децентрализации системы управления как на государственном, так и на корпоративном уровнях. Подобные изменения не могли не повли-

ять на территориальную структуру корпоративных сетей, производственных цепочек и конфигурацию промышленных районов.

Цель настоящей работы – определить процессы, характерные для территориальной структуры (ТС) южнокорейской обрабатывающей промышленности под воздействием последствий Азиатского финансового кризиса (в первые два десятилетия XXI в.). Если в предыдущие периоды изменения в данной ТС можно было охарактеризовать как линейные и синхронные, то в рассматриваемый период изучаемые изменения оказываются следствием большего и более разнообразного набора внутренних и внешних экономических факторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

После Азиатского финансового кризиса в РК сформировалось несколько новых крупных и средних промышленных центров, при этом некоторые из уже существующих центров стали меньше, а другие – выросли. При этом в некоторых регионах страны присутствуют промышленные центры с разной динамикой. Поэтому для более полного понимания изменений, произошедших в ТС обрабатывающей промышленности и отдельных ее отраслей, следует обратиться и к индексам, обобщающим данные изменения. Для расчетов был выбран показатель занятости как наиболее инертный и подверженный меньшим колебаниям. Для оценки концентрации занятости в отдельных отраслях обрабатывающей промышленности РК и ее динамики использовался индекс Эллисона – Глейзера – классический и один из наиболее распространенных методов выявления кластеризации в отрасли, позволяющий также сравнивать неравномерность географического распределения в отрасли с другими отраслями и в динамике [Ellison, Glaeser, 1997]:

$$g_j(t) = \sum_{i=1}^I \left(\frac{E_{ij}(t)}{E_j(t)} - \frac{P_i(t)}{P(t)} \right)^2,$$

где g_j – индекс концентрации; t – временной срез; j – отрасль; i – территориальная единица; E_i – доля территориальной единицы i в совокупной занятости; P_i – доля территориальной единицы i в совокупном населении.

Значения индекса, близкие к 1, соответствуют высокой концентрации отрасли (занятости и др.). То есть предприятия сосредоточены в одном или нескольких муниципалитетах/регионах. Значения индекса, близкие к 0, означают относительно равномерное распределение предприятий по территориальным ячейкам (пропорционально численности населения или занятым).

Для анализа использовались данные о занятости по наиболее географически дробному уровню

детализации данных из доступных (229 муниципалитетов) по 22 отраслям обрабатывающей промышленности. Данные получены из Корейской статистической информационной службы [KOSIS, 2023]. Анализ проводился по данным за 1999–2019 гг., однако в статье представлены лишь наиболее значимые тренды, а для иллюстрации выбраны только основные «срезы». Так как исследование в большей степени нацелено на определение основных общенациональных процессов, многие детали и частные подробности были опущены.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современная территориальная структура обрабатывающей промышленности РК характеризуется наличием двух «полюсов» концентрации производств и занятости: северо-западного (столичный регион) и юго-восточного (регион Кенсан). Первый – промышленный ареал от Пхаджу и Инчхона на севере до Асана и Ымсона на юге (рис. 1). Доминирующая в регионе отрасль – электроника и электротехника, однако широко представлены и другие отрасли с высокой добавленной стоимостью: фармацевтика, парфюмерно-косметическая промышленность, автомобилестроение. Это наиболее диверсифицированный промышленный район в РК, именно здесь находятся штаб-квартиры и исследовательские центры большинства средних и крупных промышленных компа-

ний, производственные филиалы иностранных фирм и учреждения по подготовке высококвалифицированных кадров. Второй «полюс» сформировался вокруг Пусана и Тэгу, но на современном этапе развития ТС производственные функции этих центров мало значимы. Куда большее влияние приобрели крупные специализированные центры вдоль юго-восточного побережья: Пхохан (черная металлургия), Кодже (судостроение), Сачхон (АРКП), Кенджу (автомобилестроение), Ульсан (нефтепереработка и транспортное машиностроение) и Чханвон (единственный из крупных местных центров с диверсифицированной отраслевой структурой). Основа местной промышленности – капиталоемкие и трудоемкие отрасли (до 2000-х гг. в Тэгу и Пусане преобладала текстильно-швейная промышленность). Исключение – кластер электроники и электротехники в Куми.

В других регионах страны практически отсутствуют полноценные крупные промышленные районы с сильными внутренними горизонтальными связями. Выделяются лишь отдельные центры: Йосу и Сосан (нефтехимия), Кванъян и Танджин (черная металлургия), Йонам (судостроение), Ванджу (автомобилестроение), Чхонджу (полупроводники), Кванджу, Кунсан, Иксан и др. Основные местные предприятия моложе столичных и кенсанских, имеют более слабые внутрорегиональные связи и выполняют преимущественно производственные функции.

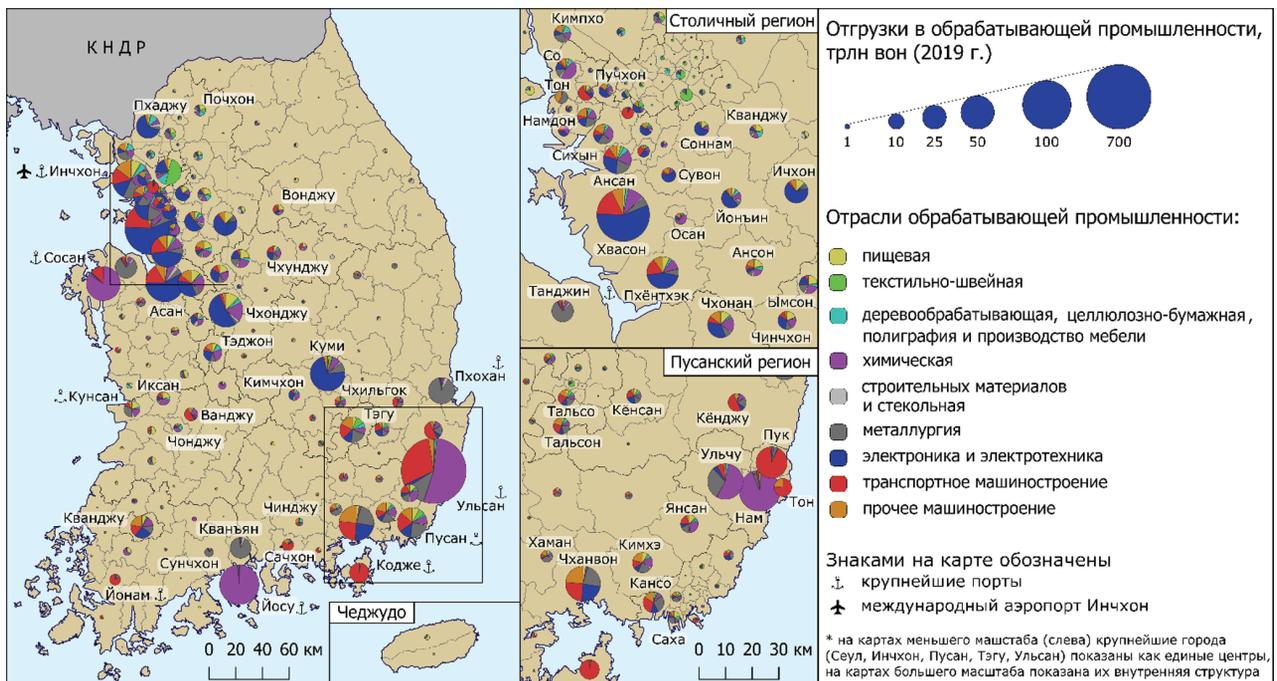


Рис. 1. Отраслевая структура отгрузок в обрабатывающей промышленности по муниципалитетам РК (2019).

Источник: составлено авторами по [KOSIS, 2023]

Fig. 1. Sectoral structure of manufacturing shipments by municipalities of the RK (2019).

Source: compiled by the authors according to [KOSIS, 2023]

Современная территориальная структура обрабатывающей промышленности РК характеризуется пятью основными, иногда противоположными, процессами: общей децентрализацией; выносом производств за пределы страны; ростом концентрации в Столичном регионе; диверсификацией в старопромышленных районах; пульсациями специализированных центров (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики современных процессов трансформации территориальной структуры обрабатывающей промышленности РК

Процесс	Характеристика	Отрасли	Районы
Децентрализация	Снижение концентрации занятости и производства в «старых» центрах за счет появления новых крупных и средних в других регионах	Металлургия, химия, транспортное машиностроение, часть (менее наукоемкая) электроники и электротехники	Вся страна (особенно регион Чхунчхон)
Вынос производств в другие страны	Снижение конкурентоспособности южнокорейских промышленных центров в производстве продукции, требующей больших трудовых затрат, за счет роста развивающихся стран (КНР, Вьетнама, Индонезии, Индии и др.)	Трудо- и капиталоемкие: текстильно-швейная, автомобилестроение, судостроение	Вся страна (особенно старопромышленные центры: Сеул, Тэгу, Пусан, Чонджу; и специализированные судостроительные: Косон, Тхоньен, Кодже)
Рост концентрации	Повышение доли Столичного региона в производстве и занятости в высокотехнологичных отраслях и текстильно-швейном производстве из-за наличия в Столичном регионе больших (относительно других регионов) конкурентных преимуществ в условиях глобальной конкуренции с другими развитыми странами	Текстильно-швейная и высокотехнологичные: производство полупроводников, медицинского оборудования, электро-, аудио- и видеооборудования, фототехники, косметики и фармацевтика	Столичный регион (однако влияет на всю страну): ТШП – Сеул; фармацевтика – Инчхон и юго-запад региона; электроника и прочее машиностроение – юг региона
Диверсификация	Увеличение разнообразия в структуре занятости и производства в центрах, ранее крайне специализировавшихся на одной или двух отраслях	Сокращение значимости текстильно-швейной отрасли за счет роста большинства других	Кванджу, Куми и старопромышленные центры: Тэгу, Пусан, Чонджу
Пульсации	Существенные колебания численности занятых и объемов производства в специализированных центрах с доминированием отраслей, подверженных регулярным циклическим изменениям спроса	Судостроение, нефтепереработка	Пров. Южная Кенсан (Косон, Тхоньен, Кодже) и Южная Чолла (Йосу, Мокпхо); Ульсан

Источник: составлено авторами.

Децентрализация. Индустриализация в Корее проводилась «сверху», с активным участием государства и крупного бизнеса. Ставка в первые десятилетия делалась на развитие нескольких «полюсов роста», ориентированных на экспорт. Впоследствии вокруг них сформировались промышленные районы с разнообразными (по размерам и отраслевой специализации) промышленными центрами, однако на региональном уровне территориальная структура оставалась сверхцентрализованной. Постепенная децентрализация и деконцентрация продолжаются и в рассматрива-

емый период, однако эти процессы усложнились и фиксируются не для всех отраслей. В первую очередь увеличение вклада в промышленное производство и занятость ранее слаборазвитых и периферийных районов свойственно для менее наукоемких отраслей: металлургии, химической промышленности (кроме тонкой химии) и транспортного машиностроения.

На основе расчетов индекса Эллисона – Глейзера выявлено, что концентрация обрабатывающей промышленности в целом невелика и за последние 20 лет практически не изменилась (табл. 2).

Максимальные уровни в 1999 г. наблюдались в нефтепереработке, фармацевтическом производстве, производстве железнодорожной техники, судостроении. Минимальные – в тяготеющих к

потребителю производствах продуктов питания, строительных материалов, одежды и аксессуаров, бумаги и картона, электрооборудования, резиновых изделий и пластмасс.

Таблица 2

Индекс Эллисона – Глейзера в отраслях обрабатывающей промышленности РК в 1999, 2010 и 2019 гг.

Отрасль	1999	2010	2019	2019–1999	2019–1999, %
Обрабатывающая промышленность	0,007	0,010	0,009	+0,002	+21
Продукты питания	0,008	0,008	0,009	+0,001	+11
Напитки, табак	0,067	0,048	0,064	–0,003	–5
Текстиль, искл. одежду	0,027	0,028	0,029	+0,001	+5
Одежда, аксессуары	0,014	0,02	0,039	+0,025	+181
Кожа, сумки, обувь	0,062	0,056	0,058	–0,004	–7
Древесина, изделия из нее, искл. мебель	0,062	0,051	0,041	–0,021	–34
Целлюлоза, бумага, бумажные изделия	0,017	0,018	0,016	–0,001	–4
Полиграфия	0,059	0,059	0,064	+0,005	+9
Мебель	0,049	0,030	0,049	0	0
Нефтепереработка	0,356	0,240	0,174	–0,182	–51
Химические продукты, искл. фармацевтику	0,046	0,027	0,026	–0,02	–43
Фармацевтика	0,113	0,063	0,054	–0,059	–52
Резиновые и пластмассовые изделия	0,017	0,018	0,016	–0,001	–8
Строительные материалы, изделия из стекла	0,011	0,016	0,012	+0,001	+5
Металлургия	0,06	0,039	0,037	–0,023	–39
Металлические изделия; искл. машиностроение и мебель	0,023	0,018	0,015	–0,008	–34
Электронные компоненты, компьютеры, видео- и коммуникационное оборудование	0,036	0,039	0,041	+0,005	+15
Медицинские, точные, оптические приборов и часы	0,030	0,014	0,014	–0,016	–53
Электрооборудование	0,018	0,019	0,02	+0,002	+11
Прочие машины и оборудование	0,026	0,024	0,018	–0,008	–30
Автомобилестроение	0,047	0,035	0,036	–0,011	–24
Прочее транспортное машиностроение	0,206	0,177	0,18	–0,026	–12

Источник: составлено авторами по [KOSIS, 2023].

За счет появления и роста новых центров в регионе Чхунчхон (запад) степень концентрации производства почти во всей химической отрасли, металлургии, точном машиностроении, производстве спецтехники и автомобилестроении значительно снизилась. Фиксируется и деконцентрация в судостроении из-за появления комплексов в регионе Чолла (юго-запад) в Мокпхо и Кунсане. При этом заметный рост концентрации наблюдается лишь в текстильно-швейной отрасли. В большинстве случаев изменения имели линейный характер, заметные исключения – наиболее пострадавшие от АФК отрасли, испытывавшие перестройку своей ТС сразу после кризиса (в начале 2000-х гг.).

Из столичного региона в Чхунчхон и в меньшей степени в другие районы страны «сдвигаются» более (но не самые) инновационные отрасли. Например, доля Чолла и Чхунчхона в занятости выросла за рассматриваемый период с 20 до 35% в фармацевтическом производстве, с 25 до 35% в производстве прочих химических продуктов, с 10 до 20% в производстве спецтехники, с 10 до 25% в выпуске автомобилей, двигателей, генераторов и аккумуляторов. При этом доля столичного региона в данных отраслях снизилась на 5–20 процентных пунктов. Аналогично из-за роста промышленного производства в Чхунчхоне и Чолла снижается доля Кенсана в капиталоемких «традиционных» отраслях: нефте-

переработка, производство стали, комплектующих и продуктов основной химии.

Децентрализация затронула не только инновационные отрасли. Например, в *судостроении* в последние 20 лет фиксируется сокращение доли в общем производстве старых центров Кенсана (Пусан, Ульсан, Кодже) и рост новых в Чолла (рост доли в занятости с 6 до 20%). Промышленный комплекс Тэбуль, сформированный в начале 2000-х гг. рядом с Мокпхо, – инициатива национального правительства. Новые верфи были созданы путем переноса старых производственных мощностей из Инчхона с использованием технологий кенсанских верфей [Shin, Hassink, 2011]. Однако новый кластер специализировался на производстве, а не на инновациях, то есть остался подчиненным инновационным центрам Кенсана. Новые кластеры за пределами ядра столичного региона и Кенсана повторяют путь, пройденный центрами первой волны децентрализации 1970–1980-х гг. (Ульсан, Йосу, Кодже, Пхохан и др.) (см. рис. 1), которые имели мало местных связей, замыкаясь на внерегиональных контрагентов.

Приватизация в 2002 г. компании POSCO (один из мировых лидеров *черной металлургии*), лишение ее почти монопольного положения, отмена импортных пошлин на сталь и ужесточение экологического законодательства после АФК привели к формированию новых и росту существующих конкурентов POSCO [Park, Koo, 2021], в том числе Hyundai Steel и Dongkuk Steel. На рынок вышли конгломераты, работавшие в смежных отраслях и стремившиеся к вертикальной интеграции.

Корпоративная децентрализация и невозможность расширения производственных площадок в старых металлургических центрах (Пхохан, Кванъян) привели к притоку инвестиций в новые центры. Hyundai открыла комбинат в Ульсане, рядом со своими верфями и автомобильными заводами – крупнейшими потребителями стали. Другой новый центр – Танджин – город на западе региона Чхунчхон, с 1990-х гг. ставшего самым быстрорастущим регионом страны.

Новые возможности для наращивания экспорта, открывшиеся после нормализации отношений с КНР и ее стремительным экономическим ростом в 1990-х гг., могли быть реализованы в окрестностях старых металлургических центров, конкурентные преимущества которых были выше, чем у Танджина. Отчасти так и произошло: рядом с Кванъяном возникли металлургические предприятия Сунчхона, в Пусанском регионе – Чханвон, Кимхэ и Ханман (см. рис. 1). Однако лоббирование со стороны местного политического движения, представители которого поочередно вступали в коалиции с двумя основными правящими партиями РК [Чернецкий,

2023], стало ключевым фактором создания нового крупного центра практически на ровном месте.

Аналогичные процессы происходили и в других отраслях. Например, к 2019 г. *нефтехимический* комплекс Сосана (рядом с Танджином) стал сопоставим по стоимости произведенной продукции с двумя старыми центрами – Ульсаном и Йосу. Значительный рост испытали автомобилестроение и электроника чхунчхонских промышленных центров (Асан, Чхонан, Чхонджу).

Новые производства, специализирующиеся на выпуске продукции *электроники*, создавались не в Сеуле, Ульсане, Куми, Пусане, а на периферии столичного региона (см. рис. 1). Например, совместное предприятие Samsung и Sony, образованное в начале 2000-х гг. для выпуска жидкокристаллических дисплеев, расположено в Асане, а СП LG и Philips – в Пхаджу. Мини-кластеры, специализирующиеся на производстве компонентов для этих предприятий, образовались между ними в Пхентхэке, Чхонане и Ансане [Lee et al., 2014].

Правительство перешло к «парадигме дисперсии» с целью политической децентрализации и промышленного рассеивания [Jeon, Lee, 2021]. До 2000-х гг. почти все крупные проекты создания новых центров реализовывались в столичном регионе и Кенсане, однако в последние 20 лет новыми полюсами роста стали Чолла и Чхунчхон. Одним из самых масштабных проектов децентрализации стало перемещение в 2005 г. почти 200 государственных учреждений и исследовательских центров за пределы столичного региона [Koo, 2013]. Они должны были стать драйверами развития инновационных кластеров по производству: медицинского оборудования в Вонджу, фотоники в Кванджу, комплектующих в Ансане, автомобилестроения в Кунсане и т. д. (см. рис. 1) [Park, Chung, 2012]. Продолжалась деконцентрация производства и в других старых центрах. Кроме Сеула сокращение численности занятых в промышленности испытали Тэгу и Пусан, что связано с потерей конкурентных преимуществ этими центрами и доминировавшими в них отраслями (текстильно-швейная). Многие фирмы были перемещены из Пусана в соседние Янсан, Кимхэ и Чханвон, часть – в столичный регион, а другие – за пределы РК.

Перенос производств в другие страны. Интернационализация южнокорейской экономики и производственной структуры чеболей началась в 1990-х гг., но интенсифицировалась после Азиатского финансового кризиса. Сейчас из-за недостатка высококвалифицированных кадров и иногда отсутствия подходящей инновационной среды некоторые компании (Samsung Electronics, Samsung SDI, Hyundai Motors, Hyundai Mobis, LG Energy Solution, SK Innovation) предпочитают инвестировать в производство полу-

проводников, аккумуляторов, электромобилей и т. д. не столько в Корее, сколько в развитых странах, например в США, Канаде, Польше и Венгрии.

С одной стороны, вынос производства южнокорейских фирм в другие страны способствовал децентрализации производственной структуры внутри РК (сокращение занятости в текстильно-швейной отрасли в старопромышленных центрах). С другой стороны, глобализация способствовала снижению привлекательности периферийных и старопромышленных центров РК, так как они конкурировали с новыми центрами развивающихся стран. Чеболи (Samsung, Hyundai, LG, SK, Lotte и др.) выходили на новые рынки и увеличивали объемы производства, частично за счет снижения издержек, благодаря локализации производственных операций в развивающихся странах. Это сопровождалось ростом занятости не только на непосредственно производственных предприятиях, но и в обслуживающих их сферах с более высокой заработной платой. Более инновационные производственные предприятия и исследовательские центры оставались в Корее, преимущественно в столичном регионе.

Рост концентрации в столичном регионе. Для некоторых более инновационных отраслей, которым важнее близость к исследовательским центрам, университетам и глобальным рынкам, диверсифицированная местная экономика, взаимодействия с другими отраслями обрабатывающей промышленности и сектором услуг, постепенно растет значимость столичного региона.

Наибольшую трансформацию своей ТС претерпела текстильно-швейная промышленность (ТШП), которая в 1990-х гг. была одной из основных во многих промышленных центрах. Однако к 2019 г. ее доля в занятости в Пусане, Чонджу, большинстве городов-спутников Сеула, Куми и Тэджоне сократилась до незначительной. Потерял в численности занятых и основной центр отрасли – район Тэгу. Большая часть производителей либо обанкротилась, либо переместила свои производственные мощности в другие страны, тогда как остались лишь производства с высокой добавленной стоимостью (в Сеуле) и небольшая часть субподрядчиков в районе специализации (Тэгу). Сеульские фирмы специализируются на создании оригинальной брендовой одежды и аксессуаров, поэтому им важно центральное положение в креативном кластере крупного города (районы Каннам, Сондон, Куро, Йондынпхо). В этой отрасли самый значительный рост индекса Эллисона – Глейзера (см. табл. 2) в 1999–2019 гг. (почти в 2 раза).

Кроме текстильно-швейной отрасли сдвиг в столичный регион (рост доли региона в занятости на 10–40 п. п.) претерпели и другие отрасли. Большинство из них – *подотрасли с высокой добавленной стоимостью*:

– производство полупроводников (Nanox, SK hynix, Samsung Electronics в Йонъине, Ичхоне, Чхонджу, Пхентхэке, Хвасоне, Сувоне) и оборудования для их производства (STATS ChipPAC, Amkor Technology в Инчхоне);

– производство медицинского оборудования (Medipost в Куро);

– производство электро-, видео и аудио оборудования, фототехники (Samsung Display, Samsung Electro-Mechanics, LG Magna e-Powertrain в Асане, Чхонане, Инчхоне, Йонъине, Сувоне);

– производство косметики (Kolmar Korea в Пучхоне) и др. (см. рис. 1).

Однако если ТШП резко сократилось в нестоличных регионах в начале рассматриваемого периода (между АФК и кризисом 2008–2009 гг.), а в последние 10 лет уже практически не испытывало изменений своей ТС, то изменения в большинстве других отраслей происходили либо равномерно, либо в 2010-х гг. Рост доли столичного региона в занятости в высокотехнологичных подотраслях за рассматриваемый период составил 5–15 п. п. и пришелся в основном на вторую его половину, когда, видимо, уже сказались накопленные после АФК инвестиции. Причем для их структуры занятости практически не характерен рост доли нестоличных регионов.

Диверсификация промышленности в старопромышленных районах. Некоторые промышленные центры, для которых ранее была характерна чрезмерная специализация на одной или двух отраслях, после Азиатского финансового кризиса претерпели значительную диверсификацию отраслевой структуры своей экономики. В большинстве случаев в роли доминирующих отраслей выступали традиционные для Кореи 1980–1990 гг. металлургия, химия и текстильное производство.

Снижение значимости ТШП для ряда промышленных центров привело к диверсификации их отраслевой структуры. В некоторых случаях это объясняется просто исчезновением доминирующей отрасли и снижением численности занятых (Чонджу, центр Тэгу¹). Была сделана ставка на переход от специализации на производстве с низкой добавленной стоимостью к производству с более высокой добавленной стоимостью и высоким несвязанным разнообразием [Cho, Hassink, 2009].

В большинстве случаев численность занятых росла или хотя бы стагнировала, а отраслевая структура стала менее специализированной. В районе Тэгу рост сопровождался перестройкой отраслевой структуры. Например, в Чхильгоке (пригород Тэгу) доля ТШП снизилась за рассматриваемый период с

¹ В 1980-х гг. в текстильно-швейном производстве в Тэгу было занято 80–100 тыс. чел., а в 2000 г. – 45 тыс. чел.

45 до 10%, тогда как доля химии и транспортного машиностроения выросла с 5 до 40%. Аналогичная трансформация свойственна и для других пригородов Тэгу (Тальсо, Тон) и промышленных центров региона: Сонджу, Кенсан, Мирян, Йончхон. Район стал больше специализироваться на производстве компонентов для соседних машиностроительных кластеров, расположенных в Чханвоне и Ульсане.

Пульсации специализированных центров. Некоторые промышленные центры не имеют устойчивого роста или снижения численности занятых и промышленного производства в целом или в отдельных отраслях. Вместо этого в них наблюдается пульсация, т. е. чередование сменявших друг друга периодов роста и сокращений (например, в нефтепереработке и судостроении).

Рассмотрим этот процесс на примере *судостроительных центров* провинции Ю. Кенсан. Для мировой судостроительной отрасли характерны циклы из-за необходимости обновления построенных некогда одновременно больших партий судов [Shin, Nassink, 2011]. В рассматриваемый период завершились два таких цикла. Производство южнокорейских судостроителей к 2005 г. удвоилось, а к 2011 г. упятилось по сравнению с уровнем 1999 г., однако в 2012–2018 гг. сократилось вдвое. Новый подъем начался после 2019 г. вследствие роста спроса на крупные нефтяные и СПГ-танкеры, на которых специализируется южнокорейское судостроение, и необходимости замены части судов, произведенных во второй половине XX в.

В начале 2000-х гг. судостроение занимало лишь 20–25% промышленного производства в небольших Косоне и Тхонъене (см. рис. 1), но к началу 2010-х гг. его доля выросла до 65–70%, а Тхонъен стал

крупным промышленным центром. Однако именно небольшие верфи, расположенные в этом районе, обанкротились и закрылись во второй половине 2010-х гг., вследствие чего численность занятых в Тхонъене снизилась до уровня начала 1990-х гг. (рис. 2), а в Косоне ее удалось удержать лишь благодаря инвестициям в авиастроение.

Крупные центры (Кодже) тоже сократились, однако не столь значительно из-за возможностей чеболей, владеющих местными верфями, поддерживать занятость, используя ресурсы других подразделений конгломерата. Например, верфь Samsung Heavy Industries в Кодже поддерживалась прибылью, полученной чеболем от Samsung Electronics. Занятость же на верфях Hyundai в Ульсане удерживалась за счет автомобильного подразделения чеболя.

ВЫВОДЫ

Динамика ТС обрабатывающей промышленности Республики Корея в рассматриваемый период характеризуется пятью процессами: децентрализацией, ростом концентрации производства в столичном регионе, выносом производств в другие страны, диверсификацией и пульсациями в экономике специализированных промышленных центров.

Децентрализация промышленности происходит вследствие появления новых центров в ранее промышленно слабо развитых регионах (Чхунчхон, Чолла), продолжающегося переноса существующих и строительства новых мощностей на периферии старых центров. Формирование новых специализированных центров металлургии и химической промышленности происходит из-за исчерпания возможностей для роста в старых центрах (Пхохан, Йосу, Кванъян).

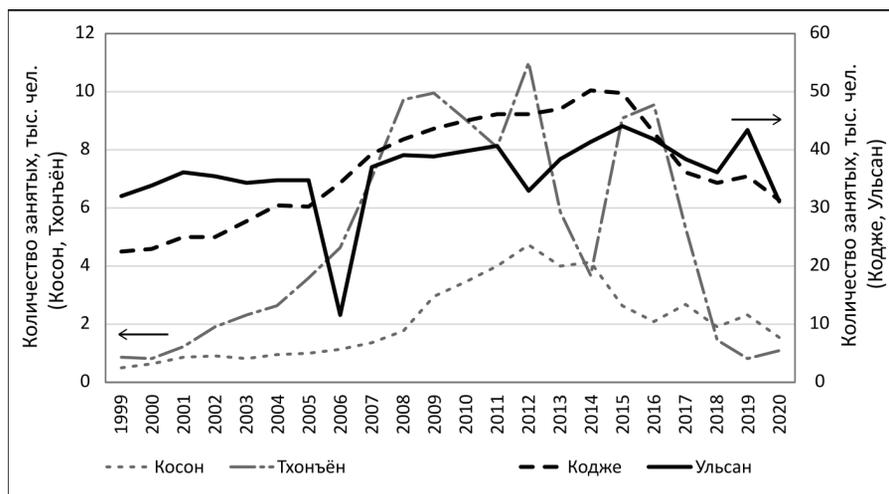


Рис. 2. Динамика численности занятых в судостроении в основных судостроительных центрах РК (1999–2020).

Источник: составлено авторами по [KOSIS, 2023]

Fig. 2. Employment' dynamics in shipbuilding in the main shipbuilding centers of the RK (1999–2020).

Source: compiled by the authors according to [KOSIS, 2023]

В наиболее наукоемких отраслях (фармацевтика, производство полупроводников, электронных компонентов, медицинского оборудования) наблюдается рост концентрации в столичном регионе вследствие большей значимости для данных отраслей взаимодействия с другими отраслями промышленности и сектором услуг, а также нахождения в районах с диверсифицированной экономикой и доступом к высококвалифицированным кадрам.

Вынос производственных функций южнокорейских компаний в ближайшие развивающиеся страны (КНР, Вьетнам, Индонезия), Восточную Европу и Северную Америку способствует как децентрализации производства из-за утраты старопромышленными центрами специализации на текстильно-швейном производстве, так и концентрации наукоемких отраслей в наиболее конкурентоспособных районах страны.

Диверсификация и смена специализации наблюдаются в старопромышленных районах, ранее специализировавшихся на текстильно-швейном производстве (Тэгу, Чонджу), испытавших длительный кризис и переориентировавшихся на производство компонентов для соседних машиностроительных центров (Чханвон, Ульсан).

Пульсации численности занятых и объемов производства – характерная черта специализированных судостроительных центров (Тхоньен, Косон, Кодже), испытывающих регулярные отраслевые кризисы. Небольшие компании в них не способны пережить очередной кризис без государственной поддержки и не имеют возможностей крупных финансово-промышленных групп, использующих для решения подобных проблем внутренние ресурсы.

Ввиду начавшегося вновь роста спроса на судостроительную продукцию в последние годы можно ожидать повторения, может менее выраженного, нового цикла развития малых специализированных судостроительных центров. Инвестиционная активность в регионах Чолла и Чхунчхон, а также в старопромышленных центрах (Тэгу и Пусан) позволяет предполагать продолжение децентрализации общей ТС обрабатывающей промышленности страны и диверсификации отраслевой структуры «старых» центров в дальнейшем. Наиболее сложно прогнозируемая динамика у наукоемких отраслей, в последние десятилетия концентрировавшихся в агломерации Сеула. Из-за усложнения ТС в этом регионе его скоро уже будет невозможно рассматривать как цельный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чернецкий Ф.М. Прагматичный регионализм Чхунчхона в контексте регионального противостояния в Республике Корея // Эволюционное страноведение: теория и практика / под ред. А.С. Наумова. Т. 21: Вопросы экономической и политической географии зарубежных стран. М.: Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2023. С. 145–158.
- Amsden A.H. *Asia's next giant: South Korea and late industrialization*, Oxford, Oxford University Press, 1992, 400 p.
- Cho M., Hassink R. Limits to locking out through restructuring: the textile industry in Daegu, South Korea, *Regional Studies*, 2009, vol. 43, no. 9, p. 1183–1198, DOI: 10.1080/00343400802171973.
- Ellison G., Glaeser E.L. Geographic concentration in US manufacturing industries: a dartboard approach, *Journal of political economy*, 1997, vol. 105, no. 5, p. 889–927, DOI: 10.1086/262098.
- Jeon M.S., Lee J. Is public agency relocation effective to achieve decentralization? Evaluating its effects on regional employment, *Journal of Urban Affairs*, 2021, vol. 3, p. 1486–1501, DOI: 10.1080/07352166.2021.1962722.
- Kalinowski T. The politics of market reforms: Korea's path from Chaebol Republic to market democracy and back, *Contemporary Politics*, 2009, vol. 15, no. 3, p. 287–304, DOI: 10.1080/13569770903118770.
- The Park Chung Hee Era: The Transformation of South Korea*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 2011, 744 p.
- Koo Y. Evolution of Industrial Policies and Economic Growth in Korea: Challenges, Crises and Responses, *European Review of Industrial Economics and Policy*, 2013, no. 7, p. 3–21.
- Lee C. *Korea: geographical perspectives*, Jincheon, Korean Educational Development Institute, 1988, 464 p.
- Lee Y.S., Heo I., Kim H. The role of the state as an inter-scalar mediator in globalizing liquid crystal display industry development in South Korea, *Review of International Political Economy*, 2014, vol. 21, no. 1, p. 102–129, DOI: 10.1080/09692290.2013.809781.
- Park S., Koo Y. Impact of proximity on knowledge network formation: The case of the Korean steel industry, *Area Development and Policy*, 2021, vol. 6, no. 2, p. 181–199, DOI: 10.1080/23792949.2020.1797518.
- Park S.O., Chung D.C. Evolution of industrial cluster and policy: The case of Gumi city, Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 2012, vol. 47, no. 2, p. 226–244.
- Shin D.H., Hassink R. Cluster life cycles: the case of the shipbuilding industry cluster in South Korea, *Regional Studies*, 2011, vol. 45, no. 10, p. 1387–1402, DOI: 10.1080/00343404.2011.579594.
- Электронный ресурс
KOSIS, Korean Statistical Information Service, URL: <https://kosis.kr/index/index.do> (дата обращения 10.02.2023).

Поступила в редакцию 18.04.2024
После доработки 25.05.2024
Принята к публикации 26.06.2024

TRANSFORMATION OF THE TERRITORIAL STRUCTURE OF MANUFACTURING IN THE REPUBLIC OF KOREA IN THE 21ST CENTURY

V.V. Akimova¹, F.M. Chernetskii²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
Department of Social-Economic Geography of Foreign Countries*

² *Center for Russian Strategy in Asia, Institute of Economics, Russian Academy of Sciences*

¹ *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: varvaraakimova1576@gmail.com*

² *Postgraduate student, Junior Scientific Researcher; e-mail: fedor.mche@gmail.com*

The Asian financial crisis of 1997–1998 was a powerful economic shock for the Republic of Korea, which provoked significant changes in the territorial structure of the country's manufacturing industry, to be dealt with in the article. After-crisis transformation of the territorial structure is characterized by five main processes. Two of them, at first glance mutually exclusive, i.e. decentralization and concentration, not only affect the entire structure, but also determine the general vector of its transformation in the period under review. Decentralization is observed in most branches of the manufacturing industry and is expressed in the growth of specialized industrial centers on the periphery of the old ones (the Capital Region) and in the emergence of new ones (in Chuncheon and Jeolla). The growing concentration is recorded in high-tech industries, such as pharmaceuticals, production of semiconductors, electronic components, and medical equipment, which receive more advantages from localization in large centers with a diversified economy and are increasingly concentrated in the Capital Region. Other processes, such as outsourcing, diversification, and pulsations in the local economy, either act locally or have a significantly smaller impact on the transformation of territorial structure of the manufacturing industry than the main two. The outsourcing of production functions by South Korean companies is mainly directed to developing countries in Asia (China, Vietnam, Indonesia), as well as to Eastern Europe and North America. The internationalization of production structure of the largest firms reduces the competitiveness of South Korean peripheral and old industrial regions, which are unable to attract new and retain existing enterprises. At the regional level, this contributes to the decentralization of territorial structure, but at the national level it provokes an increasing concentration in regions with the strongest competitive advantages (the Capital Region). Local processes, namely diversification and pulsations in the local economy, are characteristic of the most specialized industrial centers. Diversification touches primarily upon old industrial regions that previously specialized in textile and clothing production (Daegu, Jeonju, Busan). Pulsations in the number of employees and production volumes are mainly common to specialized shipbuilding centers (Tongyeong, Goseong, Geoje), which experience regular cyclical industry crises.

Keywords: industrial development, Republic of Korea, territorial structure of industry, manufacturing

REFERENCES

- Amsden A.H. *Asia's next giant: South Korea and late industrialization*, Oxford, Oxford University Press, 1992, 400 p.
- Chernetskii F.M. [Pragmatic regionalism of Chungcheong in the context of regional confrontation in the Republic of Korea], *Evolutsionnoe stranovedenie: teoriya i praktika* [Evolutionary country studies: theory and practice], *Voprosy ekonomicheskoi i politicheskoi geografii zarubezhnykh stran*, vol. 21, Moscow, Lomonosov MSU, 2023, p. 145–158. (In Russian)
- Cho M., Hassink R. Limits to locking out through restructuring: the textile industry in Daegu, South Korea, *Regional Studies*, 2009, vol. 43, no. 9, p. 1183–1198, DOI: 10.1080/00343400802171973.
- Ellison G., Glaeser E.L. Geographic concentration in US manufacturing industries: a dartboard approach, *Journal of political economy*, 1997, vol. 105, no. 5, p. 889–927, DOI: 10.1086/262098.
- Jeon M.S., Lee J. Is public agency relocation effective to achieve decentralization? Evaluating its effects on regional employment, *Journal of Urban Affairs*, 2021, vol. 3, p. 1486–1501, DOI: 10.1080/07352166.2021.1962722.
- Kalinowski T. The politics of market reforms: Korea's path from Chaebol Republic to market democracy and back, *Contemporary Politics*, 2009, vol. 15, no. 3, p. 287–304, DOI: 10.1080/13569770903118770.
- The Park Chung Hee Era: The Transformation of South Korea*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 2011, 744 p.
- Koo Y. Evolution of Industrial Policies and Economic Growth in Korea: Challenges, Crises and Responses, *European Review of Industrial Economics and Policy*, 2013, no. 7, p. 3–21.
- Lee C. *Korea: geographical perspectives*, Jincheon, Korean Educational Development Institute, 1988, 464 p.
- Lee Y.S., Heo I., Kim H. The role of the state as an inter-scalar mediator in globalizing liquid crystal display industry development in South Korea, *Review of International Political Economy*, 2014, vol. 21, no. 1, p. 102–129, DOI: 10.1080/09692290.2013.809781.
- Park S., Koo Y. Impact of proximity on knowledge network formation: The case of the Korean steel industry, *Area Development and Policy*, 2021, vol. 6, no. 2, p. 181–199, DOI: 10.1080/23792949.2020.1797518.

- Park S.O., Chung D.C. Evolution of industrial cluster and policy: The case of Gumi city, Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 2012, vol. 47, no. 2, p. 226–244.
- Shin D.H., Hassink R. Cluster life cycles: the case of the shipbuilding industry cluster in South Korea, *Regional Studies*, 2011, vol. 45, no. 10, p. 1387–1402, DOI: 10.1080/00343404.2011.579594.
- Web source*
KOSIS, Korean Statistical Information Service,
URL: <https://kosis.kr/index/index.do> (access date 10.02.2023).

Received 18.04.2024

Revised 25.05.2024

Accepted 26.06.2024

УДК 911.375(73)+656.073.27

ДЕКОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛИ ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ? ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИНАМИКА ЛОГИСТИКИ В ЛОС-АНДЖЕЛЕСЕ И ЧИКАГО

Е.А. Щеглова¹, Р.А. Дохов²

^{1,2} *Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*

² *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран*

¹ *Факультет городского и регионального развития, магистрант; e-mail: eashcheglova@edu.hse.ru*

² *Факультет географии и геоинформационных технологий, ст. преподаватель (ВШЭ); м.л. науч. сотр. (МГУ); e-mail: rdokhov@hse.ru*

Формирование глобальных цепочек поставок, распространение новых моделей производства без накопления складских запасов и цифровизация потребления вызывают значительные изменения в локализации новых объектов логистики на внутриагломерационном уровне. На примерах двух ключевых логистических узлов США – Лос-Анджелеса и Чикаго – на высокодетальном пространственном уровне (почтовых участков) рассмотрена пространственная динамика отрасли за период 2003–2019 гг. Сочетание различных методов пространственного анализа – центрографического, ядерной оценки плотности и z-оценки локальной статистики Гетиса–Орда – позволило выделить различные сочетания процессов децентрализации и деконцентрации в рассматриваемых агломерациях. Охарактеризованы вероятные причины происходящих сдвигов, связанные с принципиальными различиями морфологической структуры городов. Полицентрическая децентрализованная кено-капиталистическая структура Лос-Анджелеса и сочетание высокого уровня локального спроса с функцией западных торговых ворот страны в целом обусловили равнонаправленную децентрализацию и формирование новых крупных логистических ядер на периферии агломерации, при этом степень концентрации не увеличивалась. Секторная структура Чикаго привела к формированию выраженного сдвига в юго-западном направлении при одновременном сокращении количества складов в центре города, что привело к появлению нового логистического хаба, ориентированного на обслуживание потребления во внутренних частях Среднего Запада.

Ключевые слова: городские исследования, склады, спрол, грузовой транспорт

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.9

ВВЕДЕНИЕ

На фоне реструктурирования цепочек добавленной стоимости на новом этапе глобализации логистика грузов не только становится ключевым звеном их успешного функционирования, но и существенно изменяется в связи с нарастающей цифровизацией отрасли, в т. ч. под влиянием интернет-торговли [Tomer, Kane, 2018].

Логистический сектор США – один из самых передовых и сложноорганизованных в мире. Он объединяет разнообразные виды деятельности от транспортировки и организации перевозок грузов до их упаковки и маркировки. Хотя решающее значение в движении товаров в США по-прежнему имеют линейные объекты и транспортные средства – суда, самолеты, поезда, грузовые автомобили и обслуживающие их терминалы – из исследовательского фокуса часто выпадают узлы логистической цепи – склады и распределительные центры. Цифровая реорганизация отрасли в крупнейших агломерациях США приводит к стремительному росту доли

новых логистических узлов, адаптирующихся к изменившимся оптимумам локализации. Это делает актуальным вопрос: формируется ли новый тип пространственной структуры логистики в крупнейших американских агломерациях? Имеющиеся исследования [Cidell, 2010] позволяют выдвинуть гипотезу о сосуществовании двух процессов, определяющих изменения: 1) децентрализации – сдвига на периферию агломераций; 2) увеличения степени концентрации новых логистических объектов.

Изменения локационных факторов логистики. М. Кристофер определяет логистику как процесс стратегического управления перемещением и хранением материалов, запчастей и готовой продукции от поставщиков через фирму и далее к клиентам [Christopher, 2016]. Существуют различные типы логистических объектов: склады, распределительные центры, грузовые терминалы и интермодальные объекты [McKinnon, 2009]. Их расположение существенно влияет не только на собственно перемещение товаров в городах и между ними, опреде-

ляя структуру движения грузовых автомобилей, но и на городскую среду вокруг, в частности на качество жизни в местных сообществах [Lindsey et al., 2014]. Для логистических компаний расположение логистических объектов определяет эффективность их операций через величину транспортных расходов [Dablanc et al., 2014].

Логистика развивалась на фоне долгосрочных структурных изменений в экономике, технологиях и обществе, затронувших все основные промышленно развитые страны [IMF, 2001]: роста доли сферы услуг в экономике, увеличения доли товаров с высокой стоимостью и низкой массой, консьюмеризма, роста доли высокотехнологичных секторов и экономики знаний [Castells, 1996].

Гессе и Родриг [Hesse, Rodrigue, 2004] выделили четыре основные характеристики эволюции управления цепочками поставок и логистической отрасли:

- фундаментальную реструктуризацию мерчандайзинга товаров путем создания интегрированных цепочек поставок;
- в фокусе оказывается не преодоление пространства (что было типично для традиционного транспорта), а время доставки;
- традиционными поставками в основном управляла сторона предложения (производства), нынешние цепочки все больше ориентируются на спрос;
- логистические услуги становятся столь сложными и чувствительными ко времени, что фирмы передают часть управления своей цепочкой поставок сторонним поставщикам услуг.

Последние изменения в логистике обусловили три ключевых фактора [Cidell, 2015]:

- переход на контейнеры для перевозки грузов на большие расстояния;
- глобализация производства: длинные товарные цепочки и глобальные производственные сети разделяют производственный процесс на стадии, для каждого перехода между которыми необходима минимизация затрат и синхронизация поставок;
- производство точно в срок, повышающее требования к точности времени доставки.

Эти процессы определили значительную пространственную реструктуризацию логистической отрасли с целью повышения надежности доставки больших объемов грузов при уменьшении временных затрат и расходов. Для достижения этих зачастую противоречащих друг другу целей логистические фирмы предлагают различные решения, общей чертой которых становится большая зависимость от ключевых узлов в цепочках поставок: складов и, в частности, распределительных центров [Bowen, 2008; Dubie, 2020]. В ответ на растущий спрос значительно увеличилось количество складских объектов [Andreoli, 2010; Dablanc, 2012; Giuliano, Kang,

2018; Yuan, 2019], а также изменились их размеры и локационные факторы [Kang, 2020a]. Старая парадигма накопления значительных складских запасов [Bowen, 2008] ушла в прошлое под воздействием глобализации торговли, изменения потребительского спроса, внедрения производства «точно в срок», контейнеризации, а также достижений в области информационных и транспортных технологий.

За последние два-три десятилетия логистическая отрасль расширила свои производственные мощности возле интермодальных терминалов для поддержания высокой пропускной способности [Kang, 2020b]. Раньше морские порты, аэропорты и железнодорожные пути располагались в городских центрах или вблизи них. Однако плотность застройки, перегрузка мощностей и ограниченность площади свободной земли привели к перемещению новых распределительных центров на окраины агломераций. Размещение складской деятельности теперь происходит в соответствии с ее собственной логикой, а не в привязке к отраслям-соседям по цепочкам поставок [Allen et al., 2012; Hesse, 2007, 2008; Rodrigue, 2006]. В основе выбора их местоположения лежит доступ к транспортным артериям и большим площадям свободной земли [Cidell, 2011], высокая транспортная центральность в своем регионе и благоприятность социально-политической среды [Yuan, 2019]. Новые крупные склады переориентируются с оптимизации доступности до потребителей на близость к аэропортам [Kang, 2020b].

Тенденция к перемещению логистических объектов из внутренних частей города в пригородные районы в литературе называется расползанием логистики или логистическим сполом (англ. *logistics sprawl*) [Dablanc, Rakotonarivo, 2010]. Этот процесс рассматривается преимущественно на примерах развитых стран (США, Франции, Германии, Канады, Японии, Нидерландов). Децентрализация была зафиксирована во многих крупных городах с большими потоками грузов: Лос-Анджелесе [Kang, 2020a; Yuan, 2019], Атланте [Cidell, 2010], Чикаго [Dubie et al., 2020; Kang, 2020b], Бостоне [Kang, 2020b], Финиксе [Dubie et al., 2020; Kang, 2020b], Торонто [Woudsma et al., 2016], Берлине [Hesse, 2004], городах Рандстада [Heitz et al., 2017], Париже [Dablanc, Rakotonarivo, 2010; Dablanc et al., 2011, 2014] и Токио [Sakai et al., 2015]. Вместе с тем в Сиэтле, Сан-Франциско, Сакраменто и Сан-Диего [Giuliano, Kang, 2018] ожидаемых изменений в расположении складов не произошло.

Последним крупным фактором, повлиявшим на расположение логистических объектов, стала революция интернет-торговли [Аксенов, 2022]. В отличие от традиционной логистики, новые склады ориентированы на курьерскую доставку заказан-

ных на электронных маркетплейсах товаров прямо к потребителю. Они размещаются не в срединной зоне агломераций, а осваивают два разных типа местоположений: в плотных частях городов ближе к потребителю появляются конкурирующие с ритейлом микросклады 15-минутной доступности, а на дальних перифериях располагаются крупные хабы, обрабатывающие межрегиональные потоки [Tomei, Kane, 2018].

Джулиано и Кан [Giuliano, Kang, 2018] на примере Калифорнии объясняют пространственные сдвиги складских и распределительных центров четьрьмя факторами.

1. Размер агломерации: по мере роста застроенной зоны, предприятия, требующие большой площади, перемещаются на новые окраины.

2. Политика экономического развития: по сравнению с промышленностью рабочих мест в логистике меньше и они менее оплачиваемые (а значит, создают меньше налогов). Поэтому города, сохранившие традиционными производства, не одобряют строительство складов, тогда как муниципалитеты с ухудшающейся экономикой и сжимающейся занятостью приветствуют склады как источник рабочих мест. Города рядом с морскими портами и аэропортами, в которых уже развита складская отрасль, стремятся диверсифицировать ее за счет развития более сложных логистических операций.

3. Структура обслуживаемых связей. Для складов и распределительных центров, предназначенных для обслуживания глобальных цепочек поставок, важнее доступ к интермодальным терминалам, в то время как объекты, ориентированные на местный рынок, будут отдавать приоритет мгновенному доступу к клиентам. Ориентация на глобальные связи также дает возможность экономии на масштабе за счет автоматизации процессов обработки грузов, что значительно увеличивает средний размер объекта [Kang, 2020б].

4. Физическая география: барьеры (реки, горы) способствуют более концентрированному размещению.

Главной проблемой современных исследований логистики в городах называют [Haarstad et al., 2024] их центрированность на собственно технические и экономические аспекты самой логистики, рассмотрение отрасли без связи с городскими процессами, формирующими динамику пространственной структуры: возможным развитием полицентричности, расползанием города (спролом) и др. В настоящем исследовании мы предпримем попытку преодолеть это разделение.

Чикаго и Лос-Анджелес стали эталонными примерами в городских исследованиях [Харитонов,

1971б], породив две наиболее известные модели городской структуры: концентрическую модель Берджесса [Park et al., 1925] (и ее секторную модификацию Хойта [Hoyt, 1939]) и децентрализованную модель постмодерного города кено-капитализма¹ [Dear, Flusty, 1998; Soja, 2000]. Эти альтернативные логики развития городов должны стимулировать различные направления территориальной динамики столь требовательного к доступности дешевой земли сектора, как логистика. Концентрическая модель диктует миграцию складов из центральных частей города по мере роста земельной ренты, тогда как децентрализованный город кено-капитала может содержать логистические кластеры где угодно, исходя из текущих интересов властных групп и внешних по отношению к самому городу факторов, вроде положения относительно точек выхода на глобальные рынки. Это дает основание полагать, что различная внутренняя структура рассматриваемых городов-кейсов дает возможность реализации различных сценариев трансформации пространственной структуры логистики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подходы к анализу пространственной структуры логистических объектов. Анас и др. [Anas et al., 1998] концептуализируют пространственную структуру города в двух измерениях: центральность и концентрация. Центральность – это степень, в которой деятельность распределяется вблизи одного центра. Городская структура может быть централизованной (деятельность расположена близко к центру) или децентрализованной (деятельность распределена на большем расстоянии от него). Концентрация – это степень, в которой виды деятельности расположены в непосредственной близости друг от друга. Концентрация может принимать различные формы – один кластер или же множество. Противоположность концентрации – дисперсия, т. е. равномерное распределение объектов в пространстве. Аналогичным образом П.М. Полян [2014] рассматривает территориальную концентрацию как один из четырех основных параметров территориальных структур.

В имеющихся исследованиях пространственной динамики логистической отрасли авторы оценивают уровни централизации и концентрации и

¹ Термин «кено-капитализм» введен в 1998 г. М. Диром и С. Фласти для обозначения пространственной структуры постмодерного города (на примере Лос-Анджелеса), в котором в силу высокого уровня развития транспорта и связи, а также особенностей инвестиционных процессов, функции случайным образом заполняют сетку морфологических единиц (кварталов и т. п.), что делает город похожим на поле для лотерейной игры в кено: мозаикой изолированных друг от друга ареалов.

сравнивают тенденции расположения логистики с показателями населения и занятости через оценки среднего расстояния до центрального делового района [Kang, 2020б], до узлов грузопотоков, до географического центра тяжести логистических объектов [Dablanc, 2012; Dablanc et al., 2014], до барицентра населения, изучают концентрацию складов по квартилям общей плотности занятости [Giuliano, Kang, 2018]. Для оценки динамики распространения логистических объектов применяют центрографический анализ [Dablanc, Rakotonarivo, 2010; Dablanc et al., 2014; Sakai et al., 2015; Woudsma et al., 2016]. Для определения меры концентрации используют индекс Джини, рассчитанный по мелким статистическим единицам [Cidell, 2010].

Для ее оценки нами использован расчет степени неравномерности структуры по формуле негэнтропии Шеннона [Полян, 2014]:

$$H = -\sum_{i=1}^n A_i \cdot \log_2 A_i, \quad (1)$$

где H – равномерность структуры явления A , A_i – доля явления A в i -той ячейке структуры, i – число ячеек в структуре.

Для выявления динамики общей композиции пространственной структуры логистики был применен центрографический метод – способ характеристики пространственного распределения (элементов структуры) путем отыскания и графического изображения его общих центров [Полян, Трейвиш, 1990].

Также оценивалась динамика индекса Джини – мера оценки концентрации, широко распространенная в литературе [Cidell, 2011].

Сбор и обработка данных. Логистика анализировалась в границах метрополитенских статистических ареалов (МСА) – официального определения городских агломераций в США, включающих в себя соседние графства, отвечающие критериям интенсивности трудовых поездок: не менее 25% трудящихся периферийного графства участвуют в маятниковой миграции в центральное графство с городским населением не менее 50 тыс. чел. или не менее 25% рабочих мест периферийного графства заняты маятниковыми мигрантами из центра.

В качестве основного источника данных использовались бизнес-модели (англ. *Country Business Patterns*) почтовых участков (*ZBP*) за 2003–2019 гг. (период наличия согласованных по отраслевой классификации данных), предоставляемые Бюро экономического анализа США (англ. *United States Census Bureau*) [United States Census..., 2024]. Используемые данные включают количество заведений по географическому району, где вид экономической деятельности зашифрован шестизначным кодом NAICS (североамериканская система клас-

сификации отраслей). Для идентификации складов используется шестизначный код NAICS 493NNN – складирование и хранение.

В программном пакете QGIS было построено три вида карт по состоянию на 2003 и 2019 гг.

1. Плотность складов. Для построения карт использовался метод ядерной оценки плотности (англ. *kernel density estimation, KDE*). Поскольку алгоритм работает только с точечными данными, в качестве исходного слоя использовались центроиды полигонов почтовых участков, а оценка плотности производилась с учетом веса каждой точки – количества объектов, приходящихся на почтовый участок.

2. Динамика перемещения барицентров складской отрасли. Для каждого полигона *ZBP* были найдены центроиды, данные которых были записаны в новый точечный слой. Применением для этого слоя функции анализа векторных данных «средние координаты» с учетом весов, соответствующих количеству логистических объектов, был получен статистический центр всех логистических объектов, находящихся на территории агломерации.

3. Пространственная кластеризация складов. Карты были построены на основе расчета z -оценки локальной статистики Гетиса–Орда с помощью алгоритма Spatial Autocorrelation Map с локальным индикатором пространственной ассоциации (LISA) – Getis–Ord G_i^* методом ферзя. Сначала рассчитывалась локальная статистика Гетиса–Орда по формуле:

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - X \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j}\right)^2}{n-1}}}, \quad (2)$$

где x_j – значение показателя, $w_{i,j}$ – пространственный вес для пары объектов, X – среднее по x_j , n – количество объектов, S – стандартное отклонение изучаемого показателя.

Затем рассчитывалась z -оценка по формуле:

$$Z = \frac{G_i - E[G_i]}{\sqrt{V[G_i]}}, \quad (3)$$

где $V[G_i] = E[G_i^2] - E[G_i]^2$, $E[G_i] = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{n(n-1)}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

География логистики в США на макромасштабном уровне. За последние двадцать лет складская индустрия Соединенных Штатов пережила бурный рост как в отношении занятости, так и по количеству предприятий. Между 2003 и 2019 гг. за-

нятость в отрасли выросла до 1,02 млн чел., увеличившись почти в два раза. Количество складских помещений в тот же период также быстро росло, увеличившись с 12 тыс. до 16 тыс. Хотя рецессии замедляли темп в 2009 и 2010 гг., уже к 2012 г. складская отрасль вернулась к ускорению роста [United States Census..., 2021].

Агломерация логистической деятельности в кластеры повышает эффективность глобальных цепочек поставок. Благодаря новым корпоративным стратегиям логистические функции концентрируются в ключевых стратегически важных местах [Cidell, 2010]. Это либо «торговые ворота» [Breul, 2019], либо узловые точки на транспортных коридорах, имеющие доступ как к «воротам», так и крупным потребительским рынкам. В США это «ворота» на восточном и западном побережьях, а также на побережье Мексиканского залива и Великих озер: порты залива Сан-Педро в Лос-Анджелесе, Сиэтл – Такома, Нью-Йорк – Нью-Джерси, Хьюстон, Чикаго и др. Наибольшие концентрации складов, соответственно, располагаются в штатах, прилегающих к морскому побережью или побережью Великих озер.

Мы рассмотрим подробнее случаи двух ключевых логистических узлов США: главных западных торговых ворот страны – Лос-Анджелеса и крупнейшего внутреннего логистического узла Чикаго. Эти агломерации в 2022 г. обеспечивали 11,3% добавленной стоимости в отрасли транспорта и складской деятельности, что выше их совокупной доли в ВВП (9%) [U.S. Bureau of Economic..., 2023].

Чикаго остается крупнейшим узлом железнодорожных грузоперевозок в США, ежедневно обрабатывая 37,5 тыс. грузовых вагонов [Chicago Region Environmental..., 2024]. Перемещение промышленности в его пригороды под давлением земельной ренты и других факторов фиксировалось уже в середине XX в. [Харитонов, 1971а]. Тем не менее отдельной тенденции к такому сдвигу логистической отрасли в то время проследить нельзя: склады еще не составляли отдельного типа землепользования, будучи приуроченными к промышленным предприятиям [Бартоломью, 1959]. Вместе с тем сформировавшаяся к 1960-м гг. функциональная специализация городов-спутников Чикаго [Харитонов, 1969] в дальнейшем претерпела существенную деиндустриализацию [Харитонов, 1983, 1987].

Лос-Анджелес же дольше других крупнейших городов США сохранял значительную долю промышленности в занятости и ВРП [Колосова и др., 1987], чему способствовала специализация агломерации на военной отрасли. Это грандиозное полицентричное городское образование продолжает прирастать пригородами, формирующими новые

пространства для новых типов городской жизни, что замедляет трансформации сложившихся ранее районов [Смирнягин, 1989; Soja, 2000].

Полицентрическая пространственная структура логистики Лос-Анджелеса. Торговля и логистика играют одну из ключевых ролей в экономике агломерации Лос-Анджелеса. Этот регион не только служит воротами для всей страны, но и сам представляет один из крупнейших потребительских рынков.

Порты Лос-Анджелес и Лонг-Бич, обобщенно называемые портами залива Сан-Педро, занимают две лидирующие позиции по загруженности в стране, ежегодно в сумме обрабатывая 18 млн единиц в контейнерном эквиваленте (TEU), а их товарооборот составляет около 450 млрд долл. Порты залива Сан-Педро – одни из немногих в США, которые могут принимать суда крупнейших на сегодняшний день классов по водоизмещению [Port of Long Beach, 2021; Port of Los Angeles, 2021]. Хинтерланды портов расширяются благодаря развитой национальной системе грузовых автоперевозок и интермодальной железнодорожной системе. Благодаря этому удаленный от берега район Инланд-Эмпайр продолжает оставаться одним из важнейших логистических центров страны [Пилька, Слука, 2013]. Международные аэропорты Лос-Анджелес и Лонг-Бич также вносят важный вклад в движение товаров, обрабатывая более 3 млн т грузов ежегодно. Все это позволяет назвать Лос-Анджелес одним из крупнейших кластеров логистических услуг во всей Северной Америке.

В период с 2003 по 2019 г. в МСА Лос-Анджелеса количество складов увеличилось на 39%. Наибольший прирост зафиксирован в 2004 гг. – более 10%. В отдельные кризисные годы наблюдалось сокращение – это 2005, 2008 и 2010–2012 гг. На рис. 1А и 1Б особенно заметен рост на территории между автомагистралями, соединяющими Лос-Анджелес с портами залива Сан-Педро, в районе города Санта-Фе-Спрингс, прилегающего к межштатной магистрали I-5, города Вернон, а также в северо-западной части Лос-Анджелеса. При этом склады не выносились из центральной части города (в пределах даунтауна и в близлежащих районах плотность складов не снижалась). Это означает, что новые склады, построенные после 2003 г., размещаются все дальше от центра города вблизи транспортных коридоров, однако старые центральные логистические центры также сохраняются. Вероятно, старые склады продолжают обслуживать потребности собственного рынка Лос-Анджелеса, тогда как новые периферийные мощности ориентированы на растущее значение города в глобальных производственных цепях.

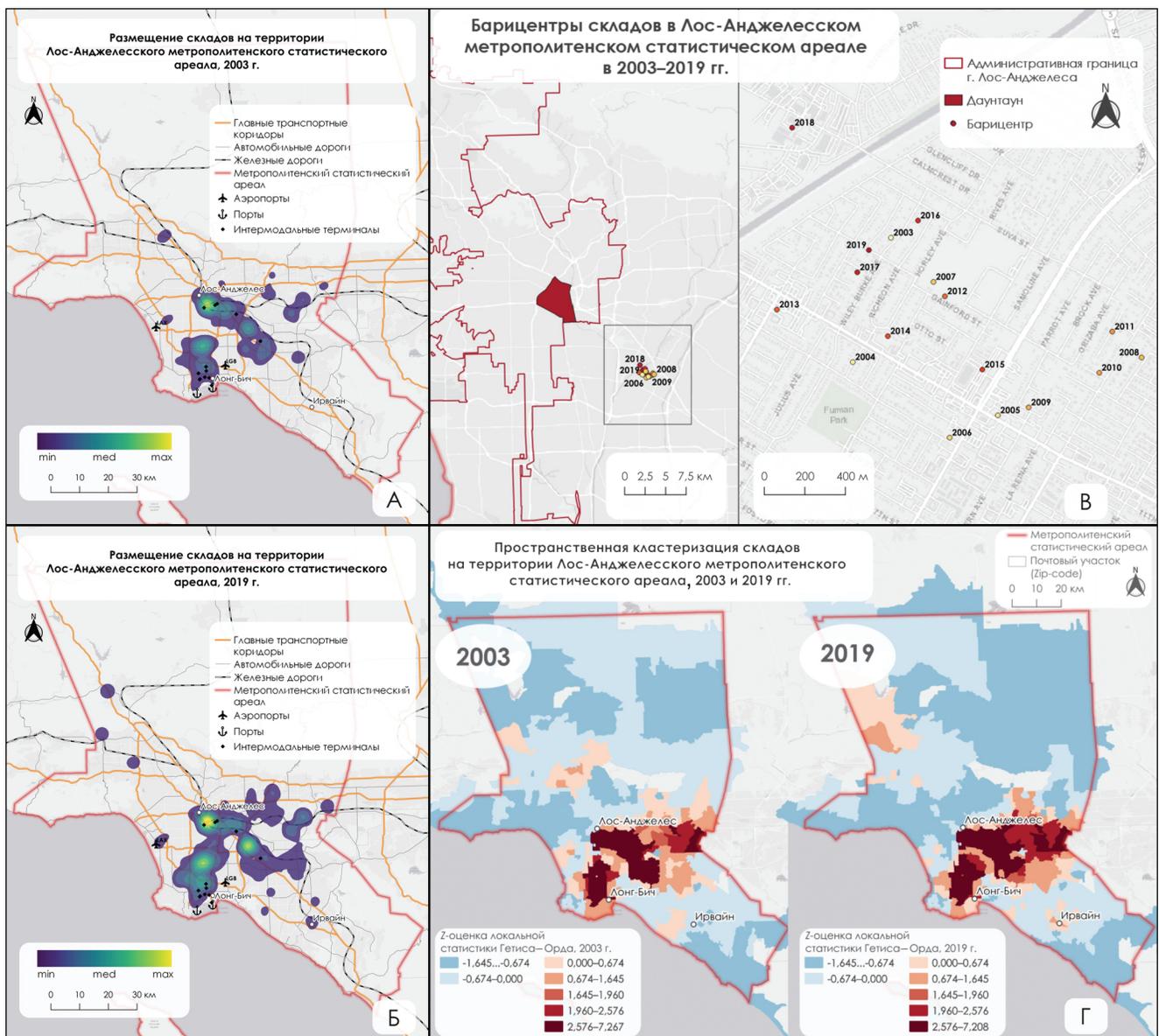


Рис. 1. Пространственная динамика размещения объектов логистики в Лос-Анджелесе в 2003–2019 гг.
Источник: составлено авторами

Fig. 1. Spatial dynamics of logistics facilities in Los Angeles in 2003–2019. Source: compiled by the authors

Результатом становится децентрализация складского хозяйства в пределах агломерации. Центральный деловой район остается крупнейшей концентрацией логистики. В 2003 г. он располагался на расстоянии более 13 км от центрального делового района (рис. 1B), а затем начал смещаться на юго-запад вплоть до 2007 г. В этот период происходило активное расширение складской деятельности в транзитной зоне между портами залива Сан-Педро и центральным Лос-Анджелесом. В период с 2008 по 2011 г. вектор движения барицентра стал восточным, что говорит об активном расширении складской зоны вблизи города Санта-Фе-Спрингс. Для этого периода характерно наибольшее удаление барицентров от центрального делового района (расстояние достигло 14 км). С 2012 по 2015 г. барицентр

смещался в юго-восточном направлении, а к 2019 г. вновь приблизился к начальному положению. Такая петля, однако, не свидетельствует о смещении складов к центру агломерации, напротив, суммарно за 16 лет произошло равномерное расплывание логистики во всех направлениях, уравновесившее положение барицентра, что подтверждают карты плотности (см. рис. 1A и 1B).

Кроме наблюдаемого процесса децентрализации, заметно сосредоточение складской деятельности в новых удаленных от центра ядрах. Динамика коэффициента Джини показывает высокую концентрацию складов как в 2003 г., так и в 2019 г. (0,724 и 0,735 соответственно). Аналогичные результаты показывает и расчет степени негэнтропии – 6,61 в 2003 г., 6,635 в 2019 г. Таким образом, децентра-

лизация не привела к деконцентрации, что делает актуальным определение динамики ареалов концентрации, для чего использовался алгоритм пространственной автокорреляции, рассчитывающий z -оценку локальной статистики Гетиса–Орда (рис. 1Г).

В 2003 г. ядра концентрации были сформированы вдоль транспортных путей, соединяющих порты с центральной частью города и в юго-восточных пригородах вблизи железнодорожных терминалов. К 2019 г. возросло количество складов к востоку от центрального Лос-Анджелеса – промышленном пригороде Индастри, где зародился новый кластер.

Таким образом, для складской отрасли агломерации Лос-Анджелеса характерен процесс децентрализации – разрастания логистики на городских окраинах и в пригородах, тяготеющих к портам, аэропортам, интермодальным терминалам и транспортным коридорам. Несмотря на появление крупных новых ядер размещения складов на периферии агломерации, не было выявлено увеличения степени концентрации, наблюдается лишь расширение площади самих кластеров. Вероятно, это означает, что в Лос-Анджелесе ослаблено влияние стоимости земли, препятствующей расширению существующих логистических кластеров, что согласуется с общими представлениями о предельно децентрализованном характере структуры этого города.

Секторная пространственная структура логистики Чикаго. Статус агломерации Чикаго как главного грузового узла страны корнями уходит в железнодорожный и даже речной периоды развития транспортной системы США. Грузовая отрасль возникла здесь для того, чтобы связать сырье на западе с растущими промышленными рынками на востоке. Город смог приспособиться к изменяющимся условиям в схеме глобальных цепочек поставок, став одним из крупнейших перевалочных центров: половина всех интермодальных грузоперевозок в стране начинается, заканчивается или проходит через Чикаго. Аэропорт О’Хара – второй по загруженности в стране, проходящие через него международные грузовые перевозки в стоимостном выражении составляют более 10% от стоимости всех международных авиаперевозок США [Chicago O’Hare, 2022]. Порты Чикаго с годовым тоннажем более 19 млн т, соединяют внутренние системы каналов и рек на Среднем Западе США с Великими озерами, откуда открывается доступ к морскому пути залива Святого Лаврентия, связывающему внутренние штаты США с Атлантическим океаном и международными рынками [Illinois International Port District, 2022].

В МСА Чикаго количество складских помещений увеличилось более чем на 35% с 2003 по 2019 г. Наибольший прирост был зафиксирован в 2004 г. (8,5% за год), а также в 2017 г. (7,5%). В период ре-

цессии в 2011 г. произошло значительное падение (на 5%). Наибольшее количество складов сосредоточено вблизи порта и аэропорта Чикаго (рис. 2А и 2Б). Складские площади, приуроченные к порту и располагающиеся ближе к центру города, к 2019 г. сократились, в то время как аэропорт остался точкой притяжения логистики. Наибольший рост числа складских помещений заметен в пригородах Ромевил и Болингбрук, лежащих к юго-западу от Чикаго и прилегающих к соединяющей город с шестью южными штатами магистрали I-55. Также выделяются пригороды Джолиет, Рокдейл, Элвуд и Инголс-Парк. Появление этих периферийных ядер стало результатом процесса децентрализации логистики с выносом мощностей за пределы центральной части города.

Центрографический анализ подтверждает концепцию направленного разрастания логистики в агломерации Чикаго (рис. 2В). Баричесентр складов в 2003 г. находился на расстоянии более 23 км от центрального делового района, к 2019 г. он отдалился еще почти на 6 км. Склады имели тенденцию смещаться к юго-западу от центра города. В отличие от Лос-Анджелеса здесь смещение происходило постепенно в одном направлении, т. е. выделяется один полюс роста новых логистических предприятий вдоль транспортных коридоров, идущих от порта. Значительно увеличивается количество складов и вблизи двух аэропортов, также выделяется скопление вокруг Джолиета.

Несмотря на заметное увеличение плотности складских помещений в имеющихся ядрах, расчет коэффициента Джини указывает на незначительные изменения в общей степени концентрации складов (с 0,67 до 0,66 за 2003–2019 гг.). Расчет степени неравномерности по формуле негэнтропии согласуется с этими результатами, что опровергает гипотезу об усилении концентрации логистики в агломерации Чикаго.

Расчет z -оценки локальной статистики Гетиса–Орда позволяет судить о сформировавшихся на территории МСА Чикаго логистических хабах (рис. 2Г). В 2003 г. выделяется три кластера с высокими значениями: в районе аэропорта О’Хара, вблизи центра города и порта Чикаго и северных пригородах Джолиета. К 2019 г. сформировался крупный новый логистический кластер к югу от Джолиета.

Полученные результаты позволяют зафиксировать в агломерации Чикаго процессы децентрализации и расползания логистики преимущественно в юго-западном направлении при одновременном сокращении складских площадей в центре города. Новые объекты логистики тяготеют к транспортным коридорам, а не к потребителям, сохраняются, хотя и сокращаются, существующие кластеры вблизи портов и аэропортов. Таким образом, в сек-

торной модели Чикагской агломерации происходит миграция складской отрасли в пригороды и формирование нового удаленного от центра города хаба,

по-видимому, ориентированного на обслуживание локализованных во внутренних частях Среднего Запада цепочек добавленной стоимости.

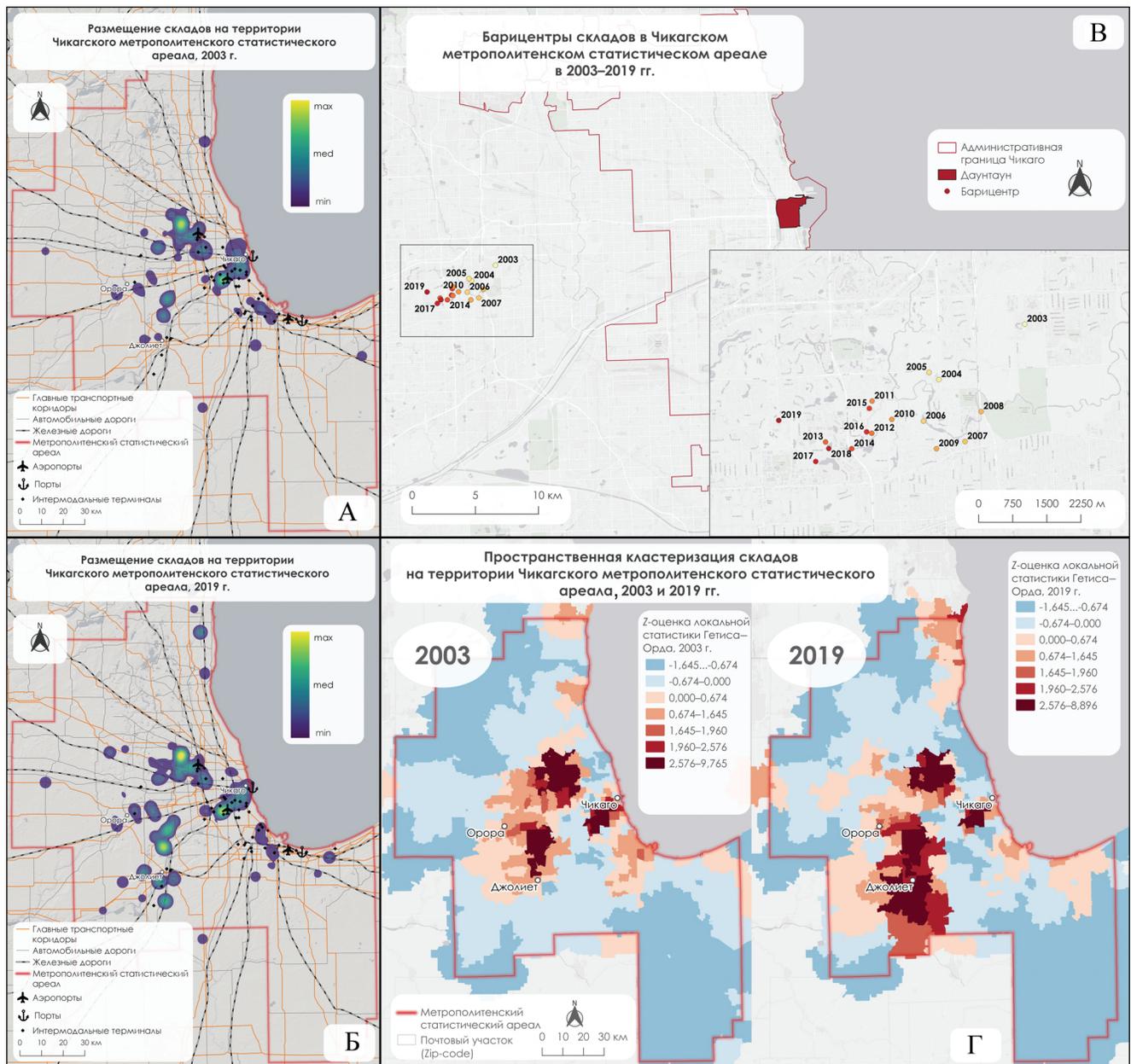


Рис. 2. Пространственная динамика размещения объектов логистики в агломерации Чикаго в 2003–2019 гг.

Источник: составлено авторами

Fig. 2. Spatial dynamics of logistics facilities in the Chicago agglomeration in 2003–2019. Source: compiled by the authors

ВЫВОДЫ

В период с 2003 по 2019 г. количество складских объектов быстро росло на всей территории США. Лос-Анджелесская и Чикагская агломерации – крупные грузовые узлы, связывающие международные и национальные рынки. Торговля и логистика составляют значительные сектора их экономики.

МСА Лос-Анджелес – вторая агломерация США по численности населения, Чикаго – третья, что делает их крупнейшими потребительскими рынками. Прирост количества складов в них составил 38 и 35% соответственно. Различные сценарии пространственной динамики логистики обусловлены особенностями моделей пространственной структуры

городов, унаследованный характер которых повлиял на неоднородность процессов децентрализации и деконцентрации отрасли.

Для обоих случаев характерен процесс децентрализации складов – логистического спрота в пригородах при практически неизменной высокой степени концентрации, тем самым пространственная динамика логистики в них соответствует общему тренду к децентрализации пространственной структуры агломераций США [Темиргалеев, 2014].

Вместе с тем в обеих агломерациях сохраняются значимые концентрации складов в центральных деловых районах, хотя в Чикаго этот ареал и сокращается. Это может быть трактовано как адаптация логистической системы к новейшим трансформациям ритейла, связанным с формированием складов новых типов, ориентированных на конечное плечо доставки заказанных на интернет-маркетплейсах товаров [Аксенов, 2022].

Центрографический анализ показал, что в Лос-Анджелесе при заметном разрастании логистики не произошло существенных изменений в положении центра тяжести складов в 2019 г. по сравнению с 2003 г., т. е. несмотря на некоторые периоды опережающего роста, новые склады размещались на периферии во всех направлениях, расширяя существовавшие кластеры логистической активности. Такие тенденции объясняются структурой экономики Лос-Анджелеса: порты залива Сан-Педро – важные торговые ворота как для самой агломерации

(поэтому значительная доля складов располагается в коридорах между портами и центром города), так и всех США (для чего расширяются кластеры к северу и востоку от центра).

В Чикаго разрастание логистики происходило преимущественно в юго-западном направлении, где сформировался новый крупный логистический кластер. Этому способствовала секторная структура города, обусловившая высокую плотность застройки и цену земли около старых ядер логистики, а также ориентация на рынок внутренних частей страны.

Таким образом, логистический сектор стал одним из наиболее ярких маркеров разнонаправленной динамики городской структуры Чикаго и Лос-Анджелеса. На его примере можно видеть, что даже процессы радикальной технологической трансформации не в силах преобразовать сложившиеся территориальные структуры современных городских агломераций. Скорее эти процессы заставляют отрасль по-новому интерпретировать местоположения внутри этих структур, а часто переключаться в логике своего размещения от разномасштабных локационных факторов к характеристикам самого района – места концентрации спроса и необходимых (трудовых, площадных и др.) ресурсов [Смирнягин, 2012].

Изученные агломерации – крупнейшие логистические центры США. Процесс расползания логистики, зафиксированный на этих территориях, вероятно, будет характерен и для других крупных агломераций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенов К.Э. Цифровая трансформация и пространственная организация непищевого ритейла в российском городе // Известия Русского географического общества. 2022. Т. 154. № 4. С. 22–38.
- Бартоломью Х. Использование территории в американских городах. М.: Госстройиздат, 1959. 216 с.
- Колосова Ю.А., Смирнягин Л.В., Харитонов В.М. Лос-Анджелес // Крупнейшие города капиталистических и развивающихся стран / под ред. В.В. Вольского, Л.И. Бонифатьевой, В.М. Харитонova. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. С. 127–148.
- Полян П.М., Трейвиш А.И. Центрографический метод исследования территориальных структур: проблемы развития и применение // Известия АН СССР. Серия географическая. 1990. № 2. С. 180–202.
- Полян П.М. Территориальные структуры – урбанизация – расселение. М.: Новый хронограф, 2014. 782 с.
- Пилька М.Э., Слука Н.А. Новейшие сдвиги в отраслевой структуре экономики Большого Лос-Анджелеса // География, градостроительство, архитектура: синтез наук и практик / отв. ред. А.Г. Махрова. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 227–241.
- Смирнягин Л.В. Районы США: портрет современной Америки. М.: Мысль, 1989.
- Смирнягин Л.В. Место вместо местоположения? (О сдвигах в фундаментальных понятиях географии) // Географическое положение и территориальные структуры: памяти И.М. Маергойза. М.: Новый хронограф, 2012. С. 421–456.
- Темиргалеев Р.Ф. Современные тенденции в рамках городских агломераций США // Региональные исследования. 2014. № 3. С. 100–107.
- Харитонов В.М. Функциональные типы городов-спутников в Чикагской конурбации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1969. № 4. С. 32–41.
- Харитонов В.М. Особенности субурбанизации в районе Чикаго // Вопросы географии. Сб. 87. Расселение в пригородных зонах. М.: Мысль, 1971а. С. 151–160.
- Харитонов В. М. Территориальная структура Чикагской конурбации (история формирования, современная характеристика, проблемы развития): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1971б. 28 с.
- Харитонов В.М. Урбанизация в США. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 200 с.
- Харитонов В.М. Чикаго // Крупнейшие города капиталистических и развивающихся стран / под ред. В.В. Вольского, Л.И. Бонифатьевой, В.М. Харитонova. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. С. 114–127.

- Allen J., Browne M., Cherrett T. Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form, *Journal of Transport Geography*, 2012, vol. 24, p. 45–57.
- Anas A., Arnott R., Small K.A. Urban spatial structure, *Journal of Economic Literature*, 1998, vol. 36, no. 3, p. 1426–1464.
- Andreoli D., Goodchild A., Vitasek K. The rise of mega distribution centers and the impact on logistical uncertainty, *Transportation Letters*, 2010, vol. 2, no. 2, p. 75–88.
- Bowen Jr.J.T. Moving places: the geography of warehousing in the US, *Journal of Transport Geography*, 2008, vol. 16, no. 6, p. 379–387.
- Breul M. *Gateway cities in global production networks: Insights from the oil and gas industry in Southeast Asia*, Springer, 2019, 241 p.
- Castells M. *Rise of the network society*, Blackwell Publishers, 1996, 481 p.
- Christopher M. *Logistics & supply chain management*. Pearson, UK, 2016, 360 p.
- Cidell J. Concentration and decentralization: The new geography of freight distribution in US metropolitan areas, *Journal of Transport Geography*, 2010, vol. 18, no. 3, p. 363–371.
- Cidell J. Distribution centers among the rooftops: the global logistics network meets the suburban spatial imaginary, *International Journal of Urban and Regional Research*, 2011, vol. 35, no. 4, p. 832–851.
- Cidell J. Distribution centers as distributed places: Mobility, infrastructure and truck traffic, *Cargomobilities*, 2015, p. 17–34.
- Dablanc L. Ross Atlanta: a mega logistics center in the Piedmont Atlantic Megaregion (PAM), *Journal of Transport Geography*, 2012, vol. 24, p. 432–442.
- Dablanc L., Diziain D., Levifve H. Urban freight consultations in the Paris region, *European Transport Research Review*, 2011, vol. 3, no. 1, p. 47–57.
- Dablanc L., Ogilvie S., Goodchild A. Logistics sprawl: differential warehousing development patterns in Los Angeles, California, and Seattle, Washington, *Transportation Research Record*, 2014, vol. 2410, no. 1, p. 105–112.
- Dablanc L., Rakotonarivo D. The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2010, vol. 2, no. 3, p. 6087–6096.
- Dear M., Flusty S. Postmodern urbanism, *Annals of the Association of American Geographers*, 1998, vol. 88, no. 1, p. 50–72.
- Dubie M., Kuo K.C., Giron-Valderrama G., Goodchild A. An evaluation of logistics sprawl in Chicago and Phoenix, *Journal of Transport Geography*, 2020, vol. 88, 102298, DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.08.008.
- Giuliano G., Kang S. Spatial dynamics of the logistics industry: Evidence from California, *Journal of Transport Geography*, 2018, vol. 66, p. 248–258.
- Haarstad H., Rosales R., Shrestha S. Freight logistics and the city, *Urban Studies*, 2024, vol. 61, no. 1, p. 3–19.
- Heitz A., Dablanc L., Tavasszy L. Logistics sprawl in monocentric and polycentric metro-politan areas: the cases of Paris, France, and the Randstad, the Netherlands, *Region*, 2017, vol. 4, no. 1, p. 93–107.
- Hesse M. Land for logistics: locational dynamics, real estate markets and political regulation of regional distribution complexes, *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 2004, vol. 95, no. 2, p. 162–173.
- Hesse M. *The City as a Terminal. Logistics and Freight Distribution in an Urban Context*, 2008, 207 p.
- Hesse M. The system of flows and the restructuring of space elements of a geography of distribution, *Erdkunde*, 2007, vol. 61, no. 1, p. 1–12.
- Hesse M., Rodrigue J.-P. The transport geography of logistics and freight distribution, *Journal of Transport Geography*, 2004, vol. 12, no. 3, p. 171–184.
- Hoyt H. *The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*, Washington, DC: Federal Housing Administration, 1939, 189 p.
- IMF. *World Economic Outlook – The Information Technology Revolution*, 2001, 287 p.
- Kang S. Warehouse location choice: A case study in Los Angeles, CA, *Journal of Transport Geography*, 2020a, vol. 88, 102297.
- Kang S. Why do warehouses decentralize more in certain metropolitan areas? *Journal of Transport Geography*, 2020b, vol. 88, 102330.
- Lindsey C., Mahmassani H.S., Mullarkey M. et al. Industrial space demand and freight transportation activity: exploring the connection, *Journal of Transport Geography*, 2014, vol. 37, p. 93–101.
- McKinnon A. The present and future land requirements of logistical activities, *Land Use Policy*, 2009, vol. 26, p. S293–S301.
- Park R.M., Burgess E.W., McKenzie R.D. *The City*, Chicago, University of Chicago Press, 1925, 239 p.
- Rodrigue J. Transportation and the geographical and functional integration of global production networks, *Growth and Change*, 2006, vol. 37, no. 4, p. 510–525.
- Sakai T., Kawamura K., Hyodo T. Locational dynamics of logistics facilities: Evidence from Tokyo, *Journal of Transport Geography*, 2015, vol. 46, p. 10–19.
- Soja E.W. *Postmetropolis: critical studies of cities and regions*, Blackwell Publishing, 2000, 464 p.
- Woudsma C., Jakubicek P., Dablanc L. Logistics sprawl in North America: methodological issues and a case study in Toronto, *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 12, p. 474–488.
- Yuan Q. Does context matter in environmental justice patterns? Evidence on warehousing location from four metro areas in California, *Land Use Policy*, 2019, vol. 82, p. 328–338.
- Электронные ресурсы*
- Chicago O'Hare International Airport (ORD), Official Website, URL: <https://www.flychicago.com/ohare/home/pages/default.aspx> (дата обращения 01.03.2024).
- Chicago Region Environmental and Transportation Efficiency Program (CREATE), URL: <https://www.createprogram.org/> (дата обращения 01.03.2024).
- Illinois International Port District, URL: <https://www.iipd.com/> (дата обращения 01.03.2024).
- Port of Long Beach, URL: <https://polb.com/> (дата обращения 01.03.2024).
- Port of Los Angeles, URL: <https://www.portoflosangeles.org/> (дата обращения 01.03.2024).
- Tomer A., Kane J.W. Where will online orders get fulfilled? The changing local geography of e-commerce, Brookings, October, 2018, URL: <https://www.brookings.edu/articles/where-will-online-orders-get-fulfilled-the-changing-local-geography-of-e-commerce/> (дата обращения 01.03.2024).

U.S. Bureau of Economic Analysis, “CAGDP2 Gross domestic product (GDP) by county and metropolitan area”, URL: <https://bea.gov/> (дата обращения 01.03.2024).

United States Census Bureau, URL: <https://www.census.gov/> (дата обращения 01.03.2024).

Поступила в редакцию 15.03.2024
После доработки 10.05.2024
Принята к публикации 26.06.2024

DECONCENTRATION OR DECENTRALIZATION? SPATIAL DYNAMICS OF LOGISTICS IN LOS ANGELES AND CHICAGO

E.A. Shcheglova¹, R.A. Dokhov²

^{1,2}HSE University

²Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
Department of Social-Economic Geography of Foreign Countries

¹ Faculty of Urban and Regional Development, Postgraduate student; e-mail: eashcheglova@edu.hse.ru

² HSE University, Faculty of Geography and Geoinformation Technologies,
Senior Lecturer; Junior Researcher (MSU); e-mail: rdokhov@hse.ru

The consolidation of global supply chains, the spread of new production modes without the accumulation of warehouse stocks and the ongoing digitalization of consumption cause significant changes in the localization of new logistics facilities inside the largest metropolitan areas. Spatial dynamics of the industry for the period 2003–2019 is examined at a highly detailed spatial level (zip-codes) for two key logistics hubs of the United States, i. e. Los Angeles and Chicago MSAs. Application of various spatial analysis methods, such as centrophobic, kernel density estimation and z-score of the Getis–Ord local statistics, made it possible to identify various combinations of decentralization and deconcentration processes inside the metropolitan areas. The reasons for the ongoing shifts are probably associated with fundamental differences in the morphological structure of the cities. The polycentric decentralized keno-capitalist structure of Los Angeles and the combination of high-level local demand with the function of the country’s western trade gateway have led to the equidirectional decentralization and the formation of new large logistics hubs on the periphery of the agglomeration; therein the concentration level did not increase. The sector structure of Chicago has given rise to a strong southwest shift while reducing the number of downtown warehouses and creating a new logistics hub focused on servicing consumption in the interior Midwest.

Keywords: Urban Studies, Warehousing, Logistics Sprawl, Freight Transportation

REFERENCES

- Aksenov K.E. Impact of Digital Transformation on the Spatial Organization of Nonfood Retail in a Russian City, *Regional Research of Russia*, 2023, vol. 13, no. 3, p. 524–533.
- Allen J., Browne M., Cherrett T. Investigating relationships between road freight transport, facility location, logistics management and urban form, *Journal of Transport Geography*, 2012, vol. 24, p. 45–57.
- Anas A., Arnott R., Small K.A. Urban spatial structure, *Journal of Economic Literature*, 1998, vol. 36, no. 3, p. 1426–1464.
- Andreoli D., Goodchild A., Vitasek K. The rise of mega distribution centers and the impact on logistical uncertainty, *Transportation Letters*, 2010, vol. 2, no. 2, p. 75–88.
- Bartholomew H. *Land uses in American cities*, Harvard University Press, 1955, 196 p.
- Bowen Jr.J.T. Moving places: the geography of warehousing in the US, *Journal of Transport Geography*, 2008, vol. 16, no. 6, p. 379–387.
- Breul M. *Gateway cities in global production networks: Insights from the oil and gas industry in Southeast Asia*, Springer, 2019, 241 p.
- Castells M. *Rise of the network society*, Blackwell Publishers, 1996, 481 p.
- Christopher M. *Logistics & supply chain management*, Pearson, UK, 2016, 360 p.
- Cidell J. Concentration and decentralization: The new geography of freight distribution in US metropolitan areas, *Journal of Transport Geography*, 2010, vol. 18, no. 3, p. 363–371.
- Cidell J. Distribution centers among the rooftops: the global logistics network meets the suburban spatial imaginary, *International Journal of Urban and Regional Research*, 2011, vol. 35, no. 4, p. 832–851.
- Cidell J. Distribution centers as distributed places: Mobility, infrastructure and truck traffic, *Cargomobilities*, 2015, p. 17–34.
- Dablanc L., Diziain D., Levifve H. Urban freight consultations in the Paris region, *European Transport Research Review*, 2011, vol. 3, no. 1, p. 47–57.
- Dablanc L., Ogilvie S., Goodchild A. Logistics sprawl: differential warehousing development patterns in Los Angeles, California, and Seattle, Washington, *Transportation Research Record*, 2014, vol. 2410, no. 1, p. 105–112.

- Dablanc L., Rakotonarivo D. The impacts of logistics sprawl: How does the location of parcel transport terminals affect the energy efficiency of goods' movements in Paris and what can we do about it? *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2010, vol. 2, no. 3, p. 6087–6096.
- Dablanc L. Ross Atlanta: a mega logistics center in the Piedmont Atlantic Megaregion (PAM), *Journal of Transport Geography*, 2012, vol. 24, p. 432–442.
- Dear M., Flusty S. Postmodern urbanism, *Annals of the Association of American Geographers*, 1998, vol. 88, no. 1, p. 50–72.
- Dubie M., Kuo K.C., Giron-Valderrama G., Goodchild A. An evaluation of logistics sprawl in Chicago and Phoenix, *Journal of Transport Geography*, 2020, vol. 88, 102298.
- Giuliano G., Kang S. Spatial dynamics of the logistics industry: Evidence from California, *Journal of Transport Geography*, 2018, vol. 66, p. 248–258.
- Haarstad H., Rosales R., Shrestha S. Freight logistics and the city, *Urban Studies*, 2024, vol. 61, no. 1, p. 3–19.
- Heitz A., Dablanc L., Tavasszy L. Logistics sprawl in monocentric and polycentric metro-politan areas: the cases of Paris, France, and the Randstad, the Netherlands, *Region*, 2017, vol. 4, no. 1, p. 93–107.
- Hesse M., Rodrigue J.-P. The transport geography of logistics and freight distribution, *Journal of Transport Geography*, 2004, vol. 12, no. 3, p. 171–184.
- Hesse M. Land for logistics: locational dynamics, real estate markets and political regulation of regional distribution complexes, *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 2004, vol. 95, no. 2, p. 162–173.
- Hesse M. *The City as a Terminal. Logistics and Freight Distribution in an Urban Context*, 2008, 207 p.
- Hesse M. The system of flows and the restructuring of space elements of a geography of distribution, *Erdkunde*, 2007, vol. 61, no. 1, p. 1–12.
- Hoyt H. *The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*, Washington, DC: Federal Housing Administration, 1939, 189 p.
- IMF. *World Economic Outlook – The Information Technology Revolution*, 2001, 287 p.
- Kang S. Warehouse location choice: A case study in Los Angeles, CA, *Journal of Transport Geography*, 2020, vol. 88, 102297.
- Kang S. Why do warehouses decentralize more in certain metropolitan areas? *Journal of Transport Geography*, 2020, vol. 88, 102330.
- Kharitonov V.M. Functional Types of Satellite Towns in the Chicago Conurbation, *Soviet Geography*, 1970, vol. 11, no. 7, p. 554–565.
- Kharitonov V.M. [Features of Suburbanization in the Chicago Area], *Voprosy geografii. Rasselenie v prigorodnyh zonah* [Problems of Geography. Settlement Processes in Suburban Zones], no. 87, Moscow, Mysl Publ., 1971a, p. 151–160. (In Russian)
- Kharitonov V.M. *Territorial'naja struktura Chikagskoj konurbacii (istorija formirovanija, sovremennaja harakteristika, problemy razvitija)* [Territorial Structure of the Chicago Conurbation (History of Formation, Modern Characteristics, Development Problems)], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, 1971b, 28 p. (In Russian)
- Kharitonov V.M. *Urbanizacija v SShA* [Urbanization in the USA], Moscow, Moscow state university Publ., 1987, 200 p. (In Russian)
- Kharitonov V.M. [Chicago] *Krupnejshie goroda kapitalisticheskij i razvivajushhij stran* [The major cities of the capitalist and developing countries], V.V. Volsky, L.I. Bonifatieva, V.M. Kharitonov (eds.), Moscow, Moscow state university Publ., 1987, p. 114–127. (In Russian)
- Kolosova Yu.A., Smirnyagin L.V., Kharitonov V.M. [Los Angeles] *Krupnejshie goroda kapitalisticheskij i razvivajushhij stran* [The major cities of the capitalist and developing countries], V.V. Volsky, L.I. Bonifatieva, V.M. Kharitonov (eds.), Moscow, Moscow state university Publ., 1987, p. 127–148. (In Russian)
- Lindsey C., Mahmassani H.S., Mullarkey M. et al. Industrial space demand and freight transportation activity: exploring the connection, *Journal of Transport Geography*, 2014, vol. 37, p. 93–101.
- McKinnon A. The present and future land requirements of logistical activities, *Land Use Policy*, 2009, vol. 26, p. S293–S301.
- Park R.M., Burgess E.W., McKenzie R.D. *The City*, Chicago, University of Chicago Press, 1925, 239 p.
- Pilka M.E., Sluka N.A. [Recent Shifts in the Industry Structure of the Greater Los Angeles Economy], A.G. Makhrova (ed.) *Geografija, gradostroitel'stvo, arhitektura: sintez nauk i praktik* [Geography, urban planning, architecture: synthesis of sciences and practices], Smolensk, Oikumena Publ., 2013, p. 227–241. (In Russian)
- Polyan P.M., Treyvish A.I. The centographic method of studying spatial structure, *Mapping Sciences and Remote Sensing*, 1990, vol. 27, no. 4, p. 262–279.
- Polyan P.M. *Territorial'nye struktury – urbanizacija – rasselenie* [Territorial structures – urbanization – settlement processes], Moscow, New Chronograph Publ., 2014, 794 p. (In Russian)
- Rodrigue J. Transportation and the geographical and functional integration of global production networks, *Growth and Change*, 2006, vol. 37, no. 4, p. 510–525.
- Sakai T., Kawamura K., Hyodo T. Locational dynamics of logistics facilities: Evidence from Tokyo, *Journal of Transport Geography*, 2015, vol. 46, p. 10–19.
- Smirnyagin L.V. *Rajony SShA: portret sovremennoj Ameriki* [Regions of the USA. A portrait of modern America], Moscow, Mysl Publ., 1989, 379 p. (In Russian)
- Smirnyagin L.V. [Place replaces location? (On shifts in the fundamental concepts of geography)], *Geograficheskoe polozenie i territorial'nye struktury: pamjati I.M. Maergoza* [Geographical location and territorial structures: in memory of I.M. Maergoiz], A.I. Treivish, P.M. Polyan (eds.), Moscow, Novyj hronograf Publ., 2012, p. 421–456. (In Russian)
- Soja E.W. *Postmetropolis: critical studies of cities and regions*, Blackwell Publishing, 2000, 464 p.
- Temirgaleev R.F. Sovremennye tendencii v ramkah gorodskih aglomeracij SShA [Recent Trends in U.S. Urban Agglomerations], *Regional'nye issledovanija*, 2014, no. 3, p. 100–107. (In Russian)
- Woudsma C., Jakubicek P., Dablanc L. Logistics sprawl in North America: methodological issues and a case study in Toronto, *Transportation Research Procedia*, 2016, vol. 12, p. 474–488.
- Yuan Q. Does context matter in environmental justice patterns? Evidence on warehousing location from four metro areas in California, *Land Use Policy*, 2019, vol. 82, p. 328–338.

Web sources

- Chicago O'Hare International Airport (ORD), Official Website, URL: <https://www.flychicago.com/ohare/home/pages/default.aspx> (access date 01.03.2024).
- Chicago Region Environmental and Transportation Efficiency Program (CREATE), URL: <https://www.createprogram.org/> (access date 01.03.2024).
- Illinois International Port District, URL: <https://www.iipd.com/> (access date 01.03.2024).
- Port of Long Beach, URL: <https://polb.com/> (access date 01.03.2024).
- Port of Los Angeles, URL: <https://www.portoflosangeles.org/> (access date 01.03.2024).
- Tomer A., Kane J.W. Where will online orders get fulfilled? The changing local geography of e-commerce, Brookings, October, 2018, URL: <https://www.brookings.edu/articles/where-will-online-orders-get-fulfilled-the-changing-local-geography-of-e-commerce/> (access date 01.03.2024).
- U.S. Bureau of Economic Analysis, "CAGDP2 Gross domestic product (GDP) by county and metropolitan area", URL: <https://bea.gov/> (access date 01.03.2024).
- United States Census Bureau, URL: <https://www.census.gov/> (access date 01.03.2024).

Received 15.03.2024

Revised 10.05.2024

Accepted 26.06.2024

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 908; 910.26

КАРТА И ЗАПИСКИ ЭНГЕЛЬБЕРТА КЕМПФЕРА 1697 Г. ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

С.А. Котеньков¹, Д.М. Лобачева²

¹Институт океанологии имени П.П. Ширинова РАН

²МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии

¹Ст. науч. сотр., канд. ист. наук; e-mail: s_kotenkov@mail.ru

²Аспирант; e-mail: lobachevadm@my.msu.ru

Исследование посвящено детальному анализу дельтовой части Волги по карте Энгельберта Кемпфера «Hetsuydelykste gedeelte van de Vliet Wolga» (Южная часть реки Волги) 1697 г. Впервые проведен сравнительно-исторический анализ гидронимов дельтовой части, в ходе которого показано сходство отдельных гидронимов западного участка дельты с картой А. Олеария (1647) и современностью. Сделан вывод об информативности карт Э. Кемпфера о географических реалиях Прикаспия в 1670-е гг. Высокая подробность карты в части крупных и мелких водотоков свидетельствует об интересе европейцев к возможностям судоходства по Волго-Каспийскому пути. Была проведена историко-географическая реконструкция водного маршрута следования путешественника на участке от г. Астрахани до Каспийского моря. Результаты исследования дополняют наши знания об историко-географических реалиях XVII в., формируя новые перспективы для исследований в области картографии, истории и культурной географии региона.

Ключевые слова: протоки волжской дельты, гидронимы дельты Волги, историко-географическая реконструкция, Каспийское море, картографические материалы

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.10

ВВЕДЕНИЕ

Вторая половина XVI – нач. XVII в. – эпоха стремительной европейской экспансии на Каспий. Сначала Английская компания, а затем и Голштиния, заинтересованные в поставках восточных товаров, главным образом, ширванского и североиранского шелка, через Московию, позволили им достигнуть северных берегов Каспийского моря и далее его западных, восточных и южных берегов.

Одним из важных исторических источников являются картографические материалы, представляющие собой не только географическую информацию, но и важные исторические документы. Карты несут в себе отпечаток культурных, политических и научных достижений эпох, представляя ценные доказательства территориальных изменений, миграций и развития обществ [Рыбаков, 1974; Салищев, 1982; Багров, 2005; Браун, 2006]. Специфика этих материалов как источников заключается в том, что их содержание выражено комплексом графических и художественных средств в сочетании с текстом. Именно этим обуславливается важность изучения картографических источников прошлого.

Одной из интереснейших в контексте истории, географии и культуры является территория западной части дельты и устья Волги, где, начиная с VIII в., зародилась городская цивилизация и располагался центр первого средневекового государства на юге России – Хазарского Каганата, в XIII в. один из центров Золотой Орды, а начиная с XVI в. – южный форпост Московии. Расположенный на Волго-Каспийском пути данный регион стал местом важных исторических и культурных взаимодействий. Особенности географического положения прибрежных территорий севера Каспийского моря, гидрография и населенные пункты служат ключевыми элементами для понимания динамики развития территории дельты Волги XVII в. Изучение картографических материалов и исторических источников этого региона позволяет раскрыть маршруты древних торговых путей, влияние различных культур и формирование уникальной исторической ландшафтной картины.

Настоящая работа предпринята в связи с интерпретацией новых сведений о гидрологической ситуации в дельте Волги в XVII в., а также привлечением

внимания исследователей к трудам Э. Кемпфера как недооцененного ранее исследователя Московии.

Целью нашего исследования является детальный анализ дельтовой части карты Энгельберта Кемпфера «Netsuydelykste gedeelte van de Vliet Wolga» («Южная часть реки Волги»), опубликованной в книге Н. Витсена «Северная и Восточная Тартария» (1697).

Для достижения цели исследования нами были поставлены следующие задачи: 1) рассмотреть и ввести в научный оборот перевод гидронимов дельтовой части карты Э. Кемпфера; 2) выяснить местоположение некоторых дельтовых протоков в XVII в.; 3) сравнить расположение протоков, обозначенных на карте Э. Кемпфера и А. Олеария, с их современным местоположением; 4) провести историко-географическую реконструкцию водного маршрута следования путешественника на участке от г. Астрахани до Каспийского моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач мы приводим переводы отрывков из текстов записок Э. Кемпфера и сопоставляем их с нашей интерпретацией гидронимов на карте автора. При уточнении достоверности сведений автора предоставляем выдержки из сочинений европейцев, прошедших по Волго-Каспию в XVII–XVIII вв.: секретаря Шлезвиг-Голштинского посольства Адама Олеария (1637) [Олеарий, 2003], голландского плотника с корабля «Орел» Яна Стрейса (1670) [Стрейс, 1935]. Записки А. Олеария [2003] содержат ценные материалы о водотоках дельты, чего нельзя сказать о записках Я. Стрейса [Стрейс, 1935], где отсутствуют наименования гидронимов. Приводим сравнительные характеристики гидронимов на картах Э. Кемпфера, А. Олеария и современной карте волжской дельты, в которых представлены как сохранившиеся, так и вышедшие из употребления гидронимы волжской дельты. В работе основной упор был сделан исключительно на интерпретации гидронимов, были идентифицированы только два топонима – названия островов. В тексте отсутствуют другие топонимы, так как авторы хотели их исключить из работы и сделать объектом отдельного исследования. Определить масштаб по приводимым картам Э. Кемпфера и А. Олеария XVII в. не предоставляется возможным.

Ко времени путешествия Э. Кемпфера (1683) по волжской дельте имелись только карты А. Олеария [Олеарий, 2003; Olearius, 1647], где к северу от Астрахани изображено несколько рек, как с названиями, так и безымянных, о которых будет сказано ниже (рис. 1). Другая карта за авторством Я. Стрейса [Straussens, 1678], где обозначены только река

Волга и город Астрахань. В записках Я. Стрейса наименования рек не приводятся. О качестве русских карт XVII в. А. Олеарий заметил, что они «совершенно неверны и не позволяли определить путь» [Олеарий, 2003, с. 361]. Сохранился чертеж расположения протоков волжской дельты из Жалованных церковных грамот астраханского Троицкого монастыря, датируемый второй половиной XVII в., с изображением дельтовых протоков [Чертеж расположения учугов..., XVII в.]. Однако они отображены на чертеже крайне схематично, что не позволяет определить их точное местоположение. Первая подробная отечественная карта дельты Волги с изображениями и наименованиями дельтовых протоков была составлена С.М. Гмелиным и опубликована в 1777 году [Гмелин, 1777].

Для изучения гидрологической ситуации в дельте Волги XVII в. представляются особенно ценными картографические материалы и дневниковые записки о России Энгельберта Кемпфера (1651–1716). В 1683 г. Э. Кемпфер в качестве секретаря шведской делегации прошел путь из Стокгольма в Исфахан через Москву и Астрахань по Волге в Каспийское море [Engelbert Kaempfer..., 2003].

Следует отметить, что зарубежные авторы в своих публикациях основное внимание уделяли запискам Э. Кемпфера об Азии и Японии [Engelbert Kaempfers..., 1980, Kaempfer's Japan, 1999]. Либо в своих работах о путешествиях европейцев по России в XVII в. совсем не упоминали имени Э. Кемпфера [Wilson, 1970]. По мнению зарубежных ученых, это связано с тем, что рукописи Э. Кемпфера о его путешествии по России, хранящиеся в Британской библиотеке, чрезвычайно сложно расшифровать по ряду причин: изложение текста на немецком и латыни [Hughes, 1990; Engelbert Kaempfer..., 2003], размытость текста по причине проникновения морской воды [Engelbert Kaempfer..., 2003], потеря части текста [Hughes, 1990; Troebst, 1998].

К началу XXI в. из записок Э. Кемпфера в России были опубликованы две книги: Ф.П. Аделунгом о его пребывании, главным образом, в Москве [Барон Мейерберг..., 1827] и записки о восстании Степана Разина [Иностранные известия..., 1975].

Воспользовавшись немецким изданием трудов Э. Кемпфера Карла Мейера-Лемго [Die Reise tagebuecher Engelbert..., 1968], Э.Л. Дубман, С.И. Дубинин перевели на русский язык выдержки из дневников Э. Кемпфера о его пути из Москвы вниз по Волге до Астрахани, указав на ошибки в именах собственных и географических названиях [Дубман, Дубинин, 1996]. Упомянутый перевод содержит ряд ценных пунктов для комментариев к карте Э. Кемпфера, которые мы приводим ниже.



Рис. 1. Фрагмент карты р. Волги А. Олеария (дельтовая часть): 1 – I Busan (о. Бузан); 2 – р. Волга; 3 – Baltzik A (ер. Балчуг); 4 – Knilussa A (ил. Гнилуша); 5 – protoke perulskijt (р. Бирюль(?)) [Olearius, 1647]

Fig. 1. Fragment of A. Olearius' map of the Volga River (delta part): 1 – I Busan (Busan Island); 2 – the Volga River; 3 – Baltzik A (er. Balchug); 4 – Knilussa A (il. Gnilussa); 5 – protoke perulskijt (Birul river(?)) [Olearius, 1647]

В 2001–2003 гг. коллективом немецких ученых было опубликовано шеститомное издание трудов Э. Кемпфера, в последнем томе которого содержится Российский дневник (1683) [Engelbert Kaempfer..., 2003]. А.Л. Хорошкевич попыталась проанализировать записки Э. Кемпфера о его путешествии по Волге, размещенные в указанном томе [Хорошкевич, 2005], однако описания Астрахани и волжской дельты отсутствуют в ее работе.

Во время путешествия по России Э. Кемпфер не только делал записки в дневнике, но и составлял карты маршрутов, которые хранятся в отделе рукописей Британской библиотеки в Лондоне, среди них на 10 листах изображена р. Волга. Единственным автором, проводившим работы с указанными материалами, является М. Лазар [Lazar, 1982], опубликовавшая один лист с изображением Волги [Lazar, 1982, с. 68] (рис. 2). На некоторых листах карт Волги присутствуют ссылки на А. Олеария [Lazar, 1982]. М. Лазар отмечает, что Э. Кемпфер возил с собой в путешествие его издание «*Vermeehrte Neue Beschreibung der Muscotuitischen und Persischen Reyse*» (Шлезвиг, 1656), [Lazar, 1982, с. 68, 71], также используемое нами при написании работы. Среди многочисленных надписей на представленной в ее статье карте Э. Кемпфера авторам удалось распознать лишь один топоним.

Указанные карты послужили Николаасу Витсену основным источником для создания его карты «*Hetsuydelykste gedeelte van de Vliet Wolga*», позднее вошедшей во второе расширенное издание его книги «*Noord en Oost Tartarye*» (Северная и Восточная Тартария) (Амстердам, 1705). Э. Кемпфер состоял в тесной переписке с Витсеном в 1693–1694 гг. и делился с ним собранными о России сведениями, в частности, о Нижней Волге [Engelbert Kaempfer..., 2003]. Впервые карта из указанной книги Н. Витсена была опубликована Е.В. Гусаровой, где автор представил переводы четырех топонимов, относящихся к г. Царицыну [2009]. Однако в изданной в 2010 г. на русском языке книге Н. Витсена «Северная и Восточная Тартария» перевод топонимов на карте не приводится [Витсен, 2010].

М. Лазар сообщает, что по маршруту следования водными путями Э. Кемпфер получал топографическую информацию, опрашивая членов судовых команд и местных жителей, однако языковые барьеры послужили причиной многих неразборчивых географических названий. Многочисленные легенды были написаны им на смеси немецкого языка и латыни [Lazar, 1982]. На карте в книге Витсена несколько гидронимов прописаны уже на голландском языке.

В работе использовался сравнительный исторический метод с детальным анализом оригинальных

материалов Э. Кемпфера и исследователей трудов его научной деятельности. Применение картографического метода с использованием письменных источников – основная составляющая часть данного исследования. На современную карту был нанесен водный маршрут следования Э. Кемпфера к Каспийскому морю, выделены границы дельтового

участка его карты, цифрами обозначены местоположения упоминаемых в его трудах рек и проток.

Итого, систематизация материала с точки зрения временного и пространственного аспектов позволяет аргументированно дополнить накопленные материалы о гидрологической ситуации в западной части дельты Волги.



Рис. 2. Энгельберт Кемпфер. Карта реки Волги (участок окрестностей Астрахани): 1 – Dolga (о. Долгий); 2 – р. Волга; 3 – Малая Болда; 4 – Большая Болда [Lazar, 1982]

Fig. 2. Engelbert Kaempfer, Map of the Volga River (Section of the Astrakhan area): 1 – the Dolgiy Island; 2 – the Volga River; 3 – De kleyne Balda (Small Bolda); 4 – De groote Balda (Big Bolda) [Lazar, 1982]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашей работе мы рассматриваем участок карты от о. Долгий до Каспийского моря (рис. 3). Описания гидронимов приводятся в направлении с севера на юг. При попытке перевода гидронимов на указанной карте Э. Кемпфера нами установлено, что многие отмеченные пункты, представляют собой русские омонимы, написанные голландскими буквами, что значительно облегчило авторам трактовку указанных гидронимов. В работе представлены написанные голландскими буквами русские гидронимы и два топонима, приводится их русское произношение и интерпретация. Последовательность изложения совпадает с очередностью описания в дневниковых записях Э. Кемпфера.

Представляем сравнение расположения гидронимов на карте Э. Кемпфера с их местоположением на карте А. Олеария (см. рис. 1) и на современной карте дельты Волги (рис. 4), где водотоки обозначены цифрами.

Описание топонимов осуществлялось от северных границ волжской дельты, которая берет свое

начало в месте отделения от русла Волги (см. рис. 3, № 1 в легенде) рукава Бузан (в 46 км севернее Астрахани). Первый гидроним на данном участке карты Э. Кемпфера – протока *Feriwat* (Феривасат)¹ (см. рис. 3, № 2), современное наименование и местоположение которой на современной карте установить не удалось. Река с названием *Busan* (Бусан) (см. рис. 3, № 3) соответствует современной реке Бузан (см. рис. 4, № 2). К западу от р. Бузан на Волге, напротив места отделения Бузана от Волги, находится остров *Busan* (Бусан) (см. рис. 3, № 4). Судя по карте А. Олеария, на Волге также изображен одноименный остров (см. рис. 1, № 2). Согласно запискам А. Олеария [2003] этот остров расположен к северу от Астрахани. Можно предположить, что данный остров соответствует современному о. Подводному, расположенному к западу от с. Нижнелебязьего Наримановского района (см. рис. 4, № 3). Следующая река ниже по течению не имеет названия (см. рис. 3, № 5). Для уточнения ее наименования была

¹ Здесь и далее по тексту курсивом выделены написанные голландскими буквами русские топонимы и гидронимы. В скобках приводится их русское произношение.

использована карта А. Оlearия, на которой между о. Бузаном и Астраханью от Волги отделяются крупная протока *Baltzik A* (Балчик) (см. рис. 1, № 3), соответствующая современному ерику Балчуг (см. рис. 4, № 4), и мелкий водоток *Knilussa A* (Книлуша) (см. рис. 1, № 4), идентифицированный нами как ильмень Гнилуша.

Второй топоним – остров, расположенный выше по течению от г. Астрахани, с названием *Dolga* (Долга) (см. рис. 3, № 6). На опубликован-

ном М. Лазар листе карты Э. Кемпфера с участком реки Волги под названием «Участок окрестностей Астрахани» среди неразборчивых надписей удалось различить слово *Dolga* (см. рис. 2, № 1), на участке, представляющем собой остров, аналогичный изображению на карте Э. Кемпфера из книги Витсена (см. рис. 3, № 6). Топоним *Dolga* на указанных картах соответствует острову Долгий, располагающемуся на расстоянии 24 км выше Астрахани (см. рис. 4, № 5).

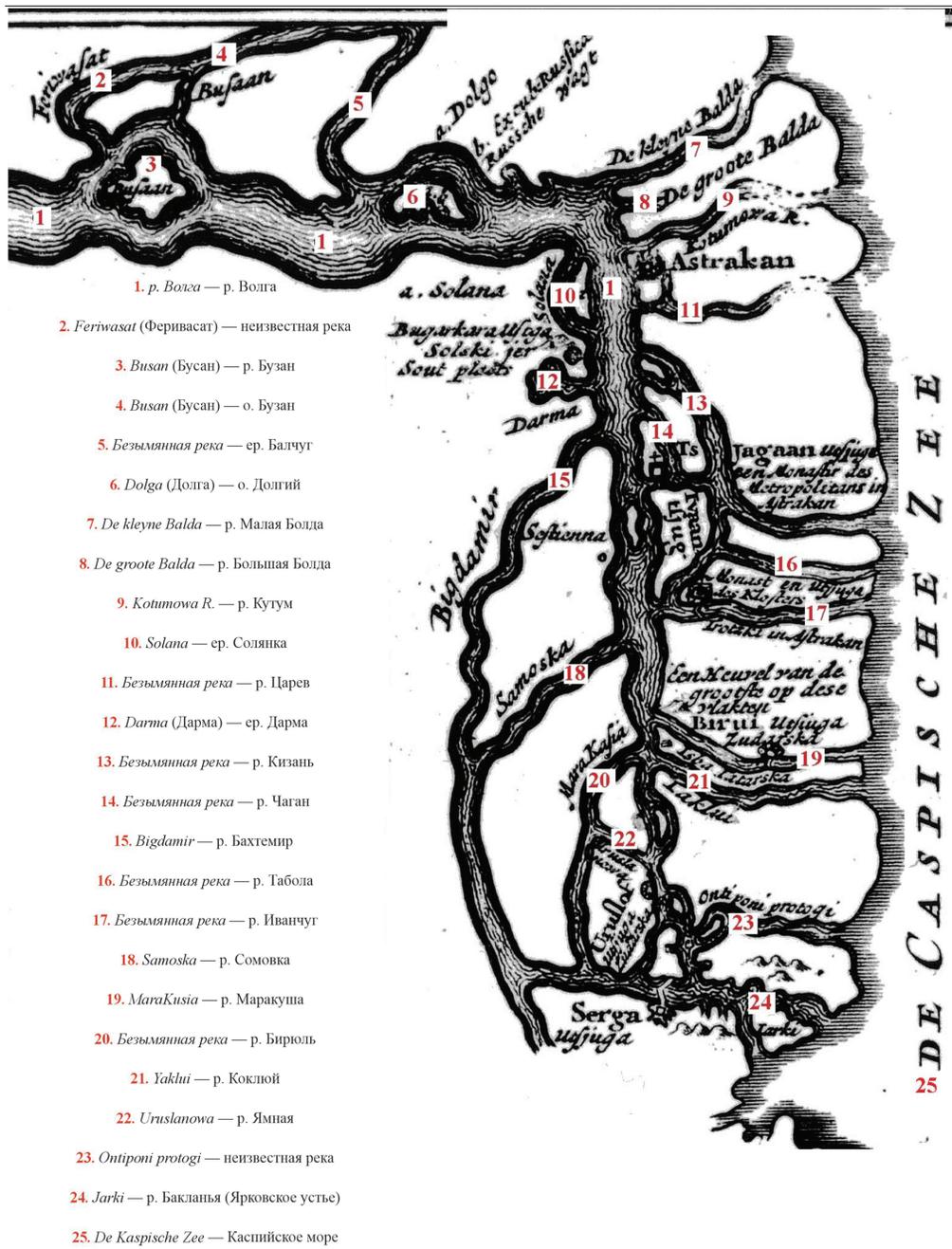


Рис. 3. Фрагмент карты Э. Кемпфера с изображением участка дельты Волги от о. Долгий (*a. Dolgo*) до Каспийского моря (*De Kaspische Zee*): 1–25 – номера топонимов и гидронимов. Подписи выполнены С.А. Котеньковым

Fig. 3. A fragment of the Kaempfer' map showing the section of the Volga River delta from the Dolgiy (*a. Dolgo*) Island to the Caspian Sea (*De Kaspische Zee*): 1–25 – numbers of hydronyms of the Volga River delta. Signatures are made by S.A. Kotenkov

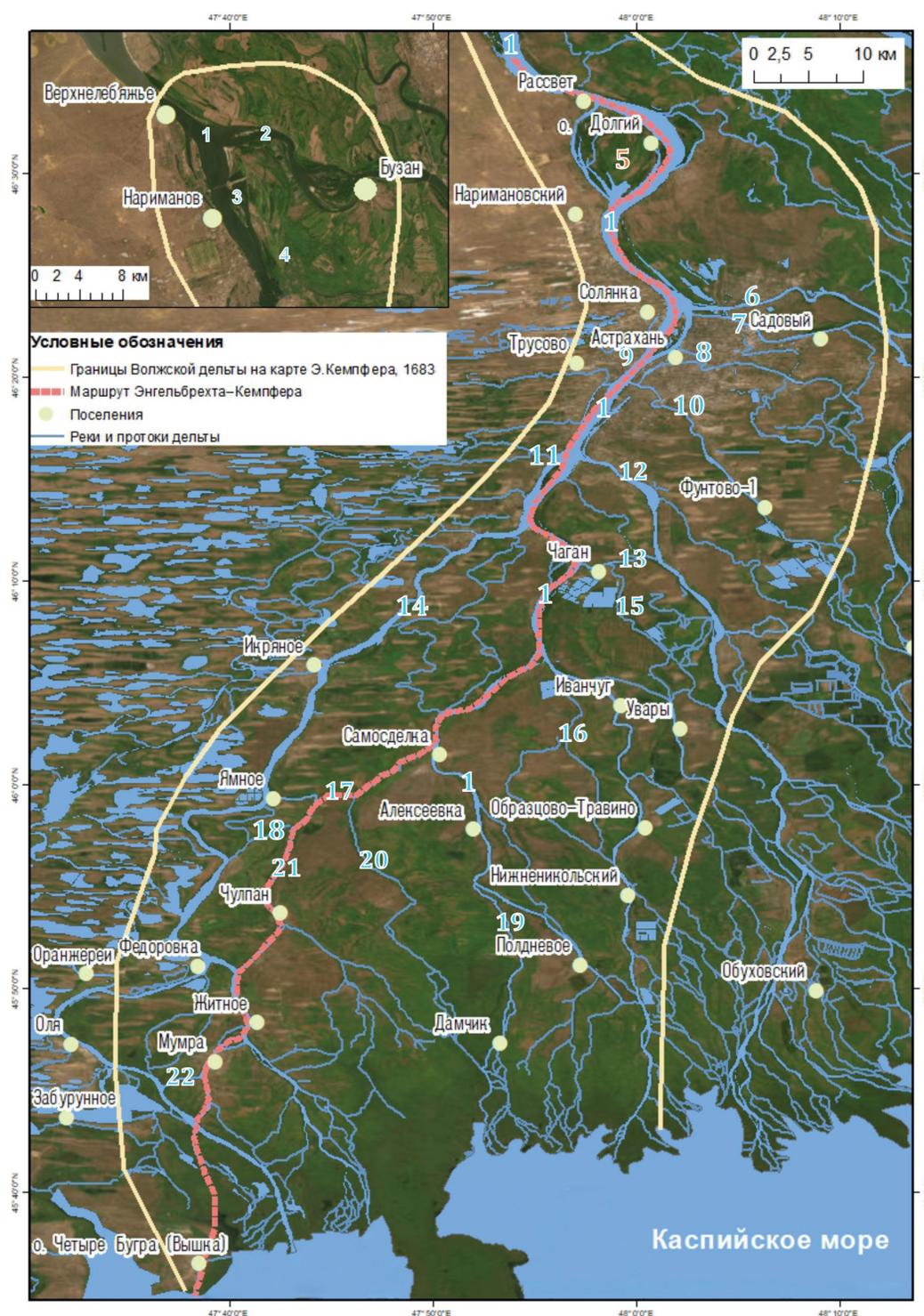


Рис. 4. Карта современной западной части дельты Волги с отметками современного местоположения топонимов и гидронимов, обозначенных на карте Э. Кемпфера: 1 – река Волга; 2 – река Бузан; 3 – остров Подводный; 4 – ерик Балчуг; 5 – остров Долгий; 6 – река Кривая Болда; 7 – река Прямая Болда; 8 – река Кутум; 9 – ерик Солянка; 10 – река Царев; 11 – ерик Дарма; 12 – река Кизань; 13 – река Чаган; 14 – река Бахтемир; 15 – река Большой Кал; 16 – река Иванчуг; 17 – река Сомовка; 18 – река Маракуша; 19 – река Бирюль; 20 – река Коклюй; 21 – река Ямная; 22 – река Бакланья. *Источник:* Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

Fig. 4. Map of the modern western part of the Volga River delta, marking the modern location of toponyms and hydronyms indicated on the Kaempfer map: 1 – the Volga River; 2 – the Buzan River; 3 – the Podvodny Island; 4 – the Balchug erik; 5 – the Dolgiy Island; 6 – the Kryvaya Bolda River; 7 – the Pryamaya Bolda River; 8 – the Kutum River; 9 – the Solyanka erik; 10 – the Tsarev River; 11 – the Darma erik; 12 – the Kizan River; 13 – the Chagan River; 14 – the Bakhtemir River; 15 – the Bolshoy Kal River; 16 – the Ivanchug River; 17 – the Somovka River; 18 – the Marakusha River; 19 – the Biryul River; 20 – the Koklyuy River; 21 – the Yamnaya River; 22 – the Baklan'ya River. *Source:* Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

В дневнике Э. Кемпфера имеется запись: «на следующее утро (1 октября 1683), как только спал туман, мы увидели перед собой Астрахань, проплыли мимо Балды и вошли в рукав Волги реку Кутум, что омывает Астрахань» [Дубман, Дубинин, 1996, с. 319]. Выше Астрахани Волга дает начало двум протокам: Кривой (рис. 4, № 6) и Прямой Болде (см. рис. 4, № 7). В XVII в. они именовались Малая и Большая Болда соответственно. Под такими же названиями эти гидронимы обозначены на карте Э. Кемпфера: *De kleyne Balda* – Малая Болда (см. рис. 3, № 7) и *De groote Balda* – Большая Болда (см. рис. 3, № 8). На карте Э. Кемпфера из Британской библиотеки ниже по течению от о. Долгий также можно различить контуры рек Малой (см. рис. 2, № 3) и Большой Болды (см. рис. 2, № 4) [Lazar, 1982]. Отметим, что гидроним *Kotumowa R.* (Кутумова Р.) (см. рис. 3, № 9) соответствует р. Кутум (см. рис. 4, № 8), протекающей к северу от города *Astrakan* (Астрахань). Далее в дневнике отмечено, что «Кутум находится на расстоянии двух мушкетных выстрелов от города» [Дубман, Дубинин, 1996, с. 319]. Данная запись не соответствует действительности, так как в XVII в. между Кутумом и городской стеной пролегла узкая полоса земли, не подлежащая заселению, называемая в народе бечевинной, поскольку по ней могли проходить только бурлаки с бечевой, а в период паводка воды Кутума подступали к городским стенам [Рубцова, 2017].

После прибытия шведской миссии в Астрахань в дневниковых записях вплоть до последней страницы отсутствуют какие-либо описания, наименования гидронимов, рисунки и карты [Дубман, Дубинин, 1996; Engelbert Kaempfer..., 2003].

Река с названием *Solana* (Солана) на правом берегу Волги (см. рис. 3, № 10) – это ныне существующий ерик Солянка (см. рис. 4, № 9). Следующий гидроним без названия (см. рис. 3, № 10) на левобережье Волги соответствует р. Царев (см. рис. 4, № 10). Далее на правом берегу река с названием *Darma* (Дарма) (см. рис. 3, № 12) – это одноименный ерик (см. рис. 4, № 11). Следующий водоток без названия (см. рис. 3, № 13) на левобережье соответствует р. Кизань (см. рис. 4, № 12). Протекающий южнее Кизани безымянный водоток (см. рис. 3, № 14) можно идентифицировать как р. Чаган (см. рис. 4, № 13). Крупная река на правобережье с названием *Bigdamir* (Бигдамир) (см. рис. 3, № 15) соответствует реке Бахтемир – современному Волго-Каспийскому морскому судоходному каналу (см. рис. 4, № 14).

Далее на левом берегу южнее р. Чаган отмечен безымянный гидроним (см. рис. 3, № 16), ныне известный как Большой Кал (см. рис. 4, № 15). Расположенная к югу безымянная река (см. рис. 3, № 17)

определена нами как р. Старый Иванчуг (см. рис. 4, № 16).

Гидронимы на правом берегу под названиями *Samoska* (Самоска) и *MaraKusia* (Маракузия) (см. рис. 3, № 18, 20) соответствуют современным рекам Сомовка и Маракуша (см. рис. 4, № 17, 18), как и на карте Э. Кемпфера они в настоящее время соединяют два крупных водотока – Бахтемир и Волгу.

Следующий безымянный гидроним на левобережье (см. рис. 3, № 19) можно идентифицировать как реку Бирюль (см. рис. 4, № 19). На карте А. Оллария отмечен неустановленный гидроним *protoke Perulskijt* (протоке Перулскийт) (см. рис. 1, № 5). Слова «Перулскийт» и созвучное ему слово «Бирюльский» могут обозначать наименование одной и той же протоки.

Очередной гидроним на левом берегу с наименованием *Yaklui* (Яклюй) (см. рис. 3, № 21) созвучен реке с названием Коклюй (см. рис. 4, № 20). Южнее протекает река с названием *Uruslanowa* (Урусланова) (см. рис. 3, № 22), соответствующая реке Ямная (см. рис. 4, № 21). Местоположение гидронима *Ontiponi protogi* (Онтипони протоги) (см. рис. 3, № 23) на современной карте установить не удалось.

Последняя река с названием *Jarki* (Ярки) (см. рис. 3, № 24) сопоставляется с р. Бакланья (см. рис. 4, № 22), являвшейся в XVII–XVIII вв. последней точкой волжского фарватера – Ярковским устьем – местом его соединения с Каспийским морем, современная протока Бакланья. Это означает, что автор следовал к морю по «староволжскому» фарватеру, по которому ранее ходили Федор Котов (1623), Адам Олларий (1637), а впоследствии и де Бруин (1703) [Бухарицын, Котеньков, 2022].

Последний гидроним на карте Э. Кемпфера записан на голландском языке *De Kaspische Zee*, что в переводе означает Каспийское море (см. рис. 3, № 25).

На сегодняшний день карта Э. Кемпфера – единственная сохранившаяся карта XVII в., изображающая западный участок волжской дельты. На ней впервые достоверно показаны не только точные местоположения и наименования многих рек и протоков, но и направление течений и впадения в Каспийское море.

Большинство гидронимов имеет созвучные параллели среди современных географических объектов. Проблемы с сопоставлением некоторых других названий, представленных на исследуемой карте, можно связать с искажением Э. Кемпфером русских гидронимов. Основной причиной сложности их распознавания являются ошибки автора, черпавшего сведения из разнообразных, нередко противоречащих друг другу источников, к тому же порой усугублявшихся неразборчивым почерком на смеси латыни и немецкого языков.

Карта Э. Кемпфера превосходит карту А. Олеария в совокупной подробности и точности передачи географических и гидронимических реалий волжской дельты, отражая большее число дельтовых проток в более приближенном к реальности масштабе.

Высокая степень информированности автора карты о гидрологической обстановке в дельте Волги наталкивает на мысль о возможности его знакомства с кем-либо из местных жителей: в дневнике Э. Кемпфера сохранилась запись, что во время пребывания в Астрахани он посещал дом грузинского князя и общался с его секретарем-французом [Дубман, Дубинин, 1996].

Карта Э. Кемпфера 1676 г. свидетельствует о высокой степени информированности автора и точности изображения проток западной части волжской дельты. Превзойти ее смогла лишь изданная спустя 100 лет карта дельты Волги за авторством С.М. Гмелина (1777) [Гмелин, 1777].

В результате анализа дельтовой части карты Э. Кемпфера были переведены с голландского языка на русский все надписи и полностью идентифицированы наименования русских гидронимов, написанных голландскими буквами. В связи с чем представилось возможным определить на указанной карте местоположение дельтовых проток и провести историко-географическую реконструкцию водного маршрута следования путешественника на участке от г. Астрахани до Каспийского моря.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН (тема № FMWE–2024–0018).

Выражаем благодарность слависту профессору Эммануэлю Вагемансу (Антверпен, Бельгия) за перевод текстов с голландского языка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багров Л.* История русской картографии / пер. с англ. Е.В. Ламановой. М.: Центрполиграф, 2005. 522 с.
- Барон Мейерберг и путешествие его по России / пер. с нем. изд. Федором Аделунгом, д. с. с. и кавалером. СПб.: Тип. К. Крайя, 1827. VIII. С. 320–372.
- Браун Л.А.* История географических карт / пер. с англ. Н.И. Лисовой. М.: Центрполиграф, 2006. 477 с.
- Бухарицин П.И., Котеньков С.А.* Трудные перекаты Волго-Каспия. Историческая ретроспектива. Часть I (IX–XIX вв.) // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 283–304. DOI: 10.33933/2713-3001-2022-67-283-304.
- Витсен Н.* Северная и Восточная Тартария, включающая области, расположенные в северной и восточной частях Европы и Азии. Т. 2. В 3 т. / пер. с гол. В.Г. Трисман; ред. и науч. рук. Н.П. Копанева, Б. Наарден. Амстердам: Pegasus, 2010. 980 с.
- Гмелин С.Г.* Путешествие по России для исследования трех царств природы. Часть II / пер. С. Мошкова. СПб.: При Имп. Акад. наук, 1777. 336 с.
- Гусарова Е.В.* Астраханские находки: История, архитектура, градостроительство Астрахани XVI–XVIII вв. по документам из собраний Петербурга. СПб.: Нестор-История, 2009. 492 с.
- Дубман Э.Л., Дубинин С.И.* Записки Э. Кемпфера о путешествии по Волге от Казани до Астрахани // Краеведческие записки. Вып. 8. Самара, 1996. С. 311–322.
- Иностранные известия о восстании Степана Разина: материалы и исследования / под ред. А.Г. Манькова. Л., 1975. С. 152–181.
- Салищев К.А.* Картография: учебник для геогр. спец. ун-тов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1982. 272 с.
- Олеарий А.* Описание путешествия в Московию / пер. с нем. А.М. Ловягина. Смоленск: Русич, 2003. 480 с.
- Рубцова С.С.* Градостроительная эволюция Астрахани: в 2 кн. Кн. 1: Строительная история. Ульяновск: Первая Образцовая типография, 2017. 448 с.
- Рыбаков Б.А.* Русские карты Московии XV – начала XVI века / Ин-т археологии. АН СССР. М.: Наука, 1974. 111 с.

ВЫВОДЫ

В ходе детального анализа карт и дневника Э. Кемпфера, сопоставленных с картой А. Олеария, авторами были определены местоположения и наименования безымянных дельтовых проток. Также установлено, что некоторые гидронимы сохранили созвучные наименования по настоящее время: Бузан, Малая Болда, Большая Болда, Кутум, Солянка, Дарма, Бахтемир, Сомовка, Маракуша и Коклюй.

По обозначенным на карте топонимам проведена историко-географическая реконструкция водного маршрута путешественника на участке от г. Астрахани до Каспийского моря, где конечной точкой речного маршрута является гидроним Ярки (Ярковское устье) – р. Бакланья. Это означает, что автор следовал к морю по «староволжскому» фарватеру, по которому ранее ходили Федор Котов (1623), Адам Олеарий (1637), а впоследствии и де Бруин (1703).

Таким образом, карта Э. Кемпфера является единственной в своем роде подробной сохранившейся картой волжской дельты XVII в. и уникальным памятником истории волжского региона. Примечательно, что это один из самых ранних картографических документов, в котором фиксируются русские наименования дельтовых проток, большая часть которых сохранилась до настоящего времени. Результаты исследования гидронимов дельты Волги по карте Э. Кемпфера дополняют наши знания об историко-географических реалиях XVII в., формируя новые перспективы для исследований в области картографии, истории и культурной географии дельты Волги и ее понизовья.

- Стрейс Я.Я.* Три путешествия: по Италии, Греции, Лифляндии, Московии, Татарии, Мидии, Персии, Ост-Индии, Японии и различным другим странам. 1647–1673 / пер. Э. Бородиной; под ред. А. Морозова. М.: Соцэкгиз, 1935. 415 с.
- Хорошкевич А.Л.* Дневник путешествия Энгельбрехта Кемпфера по России в 1683 г. // Исторический архив. 2005. № 5. С. 207–221.
- Чертеж расположения учугов и промысловых ватаг в дельте Волги. Вторая половина XVII в. // Отдел рукописей Астраханского историко-архитектурного музея-заповедника. КП 41422/5. Л. 260 об.
- Die Reise tagebucher Engelbert Kaempfers, Bearbeitet von K. Meier-Lemgo, Wiesbaden, F. Steiner Verlag, 1968, 182 p.
- Engelbert Kaempfer, Werke. Kritische Ausgabe in Einzelbänden. Herausgegeben von Detlef Haberland, Wolfgang Michel, Elisabeth Gössmann, vol. 6, Russland tagebuch, 1683, München, Iudicum Verl., 2003, 331 p.
- Engelbert Kaempfers Geschichte und Beschreibung von Japan, Beiträge und Kommenta Deutschen Gesellschaft für Natur und Völkerkunde Ostasiens (OAG), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980, 168 p.
- Kaempfer's Japan: Tokugawa Culture Observed By Engelbert Kaempfer. Edited, translated, and annotated by Beatrice M. Bodart-Bailey. Honolulu: University of Hawaii Press, 1999, XIV, 545 p.
- Lazar M.* The manuscript maps of Engelbert Kaempfer, *Imago Mundi*, 1982, vol. 34, p. 66–71.
- Lindsey A.J. Hughes:* Sophia. Regent of Russia 1657–1704, New Haven, London, 1990.
- Olearius A.* Offt beehrte Beschreibung Der Newen Orientalischen Reise So dutch Gelegenheit einer Holsteinischen Legation an den Konig in Persien geschehen... Schleswig, 1647.
- Straussens J.J.* Sehr schwere wiederwertige und Denckwiirdige Reysen Durch Italien, Griechen-land, Lifland, Moscau, Tartarey, Meden, Persien, Tiirckey, Ost-Indien, Japan und unterschied-liche andere.... Verziehret mit vielen schonen Kupffer-stücken vom Authore selbst nach dem Leben gezeichnet, Aus dem Holländischen iibergesetzt von A. Miiller, Amsterdam, 1678.
- Troebst Stefan.* Die Kaspi-Volga-Ostsee-Route in der Handels-kontroll politik Karls XI. Die schwedischen Persien-Missionen von Ludvig Fabritius 1679–1700, *Forschungen zur Osteuropaischen Geschichte*, 1998, 54, p. 127–204.
- Wilson, Francesca M.* Muscovy: Russia through foreign eyes 1553–1900, London, Allen and Unwin, 1970, 328 p.

Поступила в редакцию 02.02.2024

После доработки 10.04.2024

Принята к публикации 26.06.2024

ENGELBERT KAEMPFER'S MAP AND NOTES OF 1697. HISTORICAL AND GEOGRAPHICAL ANALYSIS

S.A. Kotenkov¹, D.M. Lobacheva²

¹ Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography

¹ Senior Researcher; Ph.D. in History; e-mail: s_kotenkov@mail.ru

² Postgraduate student; e-mail: lob.dascha@yandex.ru

The paper provides a careful analysis of the Volga River Delta according to Engelbert Kaempfer's map "Hetsuydelykste gedeelte van de Vliet Wolga" ("Southern part of the Volga River") dating back to 1697. A comparative-historical analysis of the delta hydronyms was carried out for the first time, showing the similarity of some hydronyms of the western part of the delta with the Olearius' map (1647) and the present day situation. It was concluded that the Kaempfer's maps are highly informative in terms of the geographical realities of the Caspian Sea region in the 1670s. Detailed representation of large and small waterways indicates the interest of Europeans to the possibilities of navigation along the Volga-Caspian route. A historical and geographical reconstruction of the traveler's water route from Astrakhan to the Caspian Sea was performed. The results of the study extend our knowledge of historical and geographical realities of the 17th century, forming new horizons for research in cartography, history and cultural geography.

Keywords: the Volga River Delta channels, the Volga River Delta hydronyms, historical and geographical reconstruction, the Caspian Sea, cartographic materials

Acknowledgements. The work was carried out under the state task of the Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (theme no. FMWE-2024-0018).

The authors are grateful to Professor Emmanuel Waegemans, the Belgian slavist, for translation Dutch texts into Russian.

REFERENCES

- Bagrov L. *A History of the Cartography of Russia*, In two vol. H.W. Castner (ed.), Walker Press, 1975, 522 c.
- Baron Meyerberg i puteshestviye yego po Rossii* [Baron Meyerberg and His Journey Through Russia], translation from German and compilation by Fedor Adelung, actual state councilor and cavalier, Saint Petersburg, Tip. K. Kravaya Publ., 1827, VIII, p. 320–372. (In Russian)
- Kaempfer's Japan: Tokugawa Culture Observed By Engelbert Kaempfer. Edited, translated, and annotated by Beatrice M. Bodart-Bailey. Honolulu: University of Hawaii Press, 1999, XIV, 545 p.
- Brown L.A. *Istoriya geograficheskikh kart* [The story of maps] Moscow, Centrpoligraf, 2006, 477 p. (In Russian)
- Bukharitsin P.I., Kotenkov S.A. Trudnyye perekaty Volgo-Kaspiya. Istoricheskaya retrospektiva. chast' I (IX–XIX vv.) [Difficult rifts of the Volga-Caspian. Historical retrospective, Part I (IX–XIX centuries)], *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2022, no. 67, p. 283–304, DOI: 10.33933/2713-3001-2022-67-283-304.
- Chertezh raspolozheniya uchugov i promyslovykh vatag v delte Volgi. Vioraya polovina XVII v.* [The Plan of fishing nets and places in the Volga River Delta, The second half of the 17th century], Manuscript Department of the Astrakhan Historical and Architectural Museum Reserve, Code 41422/5, 260 p. (In Russian)
- Die Reisetagebucher Engelbert Kaempfers*, Bearbeitet von K. Meier-Lemgo, Wiesbaden, F. Steiner Verlag, 1968, 182 p.
- Dubman E.L., Dubinin S.I. Zapiski E. Kempfera o puteshestvii po Volge ot Kazani do Astrakhani [Notes by E. Kaempfer on a Trip Along the Volga from Kazan to Astrakhan], *Kraevedcheskie zapiski*, Samara, 1996, no. 8, p. 311–322. (In Russian)
- Kaempfer E. *Kritische Ausgabe in Einzelbänden*. Herausgegeben von Detlef Haberland, Wolfgang Michel, Elisabeth Gössmann, vol. 6, Russland tagebuch 1683, München, Iudicum Verl., 2003, 331 p.
- Engelbert Kaempfers Geschichte und Beschreibung von Japan*, Beiträge und Kommenta Deutschen Gesellschaft für Natur und Völkerkunde Ostasiens (OAG), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980, 168 p.
- Gmelin S.G. *Puteshestviye po Rossii dlya issledovaniya trekh tsarstv prirody* [Travel Through Russia for Studying the Three Kingdoms of Nature], Part 2, translation by S. Moshkov, Saint Petersburg, the Imperial Academy of Sciences Publ., 1777, 336 p. (In Russian)
- Gusarova E.V. *Astrakhanskies nakhodki: Istoriya, arkhitektura, gradostroitel'stvo Astrakhani XVI–XVIII vv. po dokumentam iz sobranii Peterburga* [Astrakhan Findings: History, Architecture, Urban Planning of Astrakhan in the XVI–XVIII Centuries According to the Documents from the Collections of Saint-Petersburg], Saint Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2009, 492 p. (In Russian)
- Hughes L.A.J. *Sophia. Regent of Russia 1657–1704*, New Haven, London, Yale University Press, 1990, 345 p.
- Inostrannyye izvestiya o vosstanii Stepana Razina, Materialy i issledovaniya* [Foreign News About Stepan Razin's Uprising, Materials and Research], A.G. Mankov (ed.), Leningrad, 1975, p. 152–181. (In Russian)
- Kartografija* [Cartography], Textbook for geogr. specialities of universities, 3rd ed., revision and supplement, K.A. Salishchev, Moscow, Vysh. Shkola Publ., 1982, 272 c. (In Russian)
- Khoroshkevich A.L. *Dnevnik puteshestviya Engelbrekhta Kempfera po Rossii v 1683 g.* [Diary of Engelbrecht Kaempfer's Trip Through Russia in 1683], *Istoricheskiy arkhiv*, 2005, no. 5, p. 207–221. (In Russian)
- Lazar M. The manuscript maps of Engelbert Kaempfer, *Imago Mundi*, vol. 34, 1982, p. 66–71.
- Olearius A. *Offt beehrte Beschreibung Der Newen Orientalischen Reise So dutch Gelegenheit einer Holsteinischen Legation an den Konig in Persien geschehen...*, Schleswig, 1647.
- Oleary A. *Opisaniye puteshestviya v Moskoviyu* [Description of the Travel in Muscovy], Translation from German by A.M. Lovyagin, Smolensk, Rusich Publ., 2003, 480 p. (In Russian)
- Rubtsova S.S. *Gradostroitel'naya evolyutsiya Astrakhani, v 2 kn., Kniga 1, Stroitel'naya istoriya* [Urban-Planning Evolution of Astrakhan, in two books, Book 1, Construction History], Ulyanovsk, Pervaya Obraztsovaya tipografiya Publ., Ulyanovskiy dom pechati Branch, 2017, 448 p. (In Russian)
- Rybakov B.A. *Russkie karty Moskovii XV – nachala XVI veka* [Russian maps of Muscovy 15 – early 16th century], USSR Academy of Sciences, Institute of Archaeology, Moscow, Nauka Publ., 1974, 111 p. (In Russian)
- Straussens J.J. *Sehr schwere wiederwertige und Denckwiirdige Reysen Durch Italien, Griechen-land, Lifland, Moscau, Tartarey, Meden, Persien, Tiirckey, Ost-Indien, Japan und unterschied-liche andere...*, Verziehret mit vielen schonen Kupffer-stiicken vom Authore selbst nach dem Leben gezeichnet, Aus dem Hollandischen iibergesetzt von A. Miiller, Amsterdam, 1678.
- Struys J.J. *Tri puteshestviya: Po Italii, Gretsii, Lifyandii, Moskovii, Tatarii, Midii, Persii, Ost-Indii, Yaponii i razlichnym drugim stranam. 1647–1673* [Three Journeys: Through Italy, Greece, Livonia, Muscovy, Tartary, Media, Persia, East-India, Japan and Other Countries. 1647–1673], translation by E. Borodina; A. Morozov (Ed.); Moscow, Sotsekgiz Publ., 1935, 415 p. (In Russian)
- Troebst S. Die Kaspi-Volga-Ostsee-Route in der Handelskontroll politik Karls XI. Die schwedischen Persien-Missionen von Ludvig Fabritius 1679–1700, *Forschungen zur Osteuropaischen Geschichte*, 54, 1998, p. 127–204.
- Wilson Francesca M. *Muscovy: Russia through foreign eyes 1553–1900*, London, Allen and Unwin, 1970, 328 p.
- Witsen N. *Severnaya i Vostochnaya Tartariya, vklyuchayushchaya oblasti, raspolozhennyye v severnoy i vostochnoy chastyakh Yevropy i Azii* [Northern and Eastern Tartary Including the Regions in Northern and Eastern Parts of Europe and Asia], in 3 vol., translation from Dutch by V.G. Trisman; N.P. Kopaneva, B. Naarden (eds. and acad. adv.), Amsterdam, Pegasus Publ., 2010, vol. 2, 980 p. (In Russian)

Received 02.02.2024

Revised 10.04.2024

Accepted 26.06.2024

Посвящается светлой памяти Натальи Михайловны Лужковой
(23.04.1985–13.07.2021), замечательного подвижника и исследователя
экологического туризма на особо охраняемых природных территориях

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА НА ТЕРРИТОРИИ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО ВЫСОКОГОРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

В.А. Караваяев¹, А.Н. Гуня², М.И. Аккиев³, А.В. Воскова⁴

^{1,2} *Институт географии РАН, Москва*

³ *Кабардино-Балкарский высокогорный государственный природный заповедник, пос. Капхатау*

⁴ *ГАУ «Институт Генплана Москвы», НПО «Экология»*

¹ *Лаборатория геоморфологии, ст. научн. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: karavaev@igras.ru*

² *Отдел физ. географии и проблем природопользования, вед. научн. сотр.,
д-р геогр. наук; e-mail: a.n.gunya@igras.ru*

³ *Зам. директора по научной работе, экологическому просвещению и познавательному туризму,
канд. биол. наук; e-mail: taukaplan@mail.ru*

⁴ *Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: avoskova@yandex.ru*

Экологический туризм на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), расположенных в горах, видится очень перспективным вследствие их природного разнообразия и эстетической привлекательности. При планировании экологических маршрутов в подобных местах необходимо учитывать особенности функционирования природных горных ландшафтов, приоритет природоохранной роли и сочетание туризма с традиционными видами природопользования. В горной части Северного Кавказа расположено 16 ООПТ, перед каждой из них стоят не только задачи охраны природы, но и развития шадящего туризма, наиболее эффективной формой которого является экологический. Кабардино-Балкарский государственный высокогорный заповедник (КБВЗ) является одним из наиболее ярких горных природных резерватов, обладающих высоким потенциалом для развития экологического туризма. На территории заповедника выделены три эколого-туристских района, различающихся по особенностям природных условий, разнообразию и площади ландшафтов, количеству и характеру историко-культурных объектов, туристической привлекательности и развитию рекреационной инфраструктуры. Наиболее перспективным для развития экологического туризма и проложения экологических троп является Черекский участок, граничащий с Северной Осетией. Для него предлагаются пять экологических маршрутов: по долине р. Карасу, по долине р. Лъкези, на гору Лехановцек, на перевал Кривосивцек и к древней заставе Караул-кала. Четыре из них представляют собой однодневные путешествия для среднеподготовленных рекреантов и один – трехдневный поход для хорошо подготовленных туристов в сопровождении инструктора. Каждый маршрут предполагает демонстрацию высотной поясности, памятников природы, последствий опасных природных процессов, традиционного природопользования и обладает выгодными точками пейзажного обзора. Для сохранения экологического потенциала территории необходимо регулировать пастбищное скотоводство, рекреацию и туризм. Обоснование состава показателей, определяющих интенсивность рекреационного использования, и их количественных значений – первоочередная практическая задача, которая может быть решена систематизацией эмпирических данных о влиянии туристической деятельности на природные ландшафты.

Ключевые слова: экологический маршрут, туризм, горный ландшафт, заповедник, природопользование, эколого-туристский район

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.11

ВВЕДЕНИЕ

Экологический туризм определяется как «путешествие с ответственностью перед окружающей средой по относительно ненарушенным природным территориям с целью изучения и наслаждения природой и культурными достопримечательностями, которое содействует охране природы, оказывает «мягкое» воз-

действие на окружающую среду, обеспечивает активное социально-экономическое участие местных жителей и получение ими преимуществ от этой деятельности» [Экологический туризм..., 2002]. Современное теоретическое обоснование концепции эко-туризма базируется на междисциплинарных темах, которые раскрываются в публикациях одноименного

журнала¹. Природная составляющая и изучение емкости природных экосистем остается приоритетной [Плотникова, Васильева, 2019]. Большое развитие получили концепции роли экотуризма для местных сообществ [Carrier, MacLeod, 2005; Campbell, 1999], для естественно-научного просвещения [Ramírez, Santana, 2005; Mondino, Beery, 2018], оценки экосистемных услуг [Gratzer, Keeton, 2017] и др. Учитывая широкий спектр социальных и экологических задач, которые затрагиваются при изучении экологического туризма, его нередко считают важным фактором развития, хотя вопросы преимущества экотуризма перед туризмом еще требуют разработки [Beaumont, 2011]. Выработка единых стандартов для экотуризма является сложной задачей, нередко он тесно сопрягается с так называемыми устойчивым, ответственным и другими видами туризма. В его анализ вовлекаются не только чисто экономические аспекты, но и психологические [ГОСТ Р 56642-2015. Экологический туризм..., 2015; Федеральный закон «Об особо охраняемых...», 1995].

Развитие экологического туризма на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) тесно связано с решением задач по оптимальному соотношению природоохранных задач и развития [Борисова, 2013; Цепилова, Айрапетян, 2022; Forje et al., 2021]. Сочетание природоохранной деятельности и экологического туризма на горных территориях имеет свою специфику [Aseres et al., 2021]. Развитие таких территорий тесно связано с их охраной и затрагивает вопросы жизни местного населения, регулирования возникающих противоречий и конфликтов [Sanja, 2022; Gunya et al., 2021].

Долгое время считалось, что созданная в советское время система природоохранных территорий с мощной государственной поддержкой, строгим контролем и санкциями является образцом для решения задач по охране природы в России. При этом заинтересованность местного населения в природоохранной деятельности была резко ограничена. После распада Советского Союза и монополизации государственных прав на землю частный бизнес и местные сообщества заявили свои права на сенокосы и пастбища. В ряде случаев возникли конфликтные ситуации между задачами охраны природы и интересами предпринимателей и местных сообществ [Gunya et al., 2019]. При этом антропогенная нагрузка на ландшафты в пределах ООПТ стала расти с увеличением потока туристов и активизацией других видов хозяйственной деятельности.

Территория Кабардино-Балкарского заповедника репрезентативна для изучения возможностей и ограничений для развития экологического туризма, на ней

тесно переплелись функции заповедования местных ландшафтов, традиционное природопользование и туризм [Караваев и др., 2022]. Целью исследования является оценка перспектив экологического туризма на территории КБВЗ с учетом состояния природных ландшафтов и хозяйственной деятельности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ключевым методом настоящего исследования является составление карт, отображающих ландшафтную структуру территории, пространственные особенности размещения участков проявления экзогенных процессов и видов природопользования [Караваев и др., 2020]. При помощи этих карт выявлены особенности ландшафтной структуры территории исследования, охарактеризованы особенности современного природопользования, проведена оценка последствий антропогенного воздействия на природные ландшафты, сформулированы рекомендации к управлению природопользованием в пределах рассматриваемых участков и намечены экологические маршруты. При оценке сохранности природного разнообразия особое внимание уделялось уникальным, редким и наиболее ранимым ландшафтам [Воскова и др., 2021].

Одна из задач натурных обследований, которые на рассматриваемой территории проводятся авторами в летний период с 2009 г. и по настоящее время, заключается в выявлении особенностей развития туризма, традиционного природопользования, а также влияние антропогенной деятельности на динамику ландшафтов. При планировании экологических троп дана качественная оценка эстетической привлекательности ландшафта, при которой оценивалась открытость горизонта, расчлененность рельефа, глубина перспективы без дымки, панорамы окружающих ландшафтов и др. В этих оценках учитывались методические наработки других авторов. Так, выявлено, что человеческий глаз воспринимает информацию, расположенную в секторе 140°, однако лучше всего зрение распознает предметы, которые находятся в секторе 28...37° [Барышников, 1955]. В связи с этим мы оцениваем открытость горизонта как полную – 140° и более, среднюю – около 90° и минимальную – около 30° и менее [Супруненко, 2003].

Как правило, более привлекательным видится пейзаж с открытым горизонтом, но именно в горах встречаются точки обзора большой эстетической ценности с минимальной открытостью горизонта – когда из узкой темной расщелины открывается вид на горную вершину, контрастирующую с окружающим пейзажем. При оценке доступности маршрутов для туристов с разной степенью физической подготовки были измерены протяженность различных участков троп с различными уклонами.

¹ Journal of Ecotourism, URL: <https://www.tandfonline.com/toc/reco20/23/2?nav=tocList>

Характеристика заповедников, национальных парков и крупных заказников федерального значения на Северном Кавказе (с дополнениями авторов)

ООПТ	Год основания	Площадь, тыс. га	Категория посещаемости	Регион	Основные типы ландшафтов
Кавказский биосферный гос. заповедник	1924	280	Очень активно	Краснодарский край, Респ. Адыгея, Карачаево-Черкесская Респ.	Горно-луговые, горно-лесные
Гос. природный заказник «Приазовский»	1958	42,2	Слабо	Краснодарский край	Степные
Национальный парк «Сочинский»	1983	208,6	Очень активно	Краснодарский край	Горно-луговые, горно-лесные
Гос. природный заповедник «Утриш»	2011	11,3+1,4: акватория	Слабо	Краснодарский край	Горно-лесные
Национальный парк «Кисловодский»	2016	0,9	Очень активно ¹	Ставропольский край	Горно-луговые, горно-лесные
Тебердинский национальный парк	1936	112,6	Активно	Карачаево-Черкесская Респ.	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные
Гос. природный заказник федерального значения «Даутский»	1986	74,9	Слабо	Карачаево-Черкесская Респ.	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные
Кабардино-Балкарский высокогорный гос. заповедник	1976	83	Слабо	Кабардино-Балкарская Респ.	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные
Национальный парк «Приэльбрусье»	1986	100	Активно	Кабардино-Балкарская Респ.	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные, горно-степные
Северо-Осетинский гос. природный заповедник	1967	30+41: охранная зона	Слабо	Респ. Северная Осетия – Алания	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные
Национальный парк «Алания»	1998	60,8	Умеренно	Респ. Северная Осетия – Алания	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные, горно-степные
Федеральный заказник «Цейский»	1958	29,9	Умеренно	Респ. Северная Осетия – Алания	Нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные
Гос. природный заповедник «Эрзи»	2000	35,3	Умеренно	Респ. Ингушетия	Горно-луговые, горно-лесные, горно-степные
Гос. природный заказник федерального значения «Ингушский»	1971	70	Слабо	Респ. Ингушетия	Горно-луговые, горно-лесные, горно-степные
Гос. природный Дагестанский заповедник	1987	19	Активно	Респ. Дагестан	Полупустынные, степные, горно-луговые
Национальный парк «Самурский»	2019	48,3	Умеренно	Респ. Дагестан	Горно-лесные, горно-степные
Гос. природный заказник «Самурский»	1982	11,2	Слабо	Респ. Дагестан	Горно-лесные, горно-степные
Гос. природный заказник федерального значения «Тляртинский»	1986	83,5	Слабо	Респ. Дагестан	Горно-лесные, горно-степные
Гос. природный заказник федерального значения «Аграханский»	1983	39	Слабо	Респ. Дагестан	Полупустынные

¹ Формально относясь к национальным паркам, Кисловодский парк по сути является курортным с подавляющим преобладанием рекреационной функции.

Организация экологического туризма на Северном Кавказе. Северный Кавказ – уникальный и значимый в природном отношении регион России. Его ландшафты выполняют глобальные средоформирующие функции для обширных пространств Евразии, создают ресурсную основу для устойчивого развития окружающих территорий, обеспечивая население водными и другими природными ресурсами. Горные районы Северного Кавказа являются рефугиумом для значительного количества редких видов флоры и фауны. Поэтому проблемы охраны природы в регионе всегда имели особую актуальность.

На Северном Кавказе находятся 70 охраняемых природных территорий, что составляет около 13% всей его территории. Они имеют различный статус и подчинение. Ядро системы охраняемых территорий региона составляют 32 ООПТ федерального значения общей площадью более 1,1 млн га. В пределах Кавказского федерального округа находится 16 ООПТ федерального значения различных форм (национальные парки, заповедники, федеральные заказники), находящихся в ведении Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, общая площадь которых на 2020 г. составила 721565 га (табл. 1). При росте общей площади ООПТ на 5% за последние десять лет площадь ООПТ регионального и местного значения возросла на 11,4%, а федерального – сократилась на 7,3%. Это демонстрирует тренд в пользу расширения компетенций региональных властей [Особо охраняемые..., 2023].

В наибольшей степени противоречия, возникшие в области охраны природы в постсоветский период, связаны со стремлением получать от туризма максимально возможный доход и увеличением потока туристов. К тому же государство рассматривает туризм как важный фактор в борьбе с терроризмом и исламским радикализмом. Накануне Олимпиады в Сочи стартовал государственный проект по развитию ту-

ризма на Северном Кавказе, что должно было снизить остроту конфликтов и способствовать созданию положительного имиджа региона. Огромные финансовые вливания в программу создания туристического кластера и административное давление привели к оттеснению основных охранных функций ООПТ, пересмотру статусов в сторону их снижения. Так, в 2021 г. Тебердинский государственный биосферный заповедник был преобразован в национальный парк. По всей видимости, тренд в сторону снижения уровня природоохранных режимов сохранится, что угрожает чувствительным природным экосистемам.

Одновременно количество рекреантов на ООПТ растет [Минприроды РФ..., 2024; Экотуризм в России вырос..., 2023]. Имеющиеся данные по числу отдыхающих в северокавказских ООПТ неполные, частично противоречивые. На основе опубликованных и полученных непосредственно из ООПТ данных все они подразделяются на четыре большие группы (табл. 2):

– до 10 тыс. чел. в год – слабо посещаемые (заповедники Кабардино-Балкарский, Северо-Осетинский, Утриш, Даутский и др.) [Государственный заповедник «Утриш»..., 2024; Заповедная Осетия–Алания..., 2024; Кабардино-Балкарский..., 2024].

– 10 тыс. – 100 тыс. чел. – умеренно посещаемые (заповедники «Эрзи», национальные парки «Алания», Самурский и др.) [Заповедная Осетия–Алания..., 2024];

– 100 тыс. – 1 млн чел. – активно посещаемые (заповедники Дагестанский, Кавказский, национальные парки Тебердинский и Приэльбрусье (555 тыс. чел.) [Государственный заповедник «Дагестанский»..., 2024; Более 490 тысяч..., 2024; Тебердинский..., 2024; Число посетителей Кавказского заповедника..., 2024];

– более миллиона посещений в год – очень активно посещаемые. К таким относятся национальные парки: Кисловодский (около 5 млн чел.), Сочинский (1,7 млн чел.).

Таблица 2

Посещаемость туристами некоторых заповедников, национальных парков и крупных заказников федерального значения на Северном Кавказе в 2022 и 2023 гг.

ООПТ	Численность туристов, чел.	
	2022 г.	2023 г.
Северо-Осетинский гос. природный заповедник	5906	8622
Национальный парк «Алания»	21 123	20 198
Кабардино-Балкарский высокогорный гос. заповедник	1724	1564
Гос. природный Дагестанский заповедник	217 023	266 536
Национальный парк «Самурский»	22 460	12 558
Гос. природный заказник «Самурский»	5055	2857
Гос. природный заказник федерального значения «Тляртинский»	420	65
Гос. природный заказник федерального значения «Аграханский»	218	14

Для того чтобы дать оценку рекреационной нагрузки, необходимо соотнести число туристов с устойчивостью местных ландшафтов к нагрузкам², а также с системой ландшафтного и пространственного регулирования потоков рекреантов. В этом отношении национальный парк Кисловодский, несмотря на большие потоки отдыхающих, обладает развитой системой управления этими потоками. Объект нашего исследования – Кабардино-Балкарский высокогорный государственный заповедник (КБВЗ) – относится к типу слабо посещаемых. Здесь количество туристов относительно небольшое, но с весьма высокой динамикой. Система регулирования потоков туристов находится на начальном уровне.

КБВЗ был основан в 1976 г. для охраны высокогорной биоты и высокогорных экосистем. До этого времени территория использовалась для экстенсивного пастбищного животноводства и, частично, для лесозаготовок. Заповедник располагается на высотах 1800–5204 м и включает горно-лесную, горно-луговую и нивально-гляциальную ландшафтные зоны (рис. 1). К горно-лесной зоне относится пояс сосновых лесов (до 2300 м) и березовых криволесий с зарослями рододендрона кавказского (2300–2600 м). Горно-луговая зона представлена горно-луговыми остепненными ландшафтами на склонах южной экспозиции (1800–2400 м), горно-луговыми субальпийскими (2400–2800 м), горно-луговыми альпийскими (2800–3200 м) и горно-луговыми субнивальными (2800–3500 м). Выше расположена нивально-гляциальная зона, где из-за низких температур и короткого бесснежного периода растительность отсутствует, и почвы не сформировались. Исключение составляют почвенные образования экстремальных условий – криокониты и эндолиты. Основная часть зеленой площади заповедника – альпийские луга. Именно они наряду с субнивальными пустошами являются здесь самой уязвимой частью растительного покрова.

Высотные ландшафтные границы могут проходить на разных отметках, т. к. распределение ландшафтных зон зависит от экспозиции, микроклимата, литологии, истории хозяйственного использования. Территория исследования относится к долинам рек Чегем, Черек Безенгийский и Черек Балкарский между Главным Кавказским и Боковым хребтами.

Важными факторами формирования ландшафтных комплексов являются экзогенные процессы,

² Инициатива авторов, внесенная в резолюцию XIV Международного форума «Экология», проходившего в Москве 5–6 июня 2023 г., была поддержана Минприроды России с формулировкой «Определение предельно допустимой рекреационной емкости на ООПТ федерального и регионального значения при осуществлении туризма, располагающихся в горной и высокогорной местности».

под воздействием которых происходит трансформация компонентов ландшафта, в первую очередь литогенной основы и растительности. На участках, непосредственно затронутых экзогенными процессами, при длительном отсутствии разрушительного воздействия (например, на старых конусах выноса, расположенных вне зоны влияния склоновых процессов) растительность постепенно восстанавливается и развивается в соответствии с закономерностями сукцессии и демулационной динамики.

Высокой изменчивостью отличаются и участки фоновых ландшафтов, контактирующих с селевыми, селево-лавиными, лавинными, гляциальными и перигляциальными, обвально-осыпными геосистемами. Наибольшую устойчивость к склоновым процессам проявляют березовое криволесье и заросли рододендрона, самые обширные по площади участки которых приурочены к склонам северных экспозиций. Непрерывная широкая полоса зарослей рододендрона кавказского расположена на высоте 2200–2800 м по левому берегу реки Карасу. На правом ее берегу древесные сообщества занимают меньшую площадь, чем на левом. Из травянистых сообществ субальпийского пояса наименее устойчивы к воздействию экзогенных процессов субальпийские луга, распространенные в бассейнах Ахсу и Метиан-Суу, где на склонах широко развиты гравитационные отложения разнообразного состава и размера, осложненные оползнями, осыпями и микроселями. Древесная и кустарниковая растительность представлена группами сосны и березы, можжевельника, малины, розы и рододендрона, участками мелколесья из березы и ивы. Особую ценность представляют горно-луговые альпийские ландшафты – альпийские луга с преобладающими осоками и овсяницами. Для субнивального пояса характерны травянисто-мохово-лишайниковые и мохово-лишайниковые сообщества на щебнистых, каменистых и ледниковых отложениях, а также на скалах.

Растительность нивального пояса представлена пятнами мхов, лишайников, водорослей на скалах и обломочных отложениях. Наряду с альпийскими и субальпийскими лугами высоким флористическим разнообразием отличаются горные болота: по берегам р. Карасу, к востоку от устья р. Метиан-Суу, находятся сфагново-осоковые болота: каскадный болотный комплекс на левобережье Карасу под южным склоном горы Лехановцев и крупное, площадью около 15 га, болото на правом берегу. На правобережном болоте в летний период проводится умеренный выпас, поэтому растительный покров на отдельных участках поврежден, а наиболее чувствительные к антропогенному воздействию травянистые встречаются в меньшем обилии, чем на болотах левого берега.

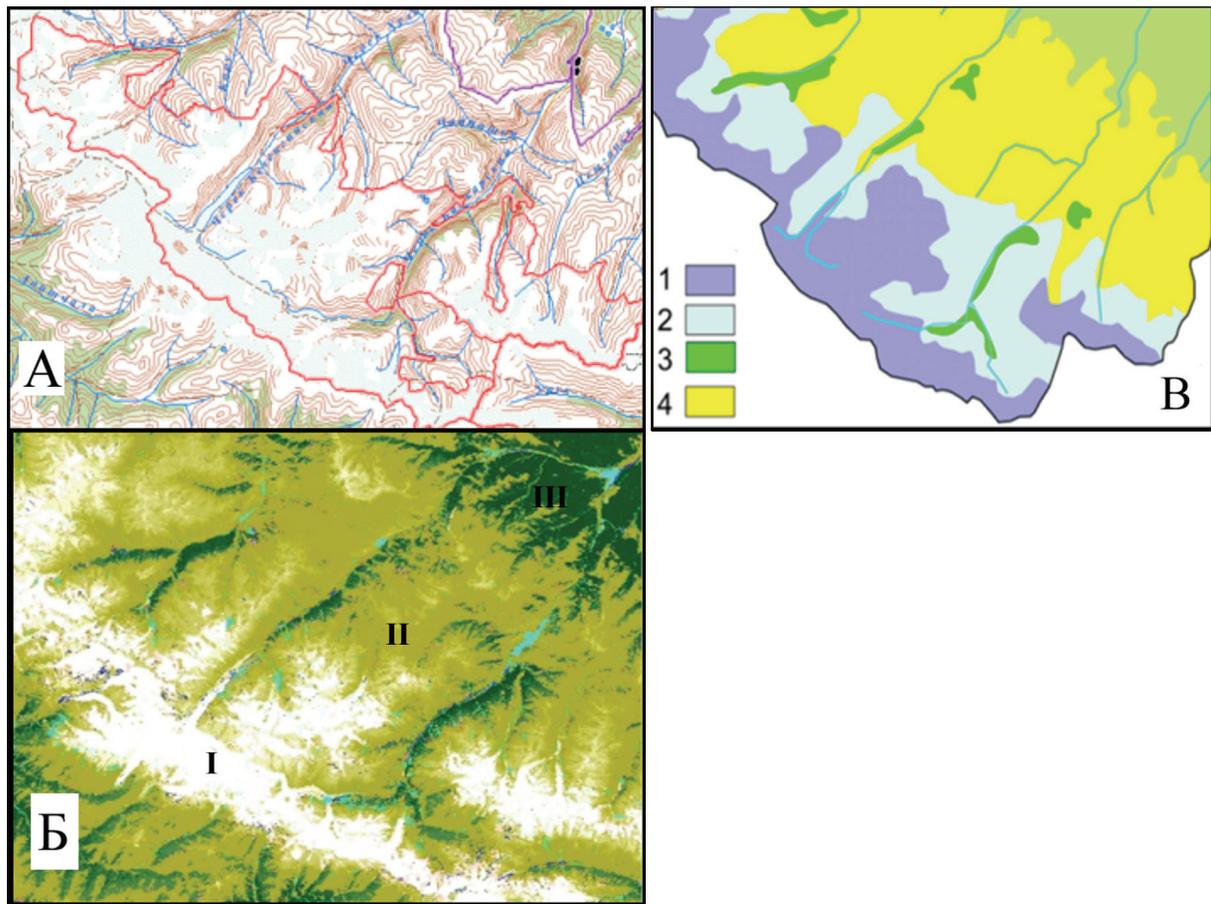


Рис. 1. Кабардино-Балкарский высокогорный заповедник: А – границы на топографической карте; Б – типы земельного покрова: I – скально-снежные участки; II – луга; III – леса; В – ландшафты: 1 – нивально-гляциальные; 2 – горно-луговые; 3 – горно-лесные; 4 – горно-степные

Fig. 1. Kabardino-Balkarian High-Mountain Reserve:

A – boundaries on the topographic map; Б – land cover types: I – rocky and snowy areas; II – meadows; III – forests; В – landscapes: 1 – nival-glacial; 2 – mountain-meadow; 3 – mountain-forest; 4 – mountain-steppe

Особенности природопользования на территории исследования. В Кабардино-Балкарском заповеднике запрещены хозяйственная деятельность и нахождение на территории без оформленного в установленном порядке разрешения. Государственные инспекторы обеспечивают соблюдение природоохранного режима, патрулируют по маршрутам на кордонах, проводят оперативную работу, проверки и рейды, а также собирают экологическую информацию в рамках программы экологического мониторинга, включая наблюдения за отдельными видами животных и растений, развитием опасных экзогенных процессов и пр.

Границы КБВЗ изрезаны и трудночитаемы на местности (см. рис. 1), что в большинстве случаев объясняется попыткой найти компромисс между охраной природы и традиционной хозяйственной деятельностью – пастбищным животноводством и заготовкой сена. Часть участков, глубоко врезающихся в основной массив заповедника, представляет собой долины рек с комплексами террас, которые

издавна использовались местным населением под пашни, а позднее – для сенокосения и выпаса по отаве. Они неформально принадлежат местным семейно-родовым объединениям и передаются, как правило, по наследству. В последние годы к традиционному разведению овец и крупного рогатого скота – коров и лошадей – добавилось яководство, развиваемое отдельными предпринимателями. Яки, которые самостоятельно передвигаются на большие расстояния и, попадая в долину Карасу из долин рек Рцывашки и Урух по перевалам Бокового хребта, наносят большой ущерб природным сообществам высокогорий.

Выпас осуществляется со второй половины мая по середину сентября в основном на тех субальпийских и альпийских лугах, которые не входят в состав заповедника. Тем не менее на заповедных участках в настоящее время увеличивается доля сорных видов, происходит замена субальпийской луговой растительности нитрофильными и нитрофильно-рудеральными сообществами. Одним из следствий

выпаса является отмирание рододендрона на отдельных участках вдоль троп, заросли которого выполняют важную почвозащитную роль, аккумулируя поверхностный сток с вышерасположенных участков, что существенно препятствует эрозии склонов.

Таким образом, очевидно, что пастбищное скотоводство, рекреация и туризм относятся к видам деятельности, для которых необходимо установление нормируемых показателей антропогенной нагрузки. Граница КБВЗ не вынесена на местность и маркируется лишь частично по участкам леса, поэтому часть его территории непроизвольно посещается туристами и используется жителями близлежащих селений в рекреационных целях – они собирают малину, чернику и лекарственные растения. В заповедник заезжает автотранспорт и заходит выпасаемый скот.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эколого-туристские районы. Эколого-туристские районы на территории КБВЗ выделены на основе комплекса факторов: 1) транспортная доступность и относительная изолированность района; 2) соотношение традиционного природопользования и туризма; 3) наличие разнообразных маршрутов и потенциал для их организации; 4) исторические особенности освоения; 5) проблемы эколого-туристического развития; 6) проблемы сохранности местных ландшафтов. Набор этих факторов в сочетании с доступными показателями по населению, числу туристов и выпасаемого скота позволил выделить три основных эколого-туристских района: Чегемский, Безенгийский, Черекский (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3

Характеристика эколого-туристских районов Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника

Районы	Количество постоянно проживающего местного населения, в 2023 г., чел.	Количество выпасаемого скота, тыс. голов	Количество зарегистрированных туристов, посетивших заповедные территории в 2023 г., чел.	Развитость экологических маршрутов
Чегемский	1020	5	1600	Слабо развиты, пограничная зона
Безенгийский	1270	7,5	6800	Радиальная сеть (от альплагеря Безенги)
Черекский	5070	20	От 200 (с учетом незарегистрированных туристов и транзита) до нескольких тысяч	Хорошо развиты

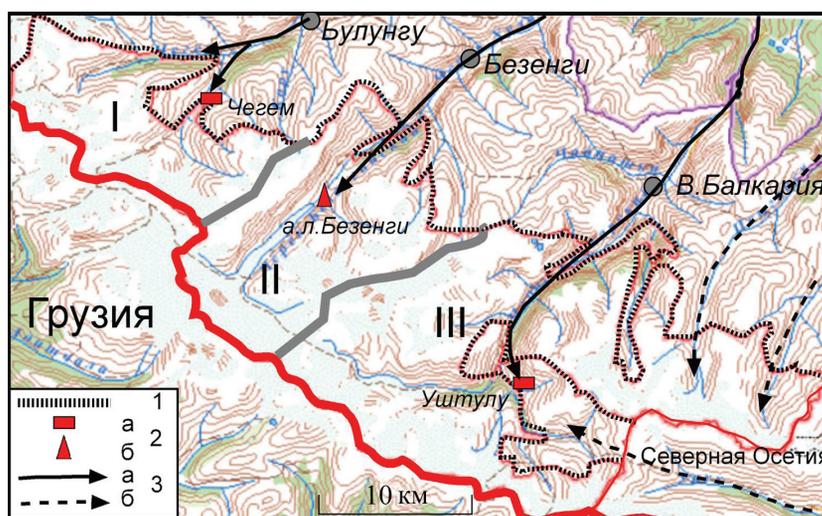


Рис. 2. Эколого-туристские районы Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника: I – Чегемский; II – Безенгийский; III – Черекский; 1 – границы заповедника; 2 – турбазы (а) и альплагерь (б); 3 – туристические потоки: а – основные; б – второстепенные

Fig. 2. Ecological and tourist areas within the Kabardino-Balkarian High-Mountain Reserve: I – Chegemsky; II – Bezengiysky; III – Chereksky; 1 – reserve boundaries; 2 – tourist centers (a) and the alpine camp (b); 3 – tourist flows: a – main; б – secondary

Чегемский эколого-туристский район расположен в одноименном ущелье р. Чегем. Базовым населенным пунктом, до которого добираются туристы и от которого начинаются тропы и дороги в различных направлениях, является Булунгу (Верхний Чегем). Дорога до Булунгу проходит по живописному ущелью, включая теснину, к которой приурочены Чегемские водопады. После водопадов дорога только грунтовая. Это в значительной мере ограничивает потоки туристов и на высокогорную базу Чегем, расположенную на границе заповедника. Другой особенностью, влияющей на количество туристов, является близость Приэльбрусья, «оттягивающего» значительные потоки туристов. До последнего времени туризм был нишевым продуктом, в него были вовлечены лишь некоторые предприниматели. Господствовало традиционное отгонно-пастбищное животноводство с дополнительным огородным хозяйством и разведением пчел. Разработанность маршрутов относительно низкая. Близость пограничной зоны и слабая информированность о рекреационных ресурсах этого района приводят к относительно низким потокам туристов, хотя в советское время здесь проходили несколько всесоюзных маршрутов. Тем не менее сосновые высокогорные леса в верховьях р. Чегем хорошо сохранились и обладают высоким бонитетом (по сравнению, например, с долиной Безенги). Туризм в последние годы развивается активно. Рекреантов привлекают не только хорошо сохранившиеся природные, но и культурные ландшафты в буферной зоне (средневековые склепы и могильники, напашные террасы и др.). К тому же местные жители стали предлагать услуги ночевки в гостевых домах, что привлекло группы туристов выходного дня.

Безенгийский эколого-туристский район уникален как для КБВЗ, так и для Северного Кавказа. Здесь сохранился известный в России и за рубежом альпинистский лагерь Безенги, основанный в 1959 г. и открытый с мая по октябрь, расположенный на высоте около 2100 м над уровнем моря и привлекающий множество горвосходителей со всего мира. Регулярно проводятся квалификационные соревнования, поскольку окрестности лагеря имеют все условия для скалолазания и альпинизма: Безенгийская стена – наиболее высокий участок главного хребта Большого Кавказа длиной 12 км. Тем не менее, добраться туда можно лишь на автотранспорте повышенной проходимости. Руководство лагеря выступает против улучшения дороги, считая, что большое количество туристов может нарушить уникальность комплекса.

Черекский эколого-туристский район является наиболее обширным и разнообразным по ландшафтам. Это один из важных в настоящее время районов,

где возможны эколого-туристские маршруты через высокогорные перевалы вне пограничной зоны (из Кабардино-Балкарии в Северную Осетию). Как видно из рис. 3, достичь КБВЗ в этом районе можно как по дороге через селение Верхняя Балкария, так и по ряду других ущелий, а также из Дигории. Относительно хорошая и разнообразная доступность способствовала развитию туризма при сочетании с сельским хозяйством. Следует отметить, что селение Верхняя Балкария расположено в межгорной котловине с относительно сухим климатом, развитым овощным хозяйством, позволяющим обеспечивать местное население и приезжих разнообразными овощами и фруктами. Это довольно крупное (около 5 тыс. человек) селение, где трудоустроиться местным жителям сложно. Поэтому туристическая отрасль стала очень востребованной: открываются местные гостиницы, рестораны, магазины для гостей. Построен мост и проложена тропа к развалинам древнего поселения, которое находилось на крутом левом берегу р. Черка Балкарского. Однако до сих пор преобладают однодневные автобусные маршруты. Развитие высокогорной части только начинается.

Экологические маршруты в верховьях р. Черка Балкарского. Черекский участок КБВЗ отличается большим природным своеобразием. Здесь находятся живописные долины, включая верховья и ледник Штулу Восточный, притоки – реки Ахсу, Лъези, Метиан-Суу и многочисленные безымянные водотоки. Особенностью долины реки Карасу является наличие лавинных, селевых и селево-лавинных, оползневых, обвально-осыпных и других склоновых процессов и ландшафтных комплексов, которые отличаются высокой изменчивостью, сложными горизонтальными и вертикальными пространственными структурами (табл. 4, см. рис. 3).

Экологические тропы на территории Кабардино-Балкарского заповедника проложены, главным образом, на основе давних туристических маршрутов, которые проходили в основном по старым скотогонным тропам, ими сотни лет пользовались живущие здесь балкарцы (см. табл. 2). Тропы в основном привязаны к ярким природным объектам, таким как ледник Уллучыран (Безенги), водопады (Сюеме-чучхур), озера (Боран-кель) и др. Здесь расположены многочисленные объекты хозяйственного назначения – загоны для скота, охотничьи засидки, скотогонные тропы. В силу трудности местных ландшафтов для освоения – больших абсолютных высот и высокой расчлененности рельефа – здесь отсутствуют такие монументальные сооружения, как средневековые башни и склеповые комплексы, которыми изобилуют места традиционного проживания балкарцев в зоне межгорной котловины.

Характеристики экологических маршрутов на Черекском участке Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника

№ п/п	Название маршрута	Общая длина, км	Перепад высот, м	Характеристики участков			
				Опорные точки	Длина, км	Уклон, град.	Перепад высот, м
Начальный этап для всех маршрутов, кроме 3-го	Устье р. Карасу – устье р. Лъкези	7,2	450	Устье р. Карасу – р. Метиан-Суу	2,6	2,4	110
				Р. Метиан-Суу – устье р. Лъкези	4,6	5,7	340
1	Долина р. Лъкези	12,4	1000	Устье р. Лъкези – подножие восточного склона г. Лехановцека	1,1	13,8	270
				Вдоль подножия восточного склона г. Лехановцека	0,75	6,1	80
				Подножие восточного склона г. Лехановцека – морена л. Штулу Западного	7,4	3,1	400
				Подъем к л. Штулу Западного	3,15	4,5	250
2	Гора Лехановцека	12,6	1150	Устье Лъкези – подножие восточного склона г. Лехановцека	1,1	13,8	270
				Подножие восточного склона г. Лехановцека – вершина	1,15	26,4	570
				Вершина г. Лехановцека – подножие восточного склона	2,4	11,2	475
				Вдоль подножия восточного склона г. Лехановцека	0,75	6,1	80
3	Долина р. Карасу	2,6	110	Устье р. Карасу – р. Метиан-Суу	–	2,4	–
4	Устье р. Карасу – перевал Кривосивцека	20,4	1630	Устье р. Карасу – р. Метиан-Суу	2,6	2,4	110
				р. Метиан-Суу – устье р. Лъкези	4,6	5,7	340
				Правобережье р. Карасу, напротив устья р. Лъкези – морена л. Штулу Восточного	10,1	2,7	470
				Морена л. Штулу Восточного – начало подъема на перевал Кривосивцека	2,2	8,8	340
				Подъем на перевал Кривосивцека	0,9	22,3	370
5	Застава Караул-Кала	5,1	380	Устье р. Карасу – р. Метиан-Суу	2,6	2,4	110
				р. Метиан-Суу – южная окраина болота Каширты	1,9	6,6	220
				Южная окраина болота Каширты – застава Караул-Кала	0,6	4,8	50

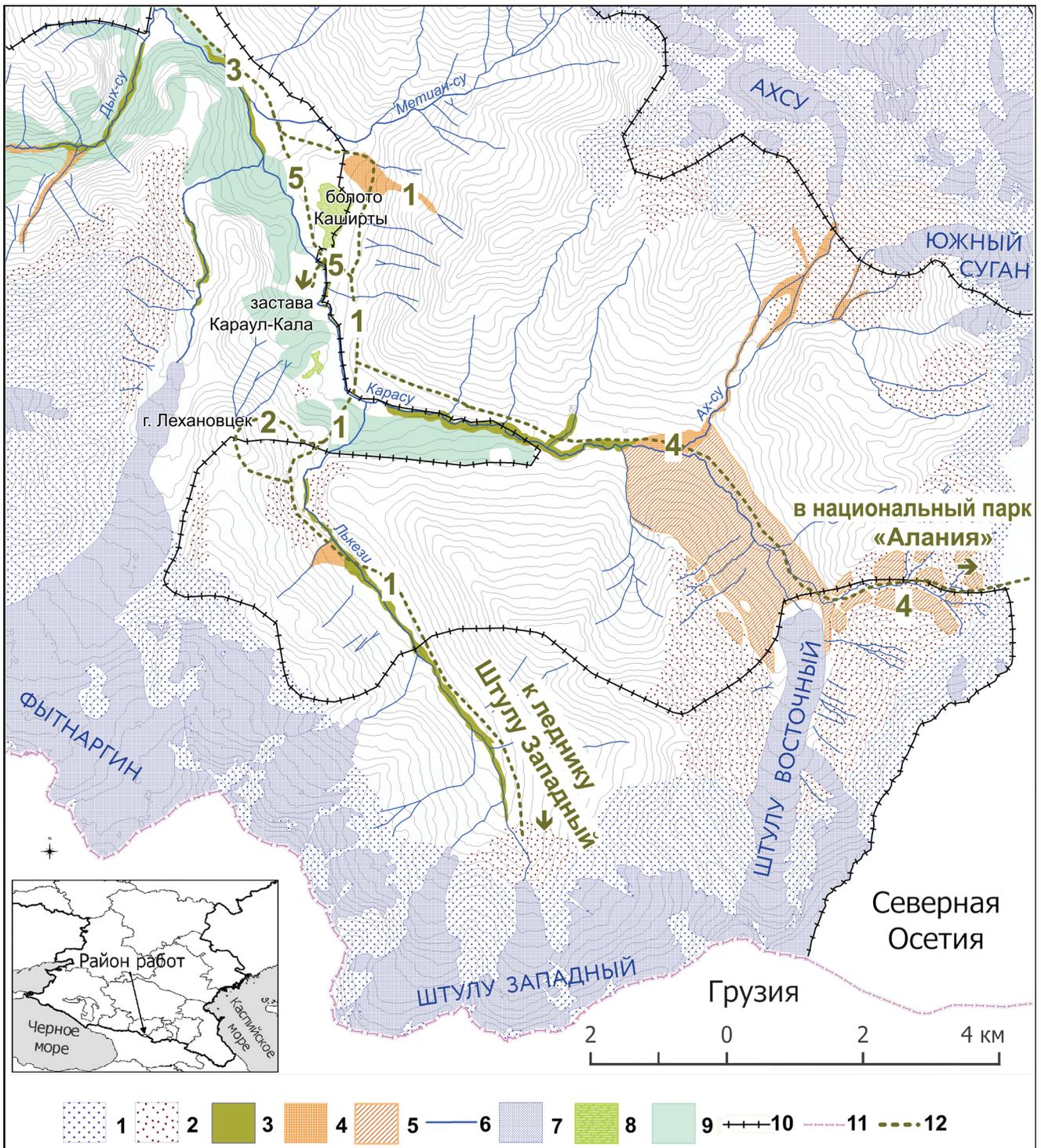


Рис. 3. Экологические маршруты и участки интенсивного проявления экзогенных процессов Черекского участка Кабардино-Балкарского заповедника.

Участки проявления процессов: 1 – нивально-гравитационных; 2 – обвално-осыпных; 3 – флювиальных; 4 – пролювиальных; 5 – оползневых; 6 – водотоки; 7 – ледники; 8 – древесно-кустарниковая растительность; 9 – болота; 10 – граница Кабардино-Балкарского государственного высокогорного заповедника; 11 – государственная граница России; 12 – экологические маршруты: 1 – «Долина Лъкези»; 2 – «Гора Лехановце»; 3 – «Долина Карасу»; 4 – «Устье Карасу – ледник Штулу Восточный и перевал Кривосивецк»; 5 – «Застава Караул-Кала»

Fig. 3. Ecological routes and the areas of intensive exogenous processes within the Chereksky section of the Kabardino-Balkarian Reserve.

Areas of the following processes: 1 – nival-gravitational; 2 – avalanche-talus; 3 – fluvial; 4 – proluvial; 5 – landslide; 6 – streams; 7 – glaciers; 8 – tree and shrub vegetation; 9 – swamps; 10 – border of the Kabardino-Balkarian State High-Mountain Reserve; 11 – the state border of Russia; 12 – ecological routes: 1 – the L'kezi River Valley; 2 – the Lekhanovtsek Mount; 3 – the Karasu River Valley; 4 – the Karasu River Mouth – the Shtulu Vostochny Glacier and the Krivosivtsek Pass; 5 – the Karaul-Kala Outpost

В настоящее время в низовьях р. Карасу проложена экологическая тропа «Уштулу» от одноименного гостевого дома до источника минеральной воды Уштулу-гара-суу. Однако возможности местных ландшафтов для организации экологического туризма гораздо шире. Предлагается организовать пять экологических маршрутов. При проектировании экологических троп необходимо учитывать как доступность путешествия по ним туристов без специальной горной подготовки, так и познавательное значение – разнообразие и эстетическую привлекательность ландшафтов, в которых доведется побывать рекреантам. Отличительная особенность местного экологического туризма – возможность наблюдать результаты экстремальных экзогенных процессов – селей, осыпей, камнепадов. Для оценки проходимости маршрутов были рассчитаны длины и уклоны их отдельных участков (см. табл. 4).

Намечая маршруты, мы стремились учесть существующую инфраструктуру и, прежде всего, – автомобильную дорогу А-154 с грунтовым покрытием, строительство которой завершилось в 2017 г. Она протянулась от села Верхняя Балкария, где начинается маршрут и где туристы могут осмотреть развалины древнего поселения, до места выше устья р. Лъкези. На отрезке от Верхней Балкарии до местности Уштулу дорога проложена по правобережью рек Черек Балкарский и Карасу, в основном по старой грунтовой дороге, которая использовалась для обслуживания санатория «Дом колхозника» с грязе- и водолечебницей (прекратили функционировать в 1990-е гг.) на источнике Уштулу-гара-суу и погранзащиты. На дорогу, как и раньше, периодически сходят селевые потоки, а в зимнее время – лавины. Однако поблизости от заброшенного здания санатория выходы подземных углекислых вод каптированы местными жителями, которые продолжают использовать в бальнеологических целях минеральную воду и грязь.

После появления новой автотрассы возросло количество рекреантов, приезжающих на автомобилях к минеральным источникам в выходные дни. Это место, где за минеральными источниками раскинулось горное болото Каширты с редкими видами растений [Шильников и др., 2021], – место обязательной остановки туристов, путешествующих по любому экологическому маршруту. Рекреанты могут останавливаться на двух базах отдыха, построенных в последние годы – на правом берегу р. Метиан-Суу и на левобережной пойме в среднем течении р. Карасу.

Отправной точкой всех разработанных маршрутов мы предлагаем устье р. Карасу – место ее слияния с р. Дыхсу и образования р. Черка Балкарского. Начальный этап, одинаковый для всех маршрутов – от устья р. Карасу до устья р. Лъкези – можно разделить на два участка. Первый, до р. Метиан-Суу, представ-

ляет собой ровный пологий (средний уклон – всего 2,4°) отрезок дороги длиной 2,6 км с перепадом высот 110 м. Второй, более крутой – при протяженности в 4,6 км перепад высот составляет 340 м – начинается с подъема на левый борт долины р. Метиан-Суу, однако средний уклон этого участка не превышает 5,7°.

Долина р. Лъкези. Первый пеший маршрут начинается от ее устья. В самом начале туристы могут осмотреть редкое каскадное высокогорное болото, состоящее из четырех ванн, расположенных на разной высоте, которое отличается эндемичностью. Перепад высот на протяжении маршрута общей длиной 12,4 км составляет 1 км, но наиболее ощутимый набор высоты (270 м) происходит на первом, коротком участке длиной чуть больше 1 км – подъеме со средним углом в 14° от устья р. Лъкези до подножия восточного склона г. Лехановцек. Этот участок – самый разнообразный в ландшафтном отношении – туристы выходят из горно-лесных комплексов, проходят через экотоны с причудливым березовым криволесьем и поднимаются в субальпику. По пути при средней открытости горизонта туристам открываются живописные виды на долину р. Карасу. Этот участок заканчивается тесниной, в которой мощным потоком низвергается река. В эстетическом отношении это пример частично закрытого горизонта, после чего открывается вид на широкую долину Лъкези и горы в ее верховьях.

Наиболее протяженный (7,4 км) и одновременно самый пологий (3,1°) участок – третий, проходит через субальпийские комплексы. С небольшими подъемами и спусками, по тропе вдоль русла р. Лъкези он ведет до морены ледника Штулу Западный и отличается минимальной открытостью горизонта. Последний участок – трехкилометровый подъем непосредственно к леднику – служит для знакомства с приледниковыми ландшафтами. При полуоткрытом горизонте на нем рекреантам открываются альпийские и субнивальные комплексы.

Поход к леднику с часовым отдыхом около него, несколькими краткосрочными привалами и возвращение обратно укладываются с запасом в световой день теплого времени года. Сильное эстетическое воздействие на туристов оказывают «полированные камни» около краевой части ледника и зарождающаяся на глазах река Лъкези, мощное течение которой они видели всего в нескольких километрах от истока.

Гора Лехановцек. Первый участок этого маршрута совпадает с аналогичным при походе в долину Лъкези, однако на заключительной стадии подъема после раздвоения тропы туристы выбирают правую и поднимаются на гору Лехановцек. За пройденные на втором этапе 1150 м пути рекреанты оказываются на 570 м выше первоначальной точки. Средний уклон, таким образом, превышает 26°. Однако подь-

емы на этом маршруте сменяются переходами через ровные обширные залуженные полки. Весь второй этап маршрута отличается открытым горизонтом. В процессе восхождения можно наблюдать незадронутые выпасом, в отличие от долины Лъкези, субальпийские и, выше, – альпийские луга. Непосредственно под вершиной расположена обширная ровная площадка, удобная как для отдыха, так и для старта к самой вершине, взойти на которую психологически важно для многих туристов. После восхождения они оказываются над ледником Агаштан, что дает им возможность при полной открытости горизонта обозреть нивально-гляциальную зону и даже почувствовать «студеное дыхание ледника». Как с вершины, так и с нескольких выположенных лугов открывается прекрасный вид на долину Карасу.

Поскольку крутой спуск с горы требует большей скоординированности действий и осторожности, чем подъем на нее, что усугубляется неподготовленностью многих участников экологических маршрутов. Для возвращения предусмотрен другой путь, более чем вдвое длиннее, но проще для перехода – со средним уклоном чуть больше 11° . В связи с изменением третьего участка маршрута, незначительно изменился и четвертый, ведущий вдоль подножия Лехановцека. Финальный участок повторяет стартовый, поэтому еще раз мы его не рассматриваем. Таким образом, при общем пути в 12,6 км перепад высот составляет 1150 м, что требует больших физических затрат, чем поход по долине Лъкези.

Долина р. Карасу. По автодороге можно подняться до места выше устья р. Лъкези, где заканчивается дорожное полотно. Далее по тропе двигаться пешком вверх по долине до устья реки Метиан-Суу, по пути обозревая субальпийские ландшафты при полузакрытом горизонте. Этот короткий – 2,6 км и легкий (перепад высот – 110 м) маршрут заложен для туристов со средним физическим развитием, дабы дать им возможность тоже пройти экологической тропой, а также как тренировочный участок пути перед другими маршрутами. Познавательная его особенность состоит в возможности видеть контраст между горно-лесным левобережьем Карасу и ее правым берегом, на котором вследствие постоянного выпаса древесная растительность восстановиться не может. Помимо антропогенного влияния, при минимально открытом горизонте, такое положение позволяет увидеть и экспозиционные различия северного и южного берегов.

Ледник Штулу Восточный и перевал Кривосивецк. На особом месте стоит трехдневный маршрут для хорошо подготовленных туристов, проложенный до приледниковой зоны Штулу Восточного на перевал Кривосивецк (Штулу)³. После двух начальных участ-

ков, обязательных для всех предлагаемых маршрутов – «устье Карасу – Метиан-Суу» и «Метиан-Суу – устье Лъкези» – следует самый протяженный (10 км – половина всего пути) и самый пологий (средний уклон – $2,7^\circ$) участок, протянувшийся от места впадения Лъкези в Карасу до морены ледника Штулу Восточный.

Тропа, проложенная по правому берегу Карасу, по этому участку, как и в случае с предыдущим маршрутом, проходит по субальпийским лугам, левобережье также занято горно-лесными комплексами. Однако выше места впадения р. Ахсу, на левом берегу Карасу можно видеть крупные оползни с островами деревьев, сползающих в реку. На последнем отрезке участка туристы проходят через зону альпийских лугов. Этот и последующий участок отличаются частично закрытым горизонтом.

Вход в субнивальную зону ледника Штулу Восточный маркирует начало предпоследнего участка маршрута длиной в 2200 м и место ночлега, которое дает возможность разбить базовый лагерь, откуда на следующий день налегке можно будет выходить на штурм перевала Кривосивецк. Средний уклон тропы здесь достигает почти 9° , а перепад высот составляет 340 м. На этом участке путешественникам предоставляется возможность окунуться в суровую природу высокогорья и подойти к нивальной зоне.

Последний участок, ведущий через субнивальную зону к перевалу Кривосивецк (3326 м) – не только самый короткий (900 м), но и самый крутой на маршруте – его средний уклон составляет $22,3^\circ$, а перепад высот при такой длине достигает 370 м. Перевал Кривосивецк относится к «некатегорийным» [Высокогорные перевалы, 1990; с. 84] и не требует для подъема на него каких-либо альпинистских навыков и специального снаряжения. С перевала открывается вид с полностью открытым горизонтом на высокогорье как Балкарии, так и Дигории.

Застава Караул-кала. В прошлом быт балкарцев был тесно связан со скотоводством, защитой скота и людей от посягательств со стороны чужаков⁴. Такие события вынуждали балкарцев в летний период вы-

³ Допускается также продолжение маршрута и окончание похода в Дигории, в национальном парке «Алания» в Северной Осетии. В таком случае поход занимает три дня с двумя ночевками. Подобный вариант в статье мы не рассматриваем, поскольку она посвящена экологическим маршрутам только по территории Кабардино-Балкарского заповедника.

⁴ Это нашло отражение в фольклоре народа – песнях «Бекмыр-зала», «Къайсынла», «Домалай», «Гапалау» и др., а также в топонимике. Например, местность, расположенная вблизи ледника Безенги, свое название получила в XVII–XVIII вв. после того, как жители Сванетии совершили летний набег на верховья Безенги, когда в кошах оставались пастухи-подростки и старики, мужчины ушли на сенокос. Во время угона скота были убиты два человека, которые оказали сопротивление налетчикам. В результате организованной погони животных вернули, но в память об убитых пастухах местность была названа Мурдар стауат – «стоянка, где совершено убийство» [Къарачай-малкъар фольклор..., 1996].

ставлять на перевалах дозоры и заставы и строить сторожевые посты. Одним из ярких образцов такой заставы является Караул-кала, которая расположена на гребне отрога Главного хребта между урочищами Уштулу и Лькези. Объект представляет собой каменное сооружение прямоугольной формы размером около 5×6 м. Высота стен – в рост среднего человека, здание не перекрыто, из каменных плит по всему периметру для защиты от дождя и снега нависает внутренний карниз шириной до 70 см. В середине расположен очаг, который, вероятно, использовался и для розжига сигнального костра. За стенами находилась коновязь. В двухстах метрах южнее заставы находится озеро площадью около 0,12 га. С места дозора открывается великолепный вид на перевал Гызы-ыфцык (Гезефцек) в Сванетию и на перевал в Дигорское ущелье. Основная часть маршрута проходит по старой скотопроегонной тропе в Сванетию, ведущей через перевал Гезефцек.

Первый участок маршрута повторяет маршрут № 3, второй представляет собою начальный этап участка от устья Карасу до реки Метиан-Суу, завершаясь у южной границы болота Каширты. При протяженности участка чуть меньше 2 км, средний уклон составляет 6,6°, а перепад высот – 220 м, что делает его самым крутым на этом маршруте. Финальный участок длиной 600 м ведет от болота к заставе. Уклон при этом доходит до 4,8°, а перепад высот – 50 м. В природном отношении маршрут начинается в горно-лесном комплексе, а завершается – в субальпийском. Один предложенный маршрут из пяти предлагает поход к историко-культурному объекту – заставе Караул-Кала.

ВЫВОДЫ

1. Современная система ООПТ на Северном Кавказе переживает ослабление природоохранных функций в угоду туризму, что неблагоприятно сказывается на сохранности ландшафтов. Для соблюдения баланса природоохранных задач и рекреационного освоения необходимо обоснование и развитие природосберегающих видов туризма, в первую очередь – экологического.

2. Кабардино-Балкарский высокогорный заповедник отличается высокой сохранностью природных ландшафтов при относительно благоприятной доступности для посещения. Ландшафтная структура

территории контрастна: на небольших пространствах граничат нивально-гляциальные, горно-луговые, горно-лесные и горно-степные ландшафты. Туристов также привлекает сочетание естественных ландшафтов с культурными и объектами культурного наследия: сторожевыми башнями, могильниками, напашными террасами и др. Антропогенная нагрузка и туристические потоки распределяются по территории заповедника неравномерно, оказывая негативное влияние на природную среду.

3. По особенностям природных условий, разнообразию природных ландшафтов и историко-культурных объектов, туристической привлекательности и развитию туристско-рекреационной инфраструктуры на территории заповедника выделены три эколого-туристских района – Чегемский, Безенгийский и Черекский. Наиболее перспективным для организации экологических маршрутов является Черекский район, имеющий важное преимущество для развития туризма – наличие транзитных маршрутов через высокие хребты вне пограничной зоны. Перспективными для экологического туризма видятся маршруты по долинам рек Карасу и Лькези, а также к древней заставе Караул-кала. Каждый из них предполагает демонстрацию высотной поясности, природных объектов и ландшафтов, последствий проявления опасных природных процессов, традиционного природопользования.

4. Проектирование экологических маршрутов проведено, исходя из следующих аспектов: интереса туристов к природным или культурным ландшафтам; познавательности; эстетической привлекательности ландшафта, при которой оценивалась открытость горизонта, расчлененность рельефа, глубина перспективы, панорамы, разнообразие ландшафтных зон; физических кондиций рекреантов, для чего были рассчитаны протяженности отдельных участков маршрутов и их уклоны (последнее особенно важно для горных условий); психологических особенностей пребывания человека в горах.

5. Развитие экологического туризма на территории КБГЗ требует тщательно продуманной стратегии сочетания туризма с природоохранной деятельностью и традиционными формами природопользования, в первую очередь, пастбищным скотоводством.

Благодарности. Исследование проведено в соответствии с государственными заданиями ФГБУН «Институт географии РАН» FMWS 2024-0005 и FMWS 2024-0007.

Авторы признательны заместителю директора ФГБУ «Государственный заповедник “Дагестанский”» З.Г. Магомедовой и специалисту по экологическому просвещению этого заповедника С.С. Ченцовой, заместителю директора по науке ФГБУ «Заповедная Осетия – Алания» К.П. Попову, а также отделу туризма ФГБУ «Кавказский государственный заповедник» за предоставленные данные о посещаемости их ООПТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барышников А.П. Перспектива. 4-е изд., испр. и доп. М.: Искусство, 1955. 200 с.
- Борисова М.В. Мотивы выбора места отдыха в высокогорных и среднегорных ландшафтах Западного Кавказа (на примере верховья Кубани) // Наука. Инновации. Технологии. 2013. № 3. С. 85–90.
- Воскова А.В., Гуня А.Н., Караваев В.А. и др. Землепользование и возможности регулирования антропогенной нагрузки на горные ландшафты Северного макросклона Большого Кавказа (на примере долины р. Карасу) // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13. № 1(47). С. 16–24.
- Высокогорные перевалы / сост. Л.Б. Директор. М.: Профиздат, 1990. 576 с.
- Караваев В.А., Воскова А.В., Гуня А.Н. и др. Экологический туризм в Кабардино-Балкарском высокогорном заповеднике // Материалы Всерос. научно-практич. конференции «Экологический туризм: современные векторы развития». Екатеринбург: Ур. гос. пед. ун-т, 2022. С. 98–103.
- Караваев В.А., Федин А.В., Семиноженко С.С. Новый цикл опасных процессов в высокогорье Центрального Кавказа // Жизнь Земли. 2020. Т. 42. № 2. С. 136–142.
- Къарачай-малкъар фольклор: Хрестоматия (на карач.-балк. языке) / сост. Т.М. Хаджиева. Нальчик: Эль-Фа, 1996. 592 с.
- Плотникова В.С., Васильева А.В. Рекреационная емкость как организационно-экономический инструмент развития экологического туризма на особо охраняемой природной территории // Экономические отношения. 2019. Т. 9. № 3. С. 2191–2202. DOI: 10.18334/eo.9.3.40950.
- Супруненко Ю.П. Горы зовут... М.: Тривант, 2003. 368 с.
- Цепилова Е.С., Айрапетян В.Г. Развитие экологического туризма в Сочинской дестинации в 2022 году – муниципальный год экологии // Сервис в России и за рубежом. 2022. Т. 16. № 3(100). С. 89–100, DOI: 10.24412/1995-042X-2022-3-89-100.
- Шильников Д.С., Ликсакова Н.С., Дорошина Г.Я. и др. Флора и растительность торфяного болота Каширты (Центральный Кавказ) // Экосистемы: экология и динамика. 2021. Т. 5. № 4. С. 58–77.
- Экологический туризм на пути в Россию. Тула: Гриф и К., 2002. 284 с.
- Aseres S.A., Sira R.K. Ecotourism development in Ethiopia: Costs and benefits for protected area conservation, *Journal of Ecotourism*, 2021, vol. 20, no. 3, p. 224–249, DOI: 10.1080/14724049.2020.1857390.
- Beaumont N. The third criterion of ecotourism: are ecotourists more concerned about sustainability than other tourists? *Journal of Ecotourism*, 2011, vol. 10, no. 2, p. 135–148, DOI: 10.1080/14724049.2011.555554.
- Campbell L.M. Ecotourism in rural developing communities, *Annals of Tourism Research*, 1999, vol. 26, no. 3, p. 534–553, DOI: 10.1016/S0160-7383(99)00005-5.
- Carrier J.G., MacLeod D.V.L. Bursting the bubble: The socio-cultural context of ecotourism, *Journal of the Royal Anthropological Institute*, 2005, vol. 11, no. 2, p. 315–334.
- Forje G.W., Tchamba M.N., Eno-Nku M. Determinants of ecotourism development in and around protected areas: The case of Campo Ma'an National Park in Cameroon, *Scientific African*, 2021, vol. 11, p. 663, DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00663.
- Gratzer G., Keeton W.S. Mountain Forests and Sustainable Development: The Potential for Achieving the United Nations' 2030 Agenda, *Mountain Research and Development*, 2017, vol. 37, iss. 3, p. 246–253.
- Gunya A., Gairabekov U., Karaev Y. et al. Post-Soviet Transformations in Pastoral Systems in the North Caucasus: The Development of Hybrid Institutions, *Mountain Research and Development*, 2019, no. 39(4), p. 49–59, DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00047.1.
- Gunya A., Lysenko A., Lysenko I. et al. Transformation of Nature Protection Institutions in the North Caucasus: From a State Monopoly of Governance to Multi-Actor Management, *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 2, p. 12145, DOI: 10.3390/su132112145.
- Mondino E., Beery T. Ecotourism as a learning tool for sustainable development. The case of Monviso Transboundary Biosphere Reserve, Italy, *Journal of Ecotourism*, 2018, vol. 18, no. 2, p. 107–121.
- Ramírez F., Santana J. *Environmental Education and Ecotourism*, Cham, Springer International Publ., 2019, 59 p., DOI: 10.1007/978-3-030-01968-6.
- Sanjay K. Nepal. Mountain Ecotourism and Sustainable Development, *Mountain Research and Development*, 2022, vol. 22, iss. 2, p. 104–109.
- Электронные ресурсы**
- Более 490 тысяч туристов посетило Тебердинский заповедник. URL: <https://countryscanner.ru/490-tysyach-turistov-posetilo-teberdinskiy-zapovednik/> (дата обращения 20.03.2024).
- ГОСТ Р 56642-2015. Экологический туризм. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124943/> (дата обращения 28.08.2023).
- Государственный заповедник «Дагестанский». URL: <https://dagzapoved.ru/> (дата обращения 01.04.2024).
- Государственный заповедник «Утриш». URL: <https://utrishgppz.ru/docs> (дата обращения 11.03.2024).
- Заповедная Осетия-Алания. URL: <https://alaniazapoved.ru/> (дата обращения 01.04.2024).
- Кабардино-Балкарский высокогорный государственный заповедник. URL: <https://zapovednik-kbr.ru/> (дата обращения 01.04.2024).
- Минприроды РФ назвало самые популярные нацпарки и заповедники 2023 года. URL: <https://otr-online.ru/news/minprirody-rf-nazvalo-samye-populyarnye-nacparki-i-zapovedniki-2023-goda-227620.html> (дата обращения 23.03.2024).
- Особо охраняемые природные территории и объекты России. URL: (<https://www.mnr.gov.ru/activity/oopt/>) (дата обращения 21.12.2023).
- Тебердинский национальный парк. URL: <https://tgbpbz.ru/> (дата обращения 01.04.2024).
- Федеральный закон «Об особо охраняемых природных территориях» от 14.03.1995 № 33-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/ (дата обращения 14.12.2023).
- Число посетителей Кавказского заповедника в 2022 году превысило рекорд 2021 года. URL: <https://www.>

kavkazzapoved.ru/news/chislo-posetiteley-kavkazskogo-zapovednika-v-2022-godu-prevysilo-rekord-2021-goda (дата обращения 11.03.2024).

Экотуризм в России вырос на 40%. Какие регионы, заповедники и нацпарки России вошли в ТОП-10 в 2022 году? URL: <https://www.atorus.ru/node/50962> (дата обращения 23.03.2024).

Поступила в редакцию 21.12.2023
После доработки 13.04.2024
Принята к публикации 26.06.2024

ASSESSMENT OF THE STATE AND PROSPECTS OF ECOLOGICAL TOURISM WITHIN THE TERRITORY OF THE KABARDINO-BALKAR HIGH-MOUNTAIN RESERVE

V.A. Karavaev¹, A.N. Gunya², M.I. Akkiev³, A.V. Voskova⁴

^{1,2} *Institute of Geography RAS*

³ *Kabardino-Balkar High-Mountain State Nature Reserve*

⁴ *Genplan Institute of Moscow, SPA "Ecology"*

¹ *Laboratory of Geomorphology, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: karavaev@igras.ru*

² *Department of Physical Geography and Problems of Environmental Management, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: a.n.gunya@igras.ru*

³ *Deputy Director for Research, Environmental Education and Educational Tourism, Ph.D. in Biology; e-mail: taukaplan@mail.ru*

⁴ *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: avoskova@yandex.ru*

Ecotourism in specially protected natural areas (SPNA) located in the mountains seems very promising due to their natural diversity and aesthetic attraction power. While planning ecological routes in such places, it is necessary to take into account the functioning of natural mountain landscapes, the priority of their environmental role and the combination of tourism with traditional types of environmental management. There are 16 protected areas in the mountainous part of the Northern Caucasus; each of them faces the task of both nature conservation and the development of sustainable tourism, which is the most effective in the form of ecotourism. The Kabardino-Balkar State High Mountain Reserve is among the most typical ones and has high potential for the development of ecological tourism. Three ecological and tourist areas were identified within the reserve, differing in natural conditions, landscape diversity and area, number and value of cultural-historical objects, touristic attractiveness and the quality of recreation infrastructure. The western Chereksy section, bordering North Ossetia, is the most promising for the development of ecological tourism and the construction of ecological trails. Five ecological routes are proposed for it, namely along the Karasu river valley, along the L'kezi river valley, to the Lekhanovtsek Mount, to the Krivosivtsek Pass and to the ancient outpost of Karaul-Kala. Four of them are one-day trips for moderately prepared tourists and one is a three-day trip for well-prepared tourists, accompanied by an instructor. Each route involves demonstrating altitudinal zones, natural monuments, the effects of hazardous natural processes and traditional environmental management; they also have good landscape viewing points. To preserve the ecological potential of the territory, it is necessary to control grazing, recreation and tourism. Reasoning of specific indicators and their quantitative values is a primary practical task that can be solved by systematizing empirical data on the impact of tourism on the natural landscapes.

Keywords: ecological route, tourism, mountain landscape, nature reserve, environmental management, ecotourist area

Acknowledgements. The study was carried out under the state tasks of the Institute of Geography RAS FMWS 2024-0005 and FMWS 2024-0007. The authors are grateful to Z.G. Magomedova, Deputy Director of the Dagestansky state reserve, and S.S. Chentsova, specialist on environmental education of the same reserve, to K.P. Popov, Deputy Director on Research of the Zapovednaya Osetiya-Alaniya institution, and to the Department of Tourism of the Kavkazsky state reserve for data on the number of visitors.

REFERENCES

Aseres S.A., Sira R.K. Ecotourism development in Ethiopia: Costs and benefits for protected area conservation,

Journal of Ecotourism, 2021, vol. 20, no. 3, p. 224–249, DOI: 10.1080/14724049.2020.1857390.

- Baryshnikov A.P. *Perspectiva* [Perspective], Moscow, Iskustvo Publ., 1955. 200 p. (In Russian)
- Beaumont N. The third criterion of ecotourism: are ecotourists more concerned about sustainability than other tourists? *Journal of Ecotourism*, 2011, vol. 10, no. 2, p. 135–148, URL: <https://doi.org/10.1080/14724049.2011.555554>.
- Borisova M.V. Motivy vybora mesta otdykha v vysokogornyykh i srednegornyykh landshaftakh Zapadnogo Kavkaza (na primere verkhov'ya Kubani) [Motives for choosing a vacation spot in the high-mountain and mid-mountain landscapes of the Western Caucasus (case study of the upper reaches of the Kuban River)], *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*, 2013, no. 3, p. 85–90. (In Russian)
- Campbell L.M. Ecotourism in rural developing communities, *Annals of Tourism Research*, 1999, vol. 26, no. 3, p. 534–553, URL: [https://doi.org/10.1016/S0160-7383\(99\)00005-5](https://doi.org/10.1016/S0160-7383(99)00005-5).
- Carrier J.G., MacLeod D.V.L. Bursting the bubble: The socio-cultural context of ecotourism, *Journal of the Royal Anthropological Institute*, 2005, vol. 11, no. 2, p. 315–334.
- Ekologicheskiiy turizm na puti v Rossiyu* [Ecological tourism on the way to Russia], Tula, Grif and K° Publ., 2002, 284 p. (In Russian)
- Gratzer G., Keeton W.S. Mountain Forests and Sustainable Development: The Potential for Achieving the United Nations' 2030 Agenda, *Mountain Research and Development*, 2017, vol. 37, iss. 3, p. 246–253.
- Gunya A., Gairabekov U., Karaev Y. et al. Post-Soviet Transformations in Pastoral Systems in the North Caucasus: The Development of Hybrid Institutions, *Mountain Research and Development*, 2019, no. 39(4), p. 49–59, DOI: 10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00047.1.
- Gunya A., Lysenko A., Lysenko I. et al. Transformation of Nature Protection Institutions in the North Caucasus: From a State Monopoly of Governance to Multi-Actor Management, *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 2, p. 12145, DOI: 10.3390/su132112145.
- Karachayevsko-Balkarskiy fol'klor. Khrestomatiya* [Karachay-Balkar folklore. Reader], T.M. Khadzhiya (comp.), Nal'chik, El-Fa Publ., 1996, 592 p. (in Karachay-Balkar)
- Karavaev V.A., Voskova A.V., Gunya A.N., Bulanov S.A. [Ecological tourism in the Kabardino-Balkarian high-mountain reserve], *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologicheskiiy turizm: sovremennyye vektory razvitiya"* [Materials of the All-Russian scientific and practical conference "Ecological tourism: modern vectors of development"], Ekaterinburg, April 26–29, 2022, Ekaterinburg, Ural state pedagogical Universitet Publ., 2022, p. 98–103. (In Russian)
- Karavayev V.A., Fedin A.V., Seminozhenko S.S. Novyy tsikl opasnykh protsessov v vysokogor'ye Tsentral'nogo Kavkaza [A new cycle of hazardous processes in the highlands of the Central Caucasus], *Life of the Earth*, 2020, vol. 42, no. 2, p. 136–142. (In Russian)
- Mondino E., Beery T. Ecotourism as a learning tool for sustainable development. The case of Monviso Transboundary Biosphere Reserve, Italy, *Journal of Ecotourism*, 2018, vol. 18, no. 2, p. 107–121.
- Plotnikova V.S., Vasilyeva A.V. Rekreatsionnaya yomkost kak organizatsionno-ekonomicheskyy instrument razvitiya turizma na osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriyakh [Recreational capacity as an organizational and economic tool for the development of ecological tourism in a specially protected natural area], *Economicheskije otnosheniya*, 2019, vol. 9, no. 3, p. 2191–2202. DOI: 10.18334/eo.9.3.40950. (In Russian)
- Ramírez F., Santana J. Environmental Education and Ecotourism, Cham, Springer International Publ., 2019, 59 p., DOI: 10.1007/978-3-030-01968-6.
- Sanjay K. Nepal. Mountain Ecotourism and Sustainable Development, *Mountain Research and Development*, 2022, vol. 22, iss. 2, p. 104–109.
- Shil'nikov D.S., Liksakova N.S., Doroshina G.Y.A., Shchukina K.V. Flora i rastitel'nost' torfyanogo bolota Kashirty (Tsentral'nyy Kavkaz) [Flora and vegetation of the Kashirty peat bog (Central Caucasus)], *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2021, vol. 5, no. 4, p. 58–77. (In Russian)
- Suprunenko Yu.P. *Gory zovut...* [The mountains are calling...], Moscow, Trovant Publ., 2003, 368 p. (In Russian)
- Tsepilova Ye.S., Ayrapetyan V.G. Razvitiye ekologicheskogo turizma v Sochinskoy destinatsii v 2022 godu – munitsipal'nyy god ekologii [Development of ecological tourism in the Sochi destination in 2022 – the municipal year of ecology], *Servis v Rossii i za rubezhom*, 2022, vol. 16, no. 3(100), p. 89–100, DOI: 10.24412/1995-042X-2022-3-89-100. (In Russian)
- Voskova A.V., Gunya A.N., Karavaev V.A., Maryinskikh D.M. Zemlepol'zovaniye i vozmozhnosti regulirovaniya antropogennoy nagruzki na gornyye landshafty Severnogo makrosklona Bol'shogo Kavkaza (na primere doliny r. Karasu) [Land use and possibilities for regulating anthropogenic load on mountain landscapes of the Northern macroslope of the Greater Caucasus (case study of the Karasu River valley)], *Ustoychivoye razvitiye gornyykh territoriy*, 2021, vol. 13, no. 1(47), p. 16–24. (In Russian)
- Vysokogornyye perevaly* [High mountain passes], L.B. Director (comp.), Moscow, Profizdat Publ., 1990, 576 p. (In Russian)
- Web sources*
- Bolee 490 tysyach turistov posetilo Teberdinskii zapovednik [More than 490 thousand tourists visited the Teberda Reserve], URL: <https://countryscanner.ru/490-tysyach-turistov-posetilo-teberdinskiy-zapovednik/> (date of access 20.03.2024).
- Chislo posetitelei Kavkazskogo zapovednika v 2022 godu prevysilo rekord 2021 goda [The number of visitors to the Caucasian Reserve in 2022 exceeded the record of 2021], URL: <https://www.kavkazzapoved.ru/news/chislo-posetiteley-kavkazskogo-zapovednika-v-2022-godu-prevysilo-rekord-2021-goda> (date of access 11.03.2024).
- Ekoturizm v Rossii vyiros na 40%. Kakiye regiony, zapovedniki i natsparki Rossii voshli v TOP-10 v 2022 godu? [Ecotourism in Russia has grown by 40%. Which regions, nature reserves and national parks of Russia are included in the TOP 10 in 2022?], URL: <https://www.atorus.ru/node/50962> (date of access 23.03.2024).
- Federal'nyi zakon "Ob osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriyakh" ot 14.03.1995 № 33-FZ [Federal Law "On Specially Protected Natural Areas" dated March 14, 1995 no. 33-FZ], URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/ (date of access 14.12.2023).
- GOST R 56642-2015. Ekologicheskiiy turizm [Ecological tourism. General requirements], URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124943/> (date of access 28.08.2023).

- Gosudarstvennyi zapovednik "Utrish" [State Reserve "Utrish"], URL: <https://utrishgpz.ru/docs> (date of access 11.03.2024).
- Gosudarstvennyi zapovednik Dagestanskii [Dagestan State Reserve], URL: <https://dagzapoved.ru/> (date of access 01.04.2024).
- Kabardino-Balkarskiy vysokogornyi gosudarstvennyi zapovednik [Kabardino-Balkarian High Mountain State Reserve], URL: <https://zapovednik-kbr.ru/> (date of access 01.04.2024).
- Ministerstvo prirodnih resursov Rossiiskoi Federatsii nazvalo samuie populiarnuie natsionalnuie parki i zapovedniki v 2023 godu [The Ministry of Natural Resources of the Russian Federation has named the most popular national parks and reserves in 2023], URL: <https://otr-online.ru/news/minprirody-rf-nazvalo-samyie-populyarnyie-nacparki-i-zapovedniki-2023-goda-227620.html> (date of access 23.03.2024).
- Osobo okhranyayemye prirodnyye territorii i ob'yekty Rossii (OOPT) [Specially nature protection areas and objects of Russia (SNPA)], URL: <https://www.mnr.gov.ru/activity/oopt/> (date of access 21.12.2023). (In Russian)
- Teberdinskiy natsional'nyi park [Teberda National Park], URL: <https://tgpbz.ru/> (date of access 01.04.2024).
- Zapovednaia Osetia – Alania [Zapovednaya Ossetia – Alania], URL: <https://alaniazapoved.ru/> (date of access 01.04.2024).

Received 21.12.2023

Revised 13.04.2024

Accepted 26.06.2024

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ИНОСТРАННЫХ СТУДЕНТОВ В РОССИИ

Н.А. Щитова¹, Ю.Ф. Зольникова², И.А. Соловьев³, В.С. Белозеров⁴

¹⁻⁴ *Северо-Кавказский федеральный университет, высшая школа географии и геоинформатики, кафедра социально-экономической географии*

¹ *Проф., д-р геогр. наук; e-mail: stavgeo@mail.ru*

² *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: zolnst@mail.ru*

³ *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: soloivan@mail.ru*

⁴ *Зав. кафедрой, д-р геогр. наук; e-mail: vsbelozerov@yandex.ru*

В условиях нарастания рисков в демографическом развитии России привлечение иностранных студентов в высшие учебные заведения рассматривается как важный ресурс пополнения человеческого капитала. В статье проанализированы динамика и география студентов-иностранцев в России. Раскрыты основные тенденции распределения иностранных студентов по странам выбытия, выявлена территориальная дифференциация регионов России по приему иностранных студентов. Престижность российских университетов достаточно высока для выходцев из стран Азии и Африки. География миграционного потока в столичных и крупных региональных вузах довольно разнообразна, в небольших региональных вузах преобладают иностранные студенты из одной страны. В региональные вузы поступают студенты с менее высокими баллами по сравнению со столичными университетами. Прослеживается увеличение доли иностранных студентов в периферийных университетах.

На основе данных, собранных в ходе фокус-групп и нарративных интервью в нескольких российских университетах, установлены страновые особенности мотивации принятия решения при выборе России для получения образования, пути и формы протекания адаптационных процессов, возможные траектории жизненного пути после завершения обучения. Анализ эмпирического материала позволил выявить пять основных поведенческих моделей адаптации иностранных студентов с учетом стран выхода, формирующиеся на основе их повседневного опыта и практик взаимодействия с принимающим сообществом. Наиболее перспективны в качестве «демографического ресурса» студенты из стран Центральной Азии. Экспертный опрос методом полуструктурированного интервью сотрудников университетов, работающих с иностранными студентами в шести регионах России, помог уточнить основные проблемы адаптации иностранных студентов и определить пути их решения. К наиболее острым проблемам отнесены плохая языковая подготовка и низкий уровень навыков межкультурной коммуникации.

Ключевые слова: образовательная миграция, адаптационно-поведенческие модели, посылающая страна, фокус-группа

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.12

ВВЕДЕНИЕ

Образовательная, в частности студенческая, иммиграция является важным ресурсом демографического развития многих стран мира. Российские исследователи отмечают, что образовательная миграция может не только приносить доходы, но и быть драйвером регионального развития, компенсировать демографические потери населения в условиях нарастающей в стране депопуляции [Рязанцев и др., 2019; Рязанцев, 2019; Соловьев и др., 2021; Ростовская, Васильева, 2023].

Иностранные выпускники высших учебных заведений достаточно легко интегрируются в принимающие сообщества, становясь их полноценными членами. Одновременно развитие образовательной миграции может способствовать снижению геополитических рисков в плане действия механизмов народной дипломатии и содействовать распространению гуманистических ценностей и практик культурного взаимодействия и сотрудничества между народами.

В последнее десятилетие отмечается рост численности иностранных студентов в российских вузах, среди которых преобладают выходцы из стран Центральной Азии, Ближнего Востока и Африки, т. е. стран с расширенным типом воспроизводства населения и высокой долей молодежи. Иммиграция иностранных студентов после получения высшего образования может рассматриваться в качестве значимого источника пополнения демографического потенциала России. В связи с этим важно понимать, выпускники каких стран наиболее предпочтительны, какими качествами они должны обладать, что может

их привлекать в России, какие меры селективной миграционной политики следует применять и т. п. Поиск решения поставленных проблем требует детального анализа процессов формирования адаптационных поведенческих моделей образовательных мигрантов, способствующих их интеграции в российскую среду.

Иностранные студенты для России – явление не новое. В составе СССР Россия принимала на обучение студентов из стран Латинской Америки, Африки и Азии. В период с 1960 по 1992 г. в вузах, НИИ, ПТУ и техникумах в СССР было подготовлено более 40,5 тыс. дипломированных специалистов для африканских стран, расположенных южнее Сахары [Арефьев, Максименко, 2018]. В 1960 г. был открыт Университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, который стал главным центром обучения иностранных студентов. К концу советского периода СССР занимал третьем место в мире по количеству иностранных студентов, уступая только США и Франции [Салин, Юшков, 2019]. Основой для общения между представителями разных стран и жителями Советского Союза был русский язык. Круг общения иностранных студентов, обучавшихся в учебных заведениях Советского Союза, был весьма широк, и межкультурное взаимодействие происходило достаточно интенсивно [Салин, Юшков, 2019; Бекленищева, 2021; Шумилова, 2022].

Однако масштабы и география студенческой миграции в современной России носят принципиально иной характер и существенно отличаются, в связи с чем усиливается исследовательский интерес российских ученых к данной проблематике. Рассматриваются общие вопросы образовательной, в том числе студенческой, миграции, основные тенденции развития международного рынка образовательных услуг и учебной миграции в мире и России. С.В. Рязанцев и др. предлагают определение академической мобильности, основанное на широком подходе, как совокупность установок и готовности к перемещению с целью получения образования, повышения квалификации и научно-образовательной деятельности [Рязанцев, 2019]. Многие российские исследователи анализируют роль глобализации в развитии студенческой миграции, ее влияние на социально-экономические процессы принимающих стран [Мичурина, Фотина, 2019; Таишева, 2020]. Ряд исследований посвящены выявлению пространственных особенностей образовательной миграции в России [Соловьев и др., 2021; Гусейн-заде, Деревянченко, 2021; Сопнев, Соловьев, 2022; Лебедева, 2024]. Довольно популярна проблематика студенческой иммиграции в странах мира. Внимание зарубежных ученых сосредоточено на исследовании мотивов выбора страны обучения,

действию выталкивающих и притягивающих факторов, социокультурной адаптации [Lee, 2019; Стриелковски и др., 2020; Chen et al., 2023].

Развитие образовательной миграции идет на фоне новых вызовов глобального характера, в связи с этим важно понимать основные современные тенденции формирования образовательных миграционных потоков в Россию и их распределения по регионам страны. Очевидно, что в России имеются студенты практически из всех субрегионов мира (рис. 1), однако устойчивые связи сложились только с некоторыми странами. Можно предположить, что к настоящему времени наметилась своеобразная образовательно-миграционная система между Россией и рядом конкретных посылающих стран.

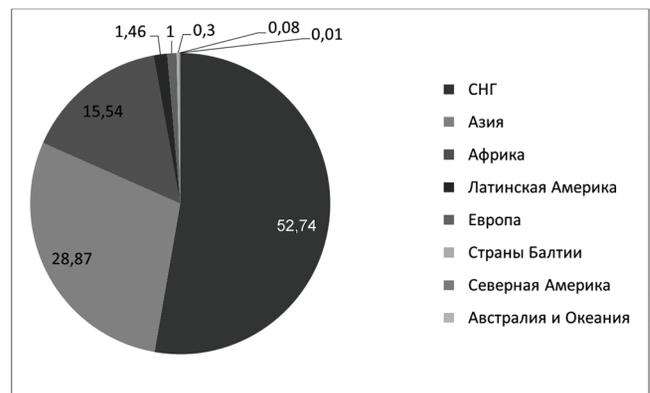


Рис. 1. Доля иностранных студентов в России по субрегионам мира в 2022 г., %.

Источник: составлено авторами по данным МВД РФ

Fig. 1. The share of foreign students in Russia by sub-regions of the world v 2022, %.

Source: compiled by the authors Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation

Одновременно особую остроту приобретает проблема адаптации иностранных студентов. В советское время публикаций на эту тему не было, но в последние годы такие работы появляются. В.С. Белозеров и др. на основе анализа адаптации студентов в Северо-Кавказском федеральном университете отмечают, что принимающая сторона должна быть заинтересована в успешной адаптации иностранных студентов с последующей возможной их полноценной интеграцией в российский социум. По их мнению, одной из ключевых проблем полноценной адаптации является языковой барьер. Студенты, преодолевшие языковые сложности, активно развивают свои коммуникативные навыки в русскоязычной студенческой аудитории, преодолевают негативные психологические установки, становятся полноценными участниками образовательного процесса и внеучебных отношений [Белозеров и др., 2017]. В исследовании З.Ф. Хаджаева предлагается

акцентировать внимание руководства университетов на разработку мер, направленных на успешную социокультурную адаптацию иностранных студентов [Хаджаев, 2019]. В работе Н.С. Мухаметшиной и др. подчеркивается, что технологии социальной адаптации, как правило, включают этнокультурные мероприятия, интернациональные клубы, союзы иностранных студентов. Межкультурные мероприятия и ассоциации как наиболее востребованный формат социокультурной адаптации иностранных студентов способствуют преодолению взаимной отчужденности, «налаживанию контактов», в конечном итоге – снижению напряженности [Мухаметшина и др., 2021]. Е.С. Скляр, проанализировав социальную адаптацию иностранных студентов в российском регионе (на примере Ульяновской области), отмечает, что успех реализации намеченных целей студентами-иностранцами во многом зависит не только от профессионального выбора, но и от их адаптации к новой социальной среде и культуре, при этом он выделяет несколько этапов в развитии адаптационных процессов: 1) «медовый месяц»; 2) «культурный шок»; 3) принятие [Скляр, 2023].

Проблемы адаптации иностранных студентов достаточно давно пристально исследуются зарубежными учеными. Обзор теоретических подходов к изучению адаптации иностранных студентов, выполненный чилийскими учеными на основе анализа статей из библиографических баз данных Web of Science и Scopus с 2012 по 2017 г., показал, что большинство авторов рассматривают социокультурную адаптацию как наиболее важную, опираясь на интеракционистскую теорию, при этом преобладают два основных типа объяснительных моделей – модель аккультурации и рамочная модель ABC [Sarmiento et al., 2019].

Модели аккультурации при всем их разнообразии нацелены на исследование взаимодействия и взаимовлияния мигрантов и принимающих сообществ. Выявлены четыре основные аккультурационные стратегии: интеграция, сепарация, ассимиляция и маргинализация [Лепшокова, 2022].

Модель ABC была разработана американским психологом А. Эллисом для понимания патологических поведенческих реакций в психотерапевтической практике. Выделяют три исследовательских этапа. Прежде всего анализируют активирующую ситуацию, в которой находится (или попадает) исследуемый и которая «запускает» реактивные (а в случае с миграцией – адаптационные) механизмы (А). Затем рассматривают сложившиеся убеждения и представления, которые могли повлиять на этот процесс (В), и, как следствие, возникающие при этом поведенческие паттерны (С).

Имеются примеры конкретных эмпирических исследований адаптации студентов в разных странах мира. К. Матера, М.А. Катания на основе анкетирования аспирантов в Италии изучили связь между метастереотипами иностранных студентов и их межгрупповыми намерениями и адаптацией в принимающей стране [Matera, Catania, 2021]. А. Еркен, Л.А. Нгуен Луу на основе полуструктурированных интервью изучали опыт академической адаптации иностранных студентов из постсоветских стран в Венгрии и выявили, что иностранные студенты рассматривают Венгрию как «транзитную» страну, прожив в которой можно в будущем обучаться или работать в других западных странах [Yerken, Nguyen Luu, 2022].

В большинстве отечественных и зарубежных авторов проблема адаптации иностранных студентов рассматривается с точки зрения обусловленности адаптационных процессов нормативами и культурными особенностями принимающей страны, вне зависимости от географической принадлежности студентов. Однако работ, направленных на выявление различий в адаптационном поведении студентов из разных стран, не обнаружено.

В данном исследовании выдвигается предположение о том, что характер, пути и способы адаптации иностранных студентов различаются в зависимости от социокультурных и природных особенностей страны выбытия. Это и определило его основную цель – выявить специфику и проблемы адаптации студентов из различных стран в России на примере университетов разного типа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационную основу исследования составили данные официальной статистики МВД России за 2016–2022 гг., материалы социологического исследования, проведенного на базе четырех российских университетов разного типа: столичных (Московский государственный университет, Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева), федерального многопрофильного (Северо-Кавказский федеральный университет), регионального (Карачаево-Черкесский государственный университет) в апреле-сентябре 2022 г. и направленного на выявление особенностей адаптации иностранных студентов. Исследование выполнялось методами фокус-групп и нарративных интервью. Всего было проведено 4 фокус-группы, сформированных на основе принадлежности к стране выбытия, – из Таджикистана, Узбекистана, Туркменистана и смешанная группа студентов из стран Юго-Западной Азии и Африки (Египет, Ирак, Иран, Габон, Гана и др.). В каж-

дой группе присутствовали студенты разных направлений подготовки и разных курсов. Численность одной фокус-группы составляла 8–10 человек, продолжительность беседы – около 50 мин. Фокус-группы проводились под руководством двух исследователей – модератора и ассистента, который вел аудиозапись, фиксируя эмоциональный фон, особенности поведения респондентов. Была разработана схема беседы, включающая пять групп вопросов: мотивация выбора страны обучения; уровень знания иностранных, в частности русского, языков; проблемы взаимодействия с природно-социокультурным региональным пространством; проблемы взаимодействия во внутривузовской среде; планы на будущее. Кроме этого, было проведено 12 нарративных интервью с представителями Узбекистана (3 чел.), Туркменистана (3 чел.), Таджикистана (2 чел.), Сирии (1 чел.), Габона (1 чел.), Чада (1 чел.), Китая (1 чел.).

Одновременно проведено 10 полуструктурированных экспертных интервью в семи регионах РФ (Москва, Смоленская, Белгородская, Воронежская, Ростовская области, Ставропольский край, Карачаево-Черкесская Республика). В качестве экспертов выступали преподаватели, работающие с иностранными студентами.

Эмпирический материал был с помощью метода неполной индукции интегрирован в виде дескриптивных поведенческих моделей, описывающих адаптационные особенности иностранных студентов в свободном формате

Содержание ключевого понятия исследования «адаптация» многозначно и многомерно. В последние годы оно получило широкое распространение и включено в арсенал разных научных дисциплин – философии, экономики, социологии, физиологии, психологии [Белозеров и др., 2017; Баранов, 2017; Адаптация..., 2022; Скляр, 2023]. В данной работе под адаптацией иностранных студентов понимается процесс усвоения ими образцов поведения и социальных норм, позволяющих с разной долей успешности существовать и действовать в принимающем университетском и региональном сообществах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

География студенческой иммиграции в России. Россия является одним из мировых лидеров по объемам образовательной иммиграции. По данным исследовательского проекта Project Atlas, в 2022 г. Россия занимала 6-е место, уступая США, Великобритании, Канаде, Франции и Австралии [Майер, 2023].

По данным МВД РФ, с 2016 по 2022 г. число иностранных студентов выросло в 2,1 раза, достигнув почти 870 тыс. чел. (рис. 2). Положительная динамика за последние семь лет была прервана только в первый год пандемии ковида (2020), когда образовательный поток сократился более чем в 2,6 раза. Однако уже в следующем году, в условиях ослабления ограничительных мер произошло восстановление объемов студенческой иммиграции в России почти до уровня «доковидного» 2019 г.

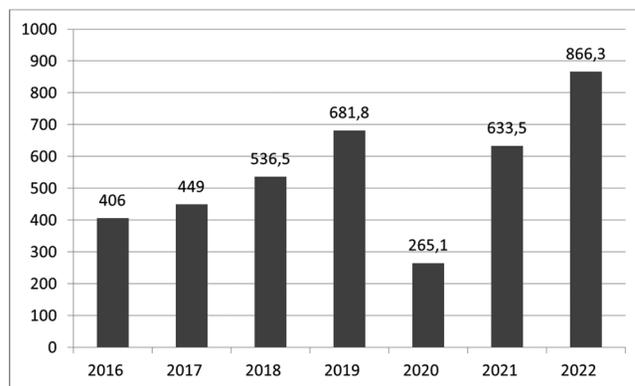


Рис. 2. Международная образовательная миграция в России, тыс. чел.

Источник: составлено авторами по данным МВД РФ

Fig. 2. International educational migration in Russia, thousand people. Source: compiled by the authors Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation

Географическое пространство студенческой иммиграции в России имеет центр-периферийную организацию. Явно выраженный центр включает соседские страны первого и второго порядков. В полупериферию входят страны Юго-Западной и Южной Азии, Северной Африки, остальной мир представляет периферию. До 2016 г. первые два места по объемам иностранных студентов России делили между собой Казахстан и Китай, 3-е место занимали вначале Украина, позже – Узбекистан. В «ковидный период» Китай уходит на 5-е место, лидируют Таджикистан, Казахстан и Узбекистан, их догоняет Туркменистан. Сохраняется присутствие иностранных студентов из арабских стран, Индии, Афганистана, Вьетнама, ряда африканских стран, расположенные южнее Сахары.

В 2016–2019 гг. в первую двадцатку стран-реципиентов входили некоторые высокоразвитые страны, в том числе США, Германия, Франция, что явилось результатом активизации межвузовских связей и академической мобильности. К настоящему времени в силу известных причин эти процессы свернуты, численность студентов резко сократилась и, по всей видимости, стремится к нулевым значениям.

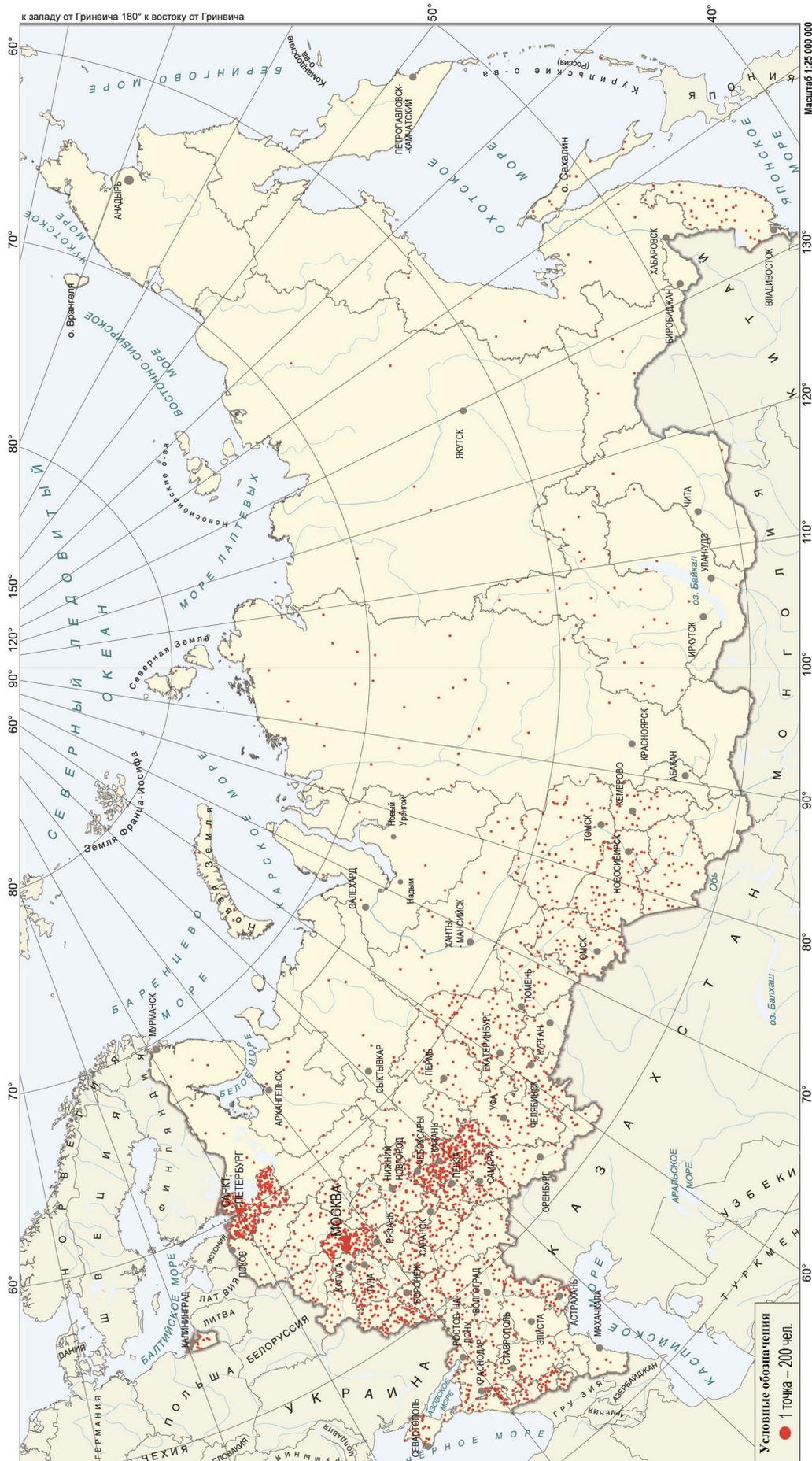


Рис. 3. Распределение иностранных студентов по территории России в 2021 г., чел. *Источник:* составлено авторами по данным МВД РФ

Fig. 3. Distribution of foreign students across Russia in 2021, person. *Source:* compiled by the authors Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation

По территории России иностранные студенты также размещены неравномерно. Их присутствие обнаружено во всех субъектах РФ, однако наибольшая концентрация прослеживается в Москве (16,5%), Санкт-Петербурге и Ленинградской области (10,8%), Татарстане (6,5%), Московской (4,4%) и Свердловской (3,1%) областях. Значимые центры по обучению иностранных студентов сформировались в Башкортостане, Чувашии, Белгородской, Новосибирской и Томской областях (около и более 2%). На долю остальных регионов России приходится менее половины всех иностранных студентов, обучающихся в стране (рис. 3).

Еще более неравномерно распределены студенты из разных стран по университетам России. В зависимости от профилей подготовки вуза, экономических потребностей стран-доноров, миграционной политики университета и других факторов структура иностранных студентов достаточно разнообразна. Выделяется три типа университетов по характеру географии миграционного потока. В столичных университетах присутствуют студенты из самых разных стран, их структура максимально разнообразна, в крупных региональных университетах географическое разнообразие сочетается с доминированием одной или нескольких стран, а в небольших региональных или узкопрофильных вузах преобладают студенты из какой-то одной страны (рис. 4).

При этом в небольших университетах доля иностранных студентов выше, чем в многопрофильных. Так, в Карачаево-Черкесском государственном

университете доля иностранцев составляла в 2022 г. 29%, а в «предковидный» 2019 г. – 46%, в то время как в государственном Санкт-Петербургском университете – 19%, а в Северо-Кавказском федеральном университете – около 6%. По нашему мнению, за счет наиболее интенсивного привлечения иностранцев региональный вуз решает проблемы набора студентов на бюджет и привлечения дополнительных финансовых средств за счет коммерческого набора.

В региональных вузах сформировались каналы поставок иностранных студентов из определенных стран, что связано с особенностями их миграционной политики, конфессиональной и лингвистической близостью посылающих и принимающих обществ, социально-экономическими проблемами отдающих стран. Например, Карачаевск привлекателен для туркменских студентов, в том числе в связи с конфессиональной и лингвистической близостью.

В половозрастной структуре иностранных студентов преобладают лица мужского пола, причем половой диспаритет выше в региональных вузах и может превышать 60%, что, видимо, связано с гендерным неравенством в трудовой сфере и положением женщин в консервативных (особенно мусульманских) обществах. В этнической структуре ожидаемо преобладают представители титульных народов бывших советских республик, и прежде всего стран Центральной Азии (узбеки, таджики, туркмены, казахи). Наибольшая доля русскоязычных соотечественников обучаются в столичных вузах.

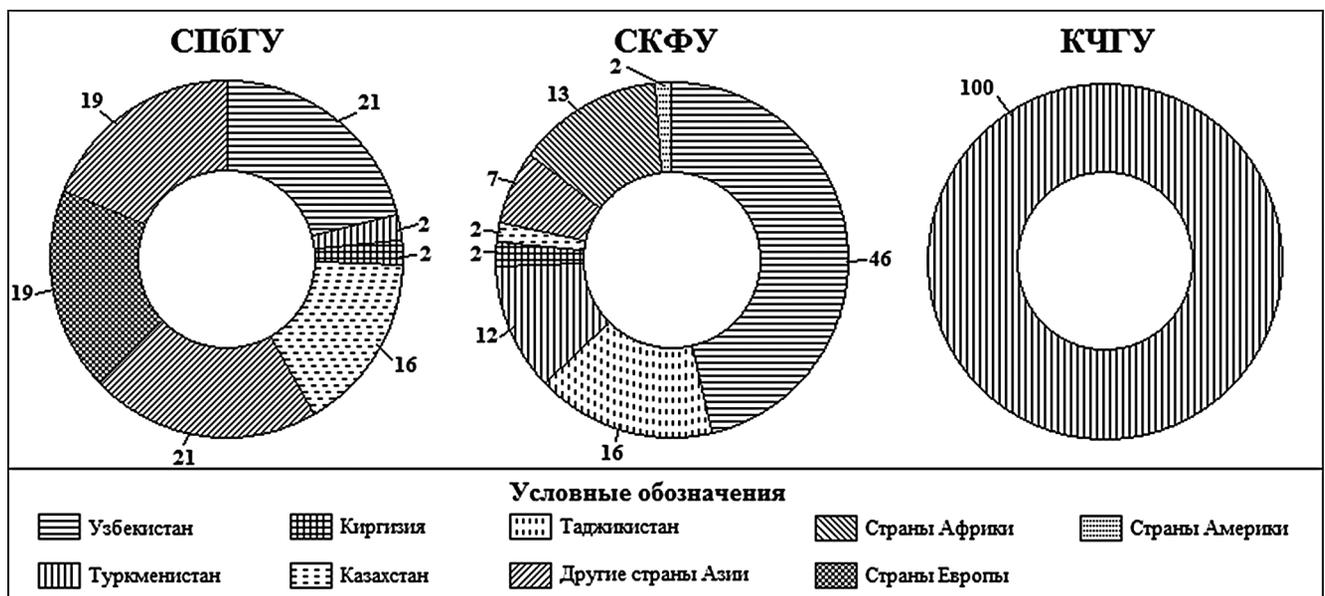


Рис. 4. Распределение иностранных студентов в российских университетах, %. Источник: составлено авторами по данным массового опроса иностранных студентов в 2022 г.

Fig. 4. Distribution of foreign students in Russian universities, %. Source: compiled by the authors based on data from a massive survey of international students 2022

В конфессиональной структуре лидируют мусульмане и христиане. Среди мусульман преобладают сунниты, а христиан – православные. Небольшой процент студентов исповедуют католицизм, буддизм и др.

Адаптация иностранных студентов в России.

Мотивация выбора России в качестве страны для получения образования достаточно однообразна. Преобладают прагматические и утилитарные мотивы. Для студентов из Центральной Азии главной причиной является перспектива учиться на бюджете. Для большинства из них это еще и возможность получения зарубежного образования без значительных усилий по преодолению лингво-культурных барьеров. Так, студенты из Таджикистана, делая выбор между Китаем, Южной Кореей и Россией, выбирали Россию. У студентов из Туркменистана других вариантов зарубежного обучения вообще не было. Не последнюю роль играет и материальный фактор. Некоторые студенты отмечали, что учиться в России дешевле. Одновременно студенты из Узбекистана указывали на престижность высшего образования, более высокие конкурентные преимущества у лиц с высшим образованием на рынке труда. Среднее профессиональное образование в ряде центральноазиатских стран высоко не ценится, хотя и более доступно. Кроме того, получение высшего образования на родине осложнено рядом обстоятельств. В вузах мало бюджетных мест, высокий конкурс, преобладают коммерческие формы обучения. Перед поступлением необходимы дополнительные расходы на платные курсы у репетиторов. При поступлении в российские вузы большинство этих барьеров сняты. Образовательная миграция является реальным каналом более быстрой и успешной легализации в России для молодых соотечественников. Южные города (в частности, Ставрополь, Карачаевск) привлекают образовательных мигрантов теплым климатом и одновременно более низкой конкуренцией по сравнению с Москвой или Санкт-Петербургом. Студенты отмечали, что им не хватило баллов для поступления в столичные российские вузы. Зачастую выбор университета студентами из стран Центральной Азии обусловлен активной довузовской работой (через Россотрудничество). В течение последнего десятилетия в российских вузах сложилась определенная система работы с этими государствами. Представители университетов посещают республиканские школы, привлекая школьников к участию в разнообразных довузовских мероприятиях, олимпиадах и т. п. Так, например, в СКФУ около половины всех иностранных студентов составляют студенты из Узбекистана (преимущественно из Самарканда). Сформировалось своеобразное трансстрановое со-

общество образовательных мигрантов разных поколений. Будущие абитуриенты еще до переезда в Россию неплохо осведомлены об условиях проживания в городе и обучения в университете. Присутствие земляков существенно облегчает их адаптацию в дальнейшем.

Для студентов из дальнего зарубежья главными побудительными мотивами выбора являлись престижность российского диплома, комфортность социокультурной среды (отсутствие расизма), невысокая стоимость жизни. Важными аргументами предпочтения конкретного вуза являлись структура подготовки и набор специальностей. Так, например, выбор Северо-Кавказского федерального университета был определен предложением обучения по «программе 2+2», совмещающей преподавание вначале на английском, а затем на русском языке по востребованной для этих стран специальности «Нефтегазовое дело». В других университетах (Москва, Ростов-на-Дону) таких программ не было. Китайские студенты выбирают столичные или крупные региональные университеты. Главный мотив – экономический, более низкая стоимость образования. При этом они достаточно прагматично анализируют соотношение «цена – качество», выбирая наиболее престижные университеты с высоким рейтингом.

Знание русского языка у студентов неодинаково. Лучше всех (в общей массе) владеют русским языком студенты из Таджикистана и Узбекистана. Кроме того, среди них немало соотечественников, для которых русский является родным языком. В этих странах (особенно в больших городах) часты смешанные межэтнические браки, в таких семьях говорят на русском языке, дети учатся в русских школах. Хуже обстоит ситуация со знанием русского языка у тех, кто учился в национальных школах, их лексический минимум позволяет общаться на бытовом уровне, но не достаточен для полноценного обучения по вузовским программам. Значительно хуже владеют русским языком студенты из Туркменистана, несмотря на то что в местных школах его изучают как иностранный. Некоторые из них признавались, что на младших курсах они почти не понимали преподавателей. Вместе с тем многие отмечали, что родители хорошо знают русский язык, но в семье им не пользуются: «...Говорим на туркменском языке даже с русскими соседями». Около половины информантов из Туркменистана указывали, что знаний языка им не хватает даже на бытовом уровне, приходится использовать различные переводческие ресурсы, обращаться за помощью к одноклассникам.

Самыми активными в лингвистическом отношении оказались таджики, большинство из которых изучают другие (преимущественно, восточные) языки: китайский, корейский, турецкий, афганский.

Знают турецкий язык и некоторые туркмены. Знание английского языка – на уровне российских студентов.

Студенты из арабских и африканских стран русского языка при поступлении не знали, изучали его на подготовительных курсах и продолжают изучать в процессе освоения специальности, что дается им непросто. Типичные ответы: «Могу говорить, но сложно писать, путаюсь в падежах, окончаниях», «Сложно, но сейчас могу говорить», «На занятиях сейчас более-менее понятно, что говорят». В ряде стран (Египте, Иране, Гане) есть центры по изучению русского языка, но очень немногие из поступивших в университет их посещали, т. е. заранее они не планировали учиться в России. Английский язык изучали все, но большинство владеют им на школьном, недостаточном для обучения по специальности уровне. Хотя для отдельных студентов английский или французский (для бывших колоний в зависимости от страны) является вторым языком. Следует отметить, что африканские студенты более старательно изучают русский язык, по сравнению с арабскими, и к концу первого семестра языковая проблема у них, практически, снимается. Китайские студенты (особенно в последние годы) знают русский язык намного лучше, многие освоили его уже на родине. Большинство из них неплохо владеют и английским языком.

Для иностранных студентов имеется возможность посещения курсов русского языка, психолога, но далеко не все пользуются этими возможностями, ссылаясь на занятость и нехватку времени. Проживают иностранные студенты компактно и часто отдельно от русских. При этом многие жалуются на недостаток внеучебного общения на русском языке.

Внешнее социальное окружение оценивается всеми студентами в основном как вполне комфортное. Конфликты на этнической или расовой почве на улицах, в различных общественных местах не отмечаются. Часто (преимущественно в периферийных городах) горожане проявляют интерес к иностранцам, расспрашивают об их странах, помогают решить какие-то проблемы. У многих иностранных студентов среди россиян есть друзья и знакомые. Вместе с тем некоторые приводили примеры проявления недоброжелательного отношения. Почти все конфликты связаны с обучением и взаимодействиями с преподавателями университета. Студент из Ганы рассказывал о жестком отношении к нему и его соотечественникам: «Преподаватели говорят, если не можешь учиться, что ты тут делаешь, уезжай. Не все выдерживают, иногда бросают учебу». Студент из Таджикистана жаловался: «Ходил каждый день к преподавателю, чтобы сдать дисциплину, так и не сдал. Пошел за помощью в междуна-

родный отдел. Они помогли перевестись в другой институт».

О проблеме несовпадения культурных и поведенческих кодов в университетской среде размышлял студент из Габона. Он указывал на то, что из Африки приезжают достаточно взрослые студенты, но молодые преподаватели не всегда учитывают этот факт и относятся к ним без должного уважения, что для африканцев неприемлемо. Межнациональные противоречия между студентами крайне редки. Дружеские отношения возникают между однокурсниками и студентами других вузов, но чаще между согражданами. Именно они помогают с учебной, с другими проблемами. Особенно тесные связи характерны для студентов из Таджикистана и Туркменистана, которые объединяются в земляческие сообщества, создают группы в социальных сетях.

Планы на будущее не вполне конкретны. Практически все зарубежные соотечественники и значительная часть иностранных студентов из Центральной Азии хотели бы остаться в России и получить второе гражданство. Несколько сложнее делать выбор студентам из Узбекистана, поскольку им нельзя иметь двойное гражданство. Некоторые амбициозно настроенные студенты (особенно с направлений подготовки в IT) надеются уехать в страны Европы или в США.

Многие туркменские студенты не исключают возможность остаться в России, но большинство планируют уехать на родину, в основном в столицу, где после подтверждения диплома постараются трудоустроиться по профессии. Вместе с тем почти все не спешат завершить свое обучение, стремятся пройти полный образовательный цикл и поступить в магистратуру. Российское гражданство их не привлекает, максимально возможный вариант для них – получение РВП.

У студентов дальнего зарубежья главный мотив выбора будущей жизненной траектории – высокая заработная плата и карьерный рост, при этом страна проживания не имеет значения. Те из них, кто успешно овладевает профессией, комплексом неспециализированных ключевых компетенций, видят свое будущее в собственной стране. В Европу или в другие развитые страны большая часть иностранных студентов из арабских стран или стран Африки не стремятся, понимая свою невысокую конкурентоспособность там. Китайские студенты ориентированы на возвращение на родину. Типичное мнение для туркменских студентов: «Все мои родные там, здесь меня никто не сможет поддержать. Я мог бы завести семью, но не хочется». Очень немногие подумывают о переезде в Европу, но для этого им надо уехать вначале в Турцию, а потом уже в страны ЕС.

Экспертный опрос сотрудников университетов, работающих с иностранными студентами, позволил уточнить основные проблемы, связанные с подготовкой иностранных студентов и их адаптацией и определить пути их решения.

Наиболее острыми проблемами, по мнению экспертов, явились:

- недостаточное знание русского языка студентами из стран дальнего зарубежья (кроме Китая) и Республики Туркменистан;

- низкая мотивация к обучению (кроме китайцев), особенно для студентов из Туркменистана и арабских стран;

- пропуски занятий в связи с подработками (студенты из стран ближнего зарубежья);

- сложности с освоением специальной терминологии;

- нехватка времени на учебных занятиях;

- несоответствие почасовой нагрузки, выделяемой на подготовку к занятиям, и реальными временными затратами;

- отсутствие специальных технологий формирования у иностранных студентов операционно-коммуникативных компетенций для дискуссионного общения.

Преподаватели считают, что подготовка иностранных студентов должна носить несколько иной характер. Необходима перестройка образовательных программ, внедрение специфических образовательных технологий и др. Был предложен ряд мер по оптимизации процесса обучения иностранных студентов:

- усиление языковой подготовки за счет расширения деятельности дополнительных курсов и подготовительных факультетов;

- увеличение разнообразия форм и методов получения информации в области истории и географии России;

- усиление наглядности в преподавании, применение новых форм обучения (например, аудиозаписи учебного материала; создание терминологических словарей на иностранных языках);

- изменение подхода к формированию учебной нагрузки при работе с иностранными студентами.

Поведенческие модели адаптации иностранных студентов в университетах России. Интегральный анализ всего собранного материала позволил выделить пять адаптационно-поведенческих моделей, отражающих страновую специфику и включающих пять основных параметров:

- уровень знания иностранных языков (в частности, русского как страны прибытия);

- отношение к учебе;

- решение материальных проблем;

- особенности выстраивания отношений в университетской среде;

- планы на будущее.

Представленные модели в некоторой степени соответствуют предлагаемой зарубежными авторами рамочной модели ABC и отражают наиболее общие социально-когнитивные особенности в связи со страновым культурным контекстом. Переезд в другую страну для получения образования соответствует активирующей ситуации, а предыдущий опыт проживания в своей стране, в ходе которого сформировались определенные представления о наиболее оптимальных формах поведения, рассматривается как важный фактор влияния на адаптационные практики.

Активно-деятельностная модель формируется под преобладающим влиянием индивидуально-психологических факторов и встречается среди представителей всех стран. Студенты высоко мотивированы к учебе, активному участию во внеучебной деятельности, обладают выраженными лидерскими качествами, часто занимают различные общественно-административные должности (например, старосты группы, председателя студенческих объединений и т. п.). Такая модель характерна для большинства соотечественников, а также лиц более старших возрастных категорий, поэтому ее реализуют многие студенты из африканских стран южнее Сахары. В этих странах молодые люди традиционно поздно получают первоначальное школьное образование и приезжают в Россию уже в достаточно зрелом возрасте. Большинство из них старательно изучают и неплохо владеют русским языком, на хорошем уровне знают другие языки (английский, французский и др.). Иногда совмещают учебу с работой, выбирая более квалифицированные или престижные виды деятельности (репетиторство, работа в университетских структурах). Планы на будущее у них амбициозны, часто связаны с политической карьерой. Одни стремятся вернуться в свою страну, делая ставку на реализацию высоких конкурентных преимуществ, другие выбирают траектории, связанные с надеждой на успех в развитых странах (например, США). Планов остаться в России, как правило, не имеют (за исключением студентов из числа соотечественников).

Модель повышенной мотивации овладения знаниями характерна для студентов из Китая, которые хорошо владеют русским языком за счет предварительного изучения на родине, часто неплохо знают английский язык. Очень дисциплинированы, ответственно и скрупулезно относятся к выполнению всех заданий, отличаются добросовестностью и усидчивостью. Занятия не пропускают. Подработки или совмещение работы с учебой не распространены, главный источник материального обеспечения – помощь родителей. Проявляется умеренная корпоративная солидарность. В отношениях с рос-

сийским студентами сдержанно-доброжелательны. Ориентированы на возвращение домой.

Диаспорально-корпоративная (с ориентацией на интеграцию и открытость по отношению к внешней среде) модель широко представлена среди студентов из Таджикистана и Узбекистана. В отношениях с внешней средой преобладают открытость, доброжелательность, неконфликтность. Студенты объединяются в группы по типу землячества вне зависимости от направлений подготовки, курсов обучения и т. п., в которых складывается определенная аутентичная гендерно-возрастная иерархия и система взаимопомощи. Кто-то (обычно свободно владеющие русским языком) выступает в качестве «переговорщиков» с преподавателями, управленцами, официальными лицами для решения тех или иных проблем, кто-то помогает в учебе (иногда не бесплатно), девушки выполняют традиционно «женскую» работу. Уровень знания русского языка неплохой, много выходцев из смешанных семей, лиц, окончивших русские школы или даже этнических русских. На школьном уровне владеют и другими иностранными языками, чаще английским, но некоторые студенты (особенно таджики) изучают языки стран Азии. Почти все подрабатывают, используя даже самые непрестижные вакансии (кассир или грузчик в сетевых магазинах, подсобный рабочий на стройке, таксист). Активно общаются с российскими студентами, гостеприимны и доброжелательны. Планы на будущее довольно разнообразны, но преобладают иммиграционные настроения, рассматривается, как наиболее вероятная иммиграция в Россию.

Диаспорально-корпоративная (с преобладанием изоляционистских тенденций) модель наиболее ярко представлена у студентов из Туркменистана. В целом она напоминает предыдущую модель, но отличается более замкнутым характером и осторожным отношением к внешнему окружению. Уровень знания иностранных языков низкий (в том числе и русского), иногда почти нулевой. Большинство не настроены на иммиграцию в Россию.

Деадаптивная модель наиболее часто встречается у студентов из арабских стран. Плохо владеют русским языком (как и другими иностранными языками), но не прилагают усилий к их овладению и получению новых знаний. Некоторые (чаще девушки) не выдерживают, уезжают недоучившись. Однако большинство продолжают независимую жизнь, плохо посещают занятия, не участвуют в мероприятиях, но разными путями умудряются (освоив «правила игры») и хорошо понимая слабые стороны российской образовательной системы, спекулируя на теме необходимости социокультурной поддержки иностранных студентов) получать положительные оценки и в итоге документы о высшем образовании. Часто

это студенты из обеспеченных семей, которые учатся на платной основе и не нуждаются в подработках. Планы на будущее у них достаточно расплывчаты, но, как правило, они не думают остаться в России.

ВЫВОДЫ

В российском секторе мирового образовательного пространства доминирует азиатское и африканское направления в сочетании с низкими объемами учебных потоков из высоко развитых стран Запада и географически удаленных стран, что позволяет описывать его формирование в терминах центрально-периферийной и гравитационной моделей пространственного развития.

Региональные особенности распределения иностранных студентов в России также «вписываются» в контекст центрально-периферийных закономерностей. Вместе с тем в последние десять лет иммиграционное студенческое пространство России переформируется за счет расширения ареала с повышенной (более 2%) долей иностранных студентов и активизации иммиграционной политики региональных вузов.

В целом для российского образовательного пространства характерны следующие особенности глобального и регионально-локального уровней.

1. Высокие темпы роста числа иностранных студентов за счет стран Центральной Азии. Выстраивается политика по укреплению собственной российской ниши образовательных услуг за счет более гибкой ценовой политики, предоставлению ряда льгот иностранным студентам, активизации университетских управленческих инициатив.

2. Трансформация внутристранового пространства студенческой иммиграции с акцентом на поляризацию и формирование новых центров притяжения студентов, активное вовлечение мелких периферийных вузов.

Гипотеза исследования о том, что способы адаптации иностранных студентов различаются в зависимости от особенностей страны выбытия, частично подтвердилась, и выявленные модели имеют «страновую окраску». Престиж российских университетов достаточно высок для молодежи из ряда стран Азии и Африки. Наиболее перспективным демографическим ресурсом для России могут стать студенты из стран Центральной Азии.

3. Сравнение полученных данных с результатами исследований, проведенных в некоторых других странах [Стриелковски, 2020; Matera, Catania, 2021; Yerken, Nguyen Luu, 2022], показывает, что в ряде случаев наблюдаются существенные различия в адаптации иностранных студентов, связанные с социокультурными особенностями и нормативными требованиями страны прибытия. Однако этот аспект требует отдельного, более детального изучения.

Благодарность. Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22-27-00186 «Иммиграция студенческой молодежи в Россию в условиях затяжного демографического кризиса: стратегии и модели адаптации и интеграции».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арефьев А.Л., Максименко А.Ф. Африка как перспективный поставщик студентов на мировой рынок образования (опыт обучения африканцев в СССР и РФ) // Образование и наука в России: состояние и потенциал развития. 2018. № 3. С. 409–415.
- Баранов А.С. Мигранты-студенты и студенты-мигранты: адаптация инокультурных мигрантов в российских вузах // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2017. № 11-2(30). С. 83–88.
- Бекленищева М.В. Иностранцы студенты в советских вузах в 1940–1980-е гг.: проблемы адаптации и взаимодействия (на материалах Свердловской области) // Человеческий капитал. 2021. № 4(148). С. 42–57. DOI: 10.25629/НС.2021.04.03.
- Белозеров В.С., Щитова Н.А., Чихичин В.В. и др. Иностранцы студенты на Северном Кавказе: региональные различия и проблемы адаптации (на примере Северо-Кавказского федерального университета) // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 4. С. 79–92.
- Гусейн-заде Р.Г., Деревянченко А.А. Иностранцы студенты в российских вузах // Знание. Понимание. Умение. 2021. № 1. С. 139–156. DOI: 10.17805/zpu.2021.1.10.
- Лебедева Т.В. Особенности современной международной образовательной иммиграции в российских регионах // Проблемы развития территории. 2024. Т. 28. № 1. С. 132–146. DOI: 10.15838/ptd.2024.1.129.9.
- Лепшюкова З.Х. Взаимная аккультурация мигрантов и принимающего населения: модели, методики, ключевые исследования и вызовы // Социальная психология и общество. 2022. Т. 13. № 2. С. 55–73. DOI: 10.17759/sps.2022130205.
- Мичурина Ф.З., Фотина О.В. Тенденции образовательной миграции в составе конструктивных направлений развития высшей школы // Географический вестник. 2019. № 2(49). С. 56–66. DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-56-66.
- Адаптация и интеграция мигрантов в России: вызовы, реалии, индикаторы / В.И. Мукомель и др. М.: ФНИСЦ РАН, 2022. 400 с. DOI: 10.19181/monogr.978-5-89697-407-9.2022.
- Мухаметишина Н.С., Костюкова Е.И., Паренькова О.Р. Социальная адаптация иностранных студентов: опыт российских вузов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Исторические науки. 2021. Т. 3. № 4. С. 44–51. DOI: 10.37313/2658-4816-2021-3-4-44-51.
- Ростовская Т.К., Васильева Е.Н. Привлечение в вузы образовательных мигрантов: обзор институциональных ресурсов // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2023. Т. 16. № 5. С. 230–246. DOI: 10.15838/esc.2023.5.89.13.
- Рязанцев С.В. Видит ли миграционная политика России человека? (Антропологическое измерение российской миграционной политики) // Вестник Томского государственного университета. История. 2019. № 59. С. 167–177. DOI: 10.17223/19988613/59/22.
- Рязанцев С.В., Ростовская Т.К., Скоробогатова В.И., Безвербный В.А. Международная академическая мобильность в России: тенденции, виды, государственное стимулирование // Экономика региона. 2019. Т. 15. Вып. 2. С. 420–435. DOI: 10.17059/2019-2-9.
- Салин П.Б., Юшков И.В. Советский опыт работы с иностранными студентами: геополитический аспект // Вестник Финансового университета. Гуманитарные науки. 2019. № 9(6). С. 14–17. DOI: 10.26794/2226-7867-2019-9-6-14-17.
- Скляр Е.С. Уровень и характер социокультурной адаптации иностранных студентов в российском регионе // Известия ТулГУ. Гуманитарные науки. 2023. № 3. С. 152–164. DOI: 10.24412/2071-6141-2023-3-152-164.
- Соловьев И.А., Фрайер П.Дж., Щитова Н.А. и др. Пространственный анализ международной студенческой иммиграции в России // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27. № 4. С. 402–414. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-402-414.
- Сопнев Н.В., Соловьев И.А. Картографическое обеспечение исследования территориальных особенностей студенческой иммиграции в России // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. Ч. 2. С. 126–145. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-126-145.
- Стриелковски В., Киселева Л.С., Синева А.Ю. Тенденции международной образовательной миграции (на примере Финляндии) // Интеграция образования. 2020. Т. 24. № 1. С. 32–49. DOI: 10.15507/1991-9468.098.024.202001.032-049.
- Ташиева В.В. Образовательная миграция в смысловом пространстве политической науки: обзор теоретических подходов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Политология. 2020. Вып. 22. № 3. С. 367–386. DOI: 10.22363/2313-1438-2020-22-3-367-386.
- Хаджаев З.Ш. Образовательная иммиграция в Россию: сущность и проблемы адаптации // Миграция как ресурс социально-экономического и демографического развития: сб. статей. Серия «Демография. Социология. Экономика». 2019. Т. 5. № 3. С. 380–386.
- Шумилова А.С. Формирование и развертывание системы иностранных студентов в вузах Советского Союза // Журнал российских исследований. 2022. № 7. С. 53–65. DOI: 10.48068/rusad.1126681.
- Chen M., Howell J., Smith J. Best and brightest? The impact of student visa restrictiveness on who attends college in the US, *Labour Economics*, 2021, vol. 84, 70 p. DOI: 10.1016/j.labeco.2023.102385.
- Lee C.S. Global linguistic capital, global cultural capital: International student migrants in China's two-track international education market, *International Journal of Educational Development*, 2019, vol. 67, p. 94–102.
- Matera C., Catania M.A. Correlates of international students' intergroup intentions and adjustment: The role of metastereotypes and intercultural communication apprehension, *International Journal of Intercultural Relations*, 2021, vol. 82(1), p. 288–297, DOI: 10.1016/j.ijintrel.2021.04.011.

- Sarmiento A.V., Pérez M.V., Bustos C. et al. Inclusion profile of theoretical frameworks on the study of sociocultural adaptation of international university students, *International Journal of Intercultural Relations*, 2019, vol. 70, p. 19–41. DOI: 10.1016/j.ijintrel.2019.02.004.
- Yerken A., Nguyen Luu L.A. A stepping stone to the “West”: Academic adaptation of international students from post-Soviet countries in Hungary, *International Journal of Intercultural Relations*, 2022, vol. 89, p. 183–194, DOI: 10.1016/j.ijintrel.2022.06.005.
- Электронный ресурс
Майер А. Россия заняла шестое место в мире по числу иностранных студентов. URL: <https://www.vedomosti.ru/society/articles/2023/03/13/966139-rossiya-zanyala-6-e-mesto-po-chislu-inostrannih-studentov> (дата обращения 22.03.2023).

Поступила в редакцию 18.04.2024

После доработки 05.05.2024

Принята к публикации 26.06.2024

GEOGRAPHICAL FEATURES OF FOREIGN STUDENTS' ADAPTATION IN RUSSIA

N.A. Shchitova¹, Ju.F. Zolnikova², I.A. Soloviev³, V.S. Belozero⁴

¹⁻⁴North Caucasian Federal University, Graduate School of Geography and Geoinformatics,
Department of Socio-Economic Geography

¹Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: stavgeo@mail.ru

²Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: zolnst@mail.ru

³Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: soloivan@mail.ru

⁴Head of the Department, D.Sc. in Geography; e-mail: vsbelozero@yandex.ru

In the face of growing risks in Russia's demographic situation, the attraction of foreign students to higher education institutions is seen as an important resource for replenishing the human capital. The article analyzes the dynamics and geography of the origin of foreign students in Russia. It reveals the main trends in the distribution of foreign students by sending countries, as well as the territorial disparity of Russian regions in terms of foreign students' enrollment. The prestige of Russian universities is quite high for natives of Asian and African countries.

The geography of migration flow in metropolitan and large regional universities is quite diverse. However, in smaller regional universities, foreign students from one country prevail. Regional universities enroll students with lower school-leaving examination' scores compared to metropolitan universities. An increasing share of foreign students in regional universities is obvious.

Based on the data collected during focus groups and narrative interviews in several Russian universities, the country specifics of decision-making in choosing Russia for education were identified, as well as the ways and forms of adaptation processes and possible trajectories of life after graduation. The analysis of the empirical material made it possible to identify five main behavioral models of international students' adaptation. The models took into account countries of origin, daily experience and social interaction with the host community. The most promising “demographic resource” is students from the Central Asian countries. An expert survey based on semi-structured interview of university staff working with international students in six regions of Russia allowed clarifying the main problems and identifying ways to solve them. The hottest challenges of foreign students' adaptation are poor language proficiency and inadequate intercultural communication skills.

Keywords: migration for study purposes, adaptive behavior models, sending country, focus group

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (project No 22-27-00186 “Immigration of student youth to Russia the protracted demographic crisis: adaptation and integration strategies and models”).

REFERENCES

- Adaptaciya i integraciya migrantov v Rossii: vyzovy, realii, indikatorny* [Adaptation and integration of migrants in Russia: challenges, realities, indicators], V.I. Mukomel' et al. (avt.), Moscow, FNSC RAS Publ., 2022, 400 p. (In Russian)
- Aref'ev A.L., Maksimenko A.F. Afrika kak perspektivnyj postavshhik studentov na mirovoj rynek obrazovanija (opyt obuchenija afrikancev v SSSR i RF) [Africa as a promising supplier of students to the world education market (the experience of teaching Africans in the USSR and the Russian Federation)], *Obrazovanie i nauka v Rossii: sostojanie i potencial razvitiya*, 2018, no. 3, p. 409–415. (In Russian)
- Baranov A.S. Migranty-studenty i studenty-migranty: adaptacija inokul'turnyh migrantov v rossijskikh vuzah [Migrant students and student migrants: adaptation of foreign cultural migrants in Russian universities], *Uchenye*

- zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 11–2(30), p. 83–88. (In Russian)
- Beklenishheva M.V. Inostrannye studenty v sovetskikh vuzah v 1940–1980-e gg.: problemy adaptatsii i vzaimodejstviya (na materialah Sverdlovskoj oblasti) [Foreign Students in Soviet Universities in the 1940s–1980s: Problems of Adaptation and Interaction (Based on Materials from the Sverdlovsk Region)], *Chelovecheskij kapital*, 2021, no. 4(148), p. 42–57, DOI: 10.25629/HC.2021.04.03. (In Russian)
- Belozеров V.S., Shhitova N.A., Chihichin V.V., Solov'ev I.A. Inostrannye studenty na Severnom Kavkaze: regional'nye razlichija i problemy adaptatsii (na primere Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta) [Foreign Students in the North Caucasus: Regional Differences and Problems of Adaptation (on the example of the North Caucasian Federal University)], *Nauka. Innovacii. Tehnologii*, 2017, no. 4, p. 79–92. (In Russian)
- Gusejn-zade R.G., Derevyanchenko A.A. Inostrannye studenty v rossijskikh vuzah [International students in Russian universities], *Znanie. Ponimanie. Umenie*, 2021, no. 1, p. 139–156, DOI: 10.17805/zpu.2021.1.10. (In Russian)
- Lebedeva T.V. Osobennosti sovremennoj mezhdunarodnoj obrazovatel'noj immigratsii v rossijskikh regionah [Features of modern international educational immigration in Russian regions], *Problemy razvitiya territorii*, 2024, vol. 28, no. 1, p. 132–146, DOI: 10.15838/ptd.2024.1.129.9. (In Russian)
- Lepshokova Z.Kh. Vzaimnaya akkul'turatsiya migrantov i primamayushchego naseleniya: modeli, meto-diki, klyucheveye issledovaniya i vyzovy [Mutual acculturation of migrants and the host population: models, methods, key studies and challenges], *Social'naya psihologiya i obshchestvo*, 2022, vol. 13, no. 2, p. 55–73, DOI: 10.17759/sps.2022130205. (In Russian)
- Michurina F.Z., Fotina O.V. Tendencii obrazovatel'noj migratsii v sostave konstruktivnyh napravlenij razvitiya vysshej shkoly [Educational migration trends as part of constructive directions in the development of higher education], *Geographical bulletin*, 2019, no. 2(49), p. 56–66, DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-56-66. (In Russian)
- Muhametshina N.S., Kostyukova E.I., Paren'kova O.R. Social'naya adaptatsiya inostrannykh studentov: opyt rossijskikh vuzov [Social adaptation of foreign students: the experience of Russian universities], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. Istoricheskie nauki*, 2021, vol. 3, no. 4, p. 44–51, DOI: 10.37313/2658-4816-2021-3-4-44-51. (In Russian)
- Rostovskaya T.K., Vasil'eva E.N. Privlechenie v vuzy obrazovatel'nykh migrantov: obzor institucional'nykh resursov [Attracting educational migrants to universities: an overview of institutional resources], *Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz*, 2023, vol. 16, no. 5, p. 230–246, DOI: 10.15838/esc.2023.5.89.13. (In Russian)
- Rjazancev S.V. Vidit li migracionnaja politika Rossii cheloveka? (Antropologicheskoe izmerenie rossijskoj migracionnoj politiki) [Does Russia's migration policy see a person? (Anthropological dimension of Russian migration policy)], *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Istorija*, 2019, no. 59, p. 167–177, DOI: 10.17223/19988613/59/22. (In Russian)
- Rjazancev S.V., Rostovskaja T.K., Skorobogatova V.I., Bezverbnij V.A. Mezhdunarodnaja akademicheskaja mobil'nost' v Rossii: tendencii, vidy, gosudarstvennoe stimulirovanie [International Academic Mobility in Russia: Trends, Types, State Stimulation], *Jekonomika regiona*, 2019, vol. 15, vyp. 2, p. 420–435, DOI: 10.17059/2019-2-9. (In Russian)
- Salin P.B., Jushkov I.V. Sovetskij opyt raboty s inostrannymi studentami: geopoliticheskij aspekt [Soviet experience of working with foreign students: a geopolitical aspect], *Vestnik Finansovogo universiteta. Gumanitarnye nauki*, 2019, no. 9(6), p. 14–17, DOI: 10.26794/2226-7867-2019-9-6-14-17. (In Russian)
- Sklyarov E.S. Uroven' i karakter sociokul'turnoj adaptatsii inostrannykh studentov v rossijskom regione [The level and nature of socio-cultural adaptation of foreign students in the Russian region], *Izvestiya TulGU. Gumanitarnye nauki*, 2023, no. 3, p. 152–164, DOI: 10.24412/2071-6141-2023-3-152-164. (In Russian)
- Solov'ev I.A., Frajer P.D., Shhitova N.A., Belozеров V.S. Prostranstvennyj analiz mezhdunarodnoj studencheskoj immigratsii v Rossii [Spatial analysis of international student immigration in Russia], *InterKarto. InterGIS*, 2021, vol. 27, no. 4, p. 402–414, DOI: 10.35595/2414-9179-2021-4-27-402-414. (In Russian)
- Sopnev N.V., Solov'ev I.A. Kartograficheskoe obespechenie issledovaniya territorial'nykh osobennostej studencheskoj immigratsii v Rossii [Cartographic support for the study of territorial features of student immigration in Russia], *InterKarto. InterGIS*, 2022, vol. 28, ch. 2, p. 126–145, DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-126-145. (In Russian)
- Strielkovski V., Kiseleva L.S., Sinyova A.Yu. Tendencii mezhdunarodnoj obrazovatel'noj migratsii (na primere Finlyandii) [Trends in international educational migration (using the example of Finland)], *Integratsiya obrazovaniya*, 2020, vol. 24, no. 1, p. 32–49, DOI: 10.15507/1991-9468.098.024.202001.032-049. (In Russian)
- Taisheva V.V. Obrazovatel'naja migratsiya v smyslovom prostranstve politicheskoi nauki: obzor teoreticheskikh podhodov [Educational migration in the semantic space of political science: a review of theoretical approaches], *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov, Seriya: Politologiya*, 2020, vyp. 22, no. 3, p. 367–386, DOI: 10.22363/2313-1438-2020-22-3-367-386. (In Russian)
- Hadzhaev Z.Sh. Obrazovatel'naya immigratsiya v Rossii: su-shchnost' i problemy adaptatsii [Educational immigration to Russia: the essence and problems of adaptation], *Migratsiya kak resurs social'no-ekonomicheskogo i demograficheskogo razvitiya, Seriya "Demografiya. Sociologiya. Ekonomika"*, 2019, vol. 5, no. 3, p. 380–386. (In Russian)
- Shumilova A.S. Formirovanie i razvertyvanie sistemy inostrannykh studentov v vuzah Sovetskogo Sojuza [Formation and deployment of a system of foreign students in the universities of the Soviet Union], *Zhurnal rossijskikh issledovanij*, 2022, no. 7, p. 53–65, DOI: 10.48068/rusad.1126681. (In Russian)
- Chen M., Howell J., Smith J. Best and brightest? The impact of student visa restrictiveness on who attends college in the US, *Labour Economics*, 2021, vol. 84, 70 p., DOI: 10.1016/j.labeco.2023.102385.
- Lee C.S. Global linguistic capital, global cultural capital: International student migrants in China's two-track international education market, *International Journal of Educational Development*, 2019, vol. 67, p. 94–102.

- Matera C., Catania M.A. Correlates of international students' intergroup intentions and adjustment: The role of metastereotypes and intercultural communication apprehension, *International Journal of Intercultural Relations*, 2021, vol. 82(1), p. 288–297, DOI: 10.1016/j.ijintrel.2021.04.011.
- Sarmiento A.V., Pérez M.V., Bustos C. et al. Inclusion profile of theoretical frameworks on the study of sociocultural adaptation of international university students, *International Journal of Intercultural Relations*, 2019, vol. 70, p. 19–41. DOI: 10.1016/j.ijintrel.2019.02.004.
- Yerken A., Nguyen Luu L.A. A stepping stone to the “West”: Academic adaptation of international students from post-Soviet countries in Hungary, *International Journal of Intercultural Relations*, 2022, vol. 89, p. 183–194, DOI: 10.1016/j.ijintrel.2022.06.005.
- Web source*
Majer A. Rossiya zanjala shestoe mesto v mire po chislu inostrannyh studentov [Russia ranked sixth in the world in terms of the number of foreign students], URL: <https://www.vedomosti.ru/society/articles/2023/03/13/966139-rossiya-zanyala-6-e-mesto-po-chislu-inostrannih-studentov> (access date 22.03.2023).

Received 18.04.2024

Revised 05.05.2024

Accepted 26.06.2024

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.42

**СОДЕРЖАНИЕ ФТОРА В ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ
ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА**

А.В. Савенко¹, В.С. Савенко², И.С. Иванова³

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*
³ *Югорский государственный университет*

¹ *Геологический факультет, кафедра геохимии, вед. науч. сотр.,
д-р геол.-минерал. наук; e-mail: alla_savenko@rambler.ru*

² *Географический факультет, кафедра гидрологии суши, вед. науч. сотр.,
д-р геол.-минерал. наук, профессор; e-mail: alla_savenko@rambler.ru*

³ *Лаборатория экосистемно-атмосферных связей лесоболотных комплексов,
ст. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук; e-mail: ivanovais_1986@mail.ru*

Представлены результаты определений содержания фтора и компонентов основного солевого состава в поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа, отобранных в сентябре 2021 г. Речные воды содержат 0,022–0,094 мг/л фтора при наименьших концентрациях для малых рек и наибольших – для крупных рек: Надыма (0,046 мг/л) и Оби (0,094 мг/л). В используемых для водоснабжения артезианских подземных водах концентрации фтора в целом выше и находятся в пределах 0,056–0,269 мг/л. Как в речных, так и в подземных водах региона содержание фтора намного ниже санитарно-гигиенического оптимума, составляющего 0,7–1,5 мг/л.

Ключевые слова: речные воды, водозаборные скважины, растворенная форма, прямая потенциметрия

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.13

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в зависимости от уровня концентраций фтор может оказывать как благоприятное, так и негативное влияние на развитие живых организмов – от микроорганизмов и растений до животных и человека [Weinstein, Davison, 2004; Агалакова, Гусев, 2011; Иорданишвили, 2019]. Физиологическая активность фтора в организмах человека и высших животных связана с ингибированием многих ферментативных процессов, тогда как костная ткань, содержащая 99% фтора, выступает в роли регулятора концентрации фторидов в плазме крови и опосредованно в других органах [Агалакова, Гусев, 2011; Горностаева, Фукс, 2017; Жукова и др., 2017]. Недостаток и избыток фтора в организме человека относительно оптимума приводит к возникновению двух групп заболеваний, названных соответственно гипо- и гиперфторозами [Авцын и др., 1991]. Поскольку вода служит основным источником усвояемого человеком фтора, его содержание в поверхностных и подземных водах питьевого назначения представляет собой важную эколого-гигиеническую характеристику территорий.

С гигиенической точки зрения распространенность фтора в водных объектах России и других стран изучена достаточно хорошо [Габович, Минх, 1979; Янин, 2007; Edmunds, Smedley, 2013; Ali et al., 2016; Fuge, 2019], в том числе на территории зоны многолетней мерзлоты [Сазонов, 2000; Федорова, Павлова, 2022]. Исключение составляют районы Крайнего Севера с небольшой плотностью населения. При этом основной массив данных систематических наблюдений был получен до начала 1980-х гг. и имеющиеся сведения могут в той или иной степени отличаться от современных показателей. Наибольших различий можно ожидать в Арктике в связи с происходящими глобальными изменениями климата. Данное обстоятельство побудило нас провести настоящую работу, цель которой состояла в определении современного содержания фтора в поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа – типичной территории Российской Арктики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследованный регион расположен в пределах молодой эпигерцинской Западно-Сибирской пли-

ты, в которой нижний структурно-тектонический ярус, образующий кристаллический фундамент, сложен палеозойскими отложениями, а верхний ярус – платформенный чехол – представлен рыхлой толщей осадочных пород мезо-кайнозойского возраста. Большая часть территории относится к средне- и верхнечетвертичным равнинам морского, ледникового и ледниково-морского происхождения со среднесуглинистыми осадками, которые сменяются песчаными и супесчаными озерно-аллювиальными и аллювиальными отложениями того же возрастного интервала. Почвы в основном торфяные олиготрофные с включением мощных органогенных горизонтов.

Пробы подземных вод из водозаборных скважин, а также поверхностных речных и озерных вод были отобраны в сентябре 2021 г. в полипропиленовые флаконы после фильтрации через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Расположение мест отбора проб показано на рисунке, гидрологические и гидрогеологические характеристики приведены в табл. 1 и 2. В фильтрате определяли концентрацию фтора методом прямой потенциометрии с фторидным ионоселективным электродом «Элит-221» и хлорсеребряным электродом сравнения в присутствии ацетатного солевого буфера [Савенко, 1986], а также основной солевой состав: содержание главных катионов, хлоридов и сульфатов методом капиллярного электрофореза [Комарова, Каменцев, 2006] и щелочность $\text{Alk} \approx \text{HCO}_3^-$ объемным

ацидиметрическим методом. Погрешность измерений не превышала $\pm 3\%$. Предел обнаружения фтора составил 0,02 мг/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определений содержания фтора и компонентов основного солевого состава в поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа представлены в табл. 3. Для всех малых рек и двух небольших озер характерно крайне низкое содержание фтора: 0,021–0,033 мг/л, что более чем на порядок величины меньше оптимального диапазона концентраций для вод питьевого назначения (0,7–1,5 мг/л [СанПиН..., 2002]). Более высокие, но тоже недостаточные концентрации фтора обнаружены в водах крупных рек – Надыма (0,046 мг/л) и Оби (0,094 мг/л), причем данные по Оби хорошо согласуются со средним содержанием фтора в период летне-осенней межени 2018 и 2020 гг. в замыкающем створе у г. Салехарда и пресноводной части Обской губы, равным 0,095 мг/л [Савенко и др., 2023]. Отмеченные различия содержания фтора в зависимости от крупности рек, по-видимому, связаны с увеличением интенсивности его мобилизации на больших водосборах, выходящих за пределы арктической зоны и захватывающих обширные территории с более мягким климатом.

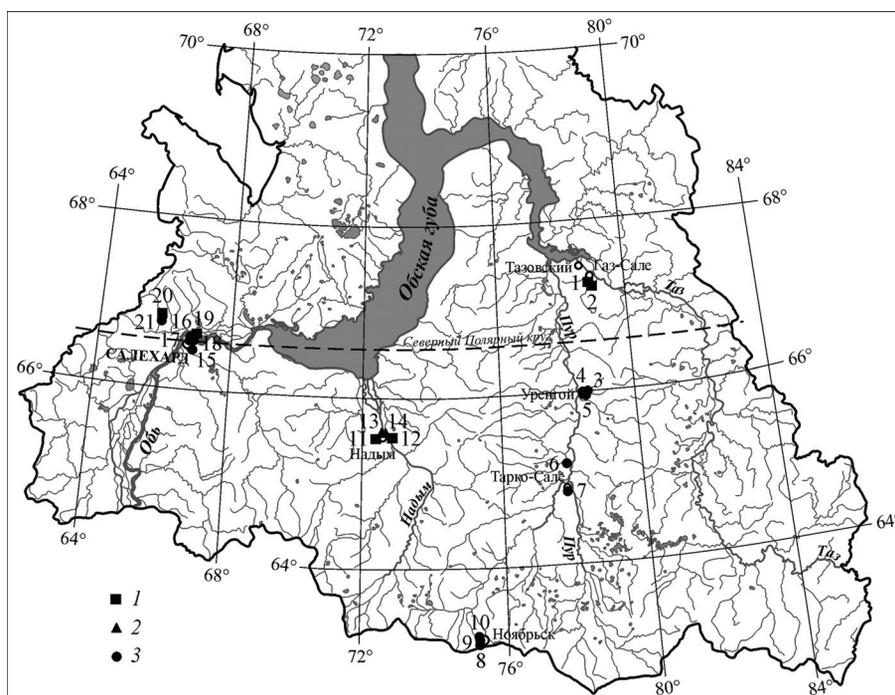


Рис. Расположение точек отбора проб речных (1), озерных (2) и подземных (3) вод Ямало-Ненецкого автономного округа

Fig. Location of sampling points for river (1), lake (2), and ground (3) waters in the Yamalo-Nenets Autonomous region

Таблица 1

Характеристика обследованных поверхностных вод Ямало-Ненецкого автономного округа

Номер точки	Объект	Глубина отбора, м	Длина реки, км	Район, водосбор
1	Р. Нуныяха	0,3	126	Тазовский район, водосбор р. Таз
2	Р. Самботаяха	0,3	72	То же
11	Р. Якойяха	0,3	21	Надымский район, водосбор р. Надым
12	Р. Надым	0,3	545	Надымский район
13	Озеро среди бугров пучения, глубина 50–60 см	0,1	–	То же
14	То же, глубина 40–50 см	0,1	–	– « –
19	Р. Обь	0,3	3650	Приуральский район
20	Р. Сось	0,3	185	То же, водосбор р. Обь

Таблица 2

Характеристика обследованных подземных вод питьевого назначения Ямало-Ненецкого автономного округа

Номер точки (скважины)	Местоположение	Глубина отбора, м	Месторождение, водоносный горизонт
<i>Западно-Сибирский сложный артезианский бассейн, Тазовско-Пурский артезианский бассейн</i>			
3 (1)	Пос. Уренгой	110	Куртамышский горизонт
4 (3)	Там же	100	То же
5 (4)	– « –	100	– « –
6 (б/н)	С. Сывдарма	120	– « –
7 (3)	Г. Тарко-Сале	180	Тарасовское месторождение, водоносный комплекс атлымской и новомихайловской свит среднего олигоцена
8 (3)	Г. Ноябрьск	101	Атлым-новомихайловский горизонт
9 (6)	Там же	107	Куртамышский горизонт
10 (54)	– « –	128	Новомихайловский горизонт
15 (48рэ)	Г. Салехард	50	Полуйское месторождение, криогенно-таликовый четвертичный горизонт
16 (1э)	Там же	41	Салехардское месторождение, казанцевский береговой горизонт
17 (18э)	– « –	80	То же, ямальский горизонт
18 (33рэ)	– « –	23	То же, тыловой горизонт
<i>Уральская сложная гидрогеологическая складчатая область, Тагило-Магнитороская гидрогеологическая складчатая область</i>			
21 (6)	Пос. Харп	30	Харпское месторождение, аллювиальный горизонт

Таблица 3

Содержание фтора, величина рН, минерализация М и основной солевой состав поверхностных и подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа

Номер точки	Объект	рН	F	M	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	
												мг/л
<i>Поверхностные воды</i>												
1	Р. Нуныяха	6,82	0,033	38,2	2,24	0,42	1,97	4,92	0,66	1,18	26,8	
2	Р. Самботаяха	3,80	0,032	30,6	1,49	0,32	1,54	3,80	0,46	1,04	22,0	
11	Р. Якойяха	6,53	0,033	33,9	2,63	0,39	1,64	3,63	0,45	0,73	24,4	
12	Р. Надым	7,29	0,021	14,4	0,86	0,29	0,66	1,90	0,62	0,29	9,76	
13	Малое озеро 1	5,14	0,024	7,3	0,54	0,22	0,27	0,91	0,73	0,27	4,39	
14	Малое озеро 2	4,78	0,046	35,1	2,15	0,63	1,91	3,65	0,30	0,80	25,6	
19	Р. Обь	7,81	0,094	128	7,33	0,86	5,22	18,3	2,70	5,82	87,8	
20	Р. Сობь	7,58	0,022	92,8	0,95	0,32	4,77	16,5	0,34	8,87	61,0	
<i>Подземные воды</i>												
3	Пос. Урентой, скв. 1	6,63	0,249	135	26,3	1,46	3,84	5,83	14,1	2,85	80,5	
4	Там же, скв. 3	7,42	0,269	362	91,8	3,22	7,55	8,07	92,5	1,35	157	
5	Там же, скв. 4	7,29	0,206	218	57,9	1,60	3,94	4,61	56,7	2,29	91,5	
6	С. Сьвдарма, скв. б/н	7,34	0,151	262	7,76	1,76	19,0	28,6	1,21	0,09	204	
7	Г. Тарко-Сале, скв. 3	6,41	0,087	63,3	5,65	1,18	2,70	5,16	0,36	0,69	47,6	
8	Г. Ноябрьск, скв. 3	5,57	0,121	70,4	3,46	0,68	3,35	8,75	0,27	0,26	53,7	
9	Там же, скв. 6	6,83	0,111	76,1	2,64	0,47	3,84	10,9	0,11	0,21	58,0	
10	Там же, скв. 54	7,17	0,091	110	3,44	0,50	5,61	16,6	0,29	0,30	83,0	
15	Г. Салехард, скв. 48рэ	6,52	0,056	176	11,3	0,88	8,37	24,7	8,06	21,7	101	
16	Там же, 1э	6,51	0,092	66,0	3,10	0,85	4,72	6,80	0,59	12,1	37,8	
17	Там же, 18э	7,86	0,123	227	13,0	3,78	13,1	22,8	1,85	0,78	172	
18	Там же, 33рэ	6,32	0,060	69,6	3,53	0,85	4,94	6,21	1,35	5,12	47,6	
21	Пос. Харп, скв. 6	7,89	0,028	286	2,42	0,59	30,3	26,2	0,43	10,3	215	

Таблица 4

Коэффициенты корреляции содержания фтора с величиной рН, минерализацией и концентрациями компонентов основного солевого состава в обследованных поверхностных и подземных водах Ямало-Ненецкого автономного округа

Воды	рН	<i>M</i>	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃
Поверхностные	0,51	0,73	0,80	0,95	0,62	0,59	0,89	0,31	0,75
Подземные	0,13	0,40	0,80	0,56	-0,31	-0,39	0,74	-0,45	0,09

Для поверхностных вод наблюдается достаточно плотная положительная корреляция концентраций фтора и главных ионов, исключая сульфаты, магний и кальций (табл. 4). В силу того, что техногенное воздействие на изучавшейся территории относительно невелико, наибольшую роль в формировании состава поверхностных вод должны играть два источника: поступление морских циклических солей из атмосферы и продуктов выветривания горных пород. Поскольку морские аэрозоли обогащены фтором [Bewers, 1972], их перенос на водосборы может приводить к возникновению тесной связи между фтором, с одной стороны, и главными растворенными компонентами морской воды – натрием и хлором, с другой: $r_{F-Na} = 0,80$, $r_{F-Cl} = 0,89$. Вместе с тем высокая корреляция концентраций фтора и калия $r_{F-K} = 0,95$, по-видимому, имеет иную причину. А.Б. Ронов с соавторами [1974] установили фундаментальную зависимость, согласно которой в осадочных породах, занимающих 75% поверхности суши, при увеличении содержания калия происходит пропорциональное возрастание содержания фтора. Если основная масса калия поступает в поверхностные воды в результате выветривания горных пород, то с учетом близкой интенсивности водной миграции фтора и калия [Перельман, Касимов, 1999] оба элемента будут переходить в водную среду в пропорциональных количествах.

За исключением пробы из аллювиального горизонта у пос. Харп, содержание фтора в используемых для водоснабжения артезианских подземных водах региона находится в интервале 0,056–0,269 мг/л, что несколько выше по сравне-

нию с поверхностными водами, но также не достигает нижней границы санитарно-гигиенического оптимума. Интересно, что, согласно данным табл. 4, между содержанием фтора и концентрациями натрия и хлора в подземных водах существует положительная корреляция ($r_{F-Na} = 0,80$, $r_{F-Cl} = 0,74$) при отсутствии явно выраженных связей с минерализацией и концентрациями других компонентов основного солевого состава. Это может быть следствием совместного выноса значительных масс фтора, натрия и хлора из засоленных вмещающих пород, поскольку известно накопление фтора в морских бассейнах на первых стадиях осолонения [Казаков, Соколова, 1950]. Однако в этом случае фтор должен коррелировать не только с натрием и хлором, но и с магнием и сульфатами, которые также накапливаются в осолоняющихся морских бассейнах. Поскольку этого не происходит, вопрос об источнике фтора в исследованных подземных водах остается открытым.

ВЫВОДЫ

В речных водах Ямало-Ненецкого автономного округа концентрации фтора изменяются от 0,022 до 0,094 мг/л, причем наибольшие значения характерны для крупных рек – Надыма (0,046 мг/л) и Оби (0,094 мг/л). Содержание фтора в используемых для водоснабжения артезианских подземных водах в целом выше и варьирует от 0,056 до 0,269 мг/л. Как речные, так и подземные воды региона не соответствуют оптимальному диапазону концентраций фтора для источников питьевого назначения (0,7–1,5 мг/л).

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00088, <https://rscf.ru/project/24-17-00088/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. и др. Микроэлементозы человека (этиология, классификация, органо-патология). М.: Медицина, 1991. 496 с.
- Агалакова Н.И., Гусев Г.П. Влияние неорганических соединений фтора на живые организмы различного филогенетического уровня // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2011. Т. 47. № 5. С. 337–347.
- Габович Р.Д., Минх А.А. Гигиенические проблемы фторирования питьевой воды. М.: Медицина, 1979. 200 с.

- Горностаева Е.А., Фукс С.Л. Влияние фторсодержащих соединений на живые организмы (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 14–24.
- Жукова А.Г., Михайлова Н.Н., Казыцкая А.С. и др. Современные представления о молекулярных механизмах физиологического и токсического действия соединений фтора на организм // Медицина в Кузбассе. 2017. Т. 16. № 3. С. 4–11.
- Иорданишвили А.К. Фториды: их значение для здоровья человека в современных условиях и перспективы использования // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2019. № 2. С. 66–73.
- Казаков А.В., Соколова Е.И. Условия образования флюорита в осадочных породах (флюоритовая система) // Тр. Института геологических наук. Вып. 114. Геол. сер. № 40. М., 1950. С. 22–64.
- Комарова Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ». СПб.: ВЕДА, 2006. 212 с.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
- Ронов А.Б., Гирич Ю.П., Ермишкина А.И. и др. Геохимия фтора в осадочном цикле // Геохимия. 1974. № 11. С. 1587–1612.
- Савенко А.В., Савенко В.С., Ефимов В.А. Современное содержание фтора в водах реки Оби // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 6. С. 132–138.
- Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 77 с.
- Сазонов Н.Н. Микроэлементы в мерзлотных экосистемах и их значение в использовании биологических ресурсов Якутии: дис. ... докт. биол. наук. М., 2000. 383 с.
- СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Минздрав РФ, 2002. 46 с.
- Федорова С.В., Павлова Н.А. Фтор в поверхностных и надмерзлотных водах Центральной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2022. Т. 27. № 2. С. 233–245.
- Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. 2007. № 4. С. 2–98.
- Ali S., Thakur S.K., Sarkar A. et al. Worldwide contamination of water by fluoride, *Environ. Chem. Lett.*, 2016, vol. 14, no. 3, p. 291–315.
- Bewers J.M. The global circulation of halogens in nature, *Proc. of the 24th International Geological Congress, Sect. 10, Geochemistry*, Montreal, 1972, p. 273–281.
- Edmunds W.M., Smedley P.L. Fluoride in natural waters, *Essentials of Medical Geology*, Springer, 2013, p. 311–336.
- Fuge R. Fluorine in the environment, a review of its sources and geochemistry, *Appl. Geochem.*, 2019, vol. 100, p. 393–406.
- Weinstein L.H., Davison A.W. Fluorides in the Environment: Effects on Plants and Animals, Wallingford, Cambridge, CABI Publ., 2004, 296 p.

Поступила в редакцию 04.06.2024

После доработки 13.06.2024

Принята к публикации 26.06.2024

FLUORINE CONTENT IN SURFACE AND GROUND WATERS OF THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS REGION

A.V. Savenko¹, V.S. Savenko², I.S. Ivanova³

^{1,2}Lomonosov Moscow State University

³Yugra State University

¹Faculty of Geology, Department of Geochemistry, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

²Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy, Professor; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

³Laboratory of Ecosystem-Atmospheric Relationships of Forest-Swamp Complexes, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: ivanovais_1986@mail.ru

Data on the content of fluorine and components of the main salt composition in surface and ground waters of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, sampled in September 2021, are presented. River waters contain 0,022–0,094 mg/L of fluorine with the lowest concentrations characteristic of small rivers and the highest – for large ones, such as the Nadym River (0,046 mg/L) and the Ob River (0,094 mg/L). Fluorine concentrations in artesian groundwater used for water supply are generally higher and range from 0,056 to 0,269 mg/L. In both river and ground waters of the area, the fluorine content is much lower than the sanitary-hygienic optimum, amounting to 0,7–1,5 mg/L.

Keywords: river waters, water supply wells, dissolved form, direct potentiometry

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 24-17-00088, <https://rscf.ru/en/project/24-17-00088/>).

REFERENCES

- Agalakova N.I., Gusev G.P. Effect of inorganic fluoride on living organisms of different phylogenetic level, *J. Evolut. Biochem. Physiol.*, 2011, vol. 47, no. 5, p. 393–406.
- Ali S., Thakur S.K., Sarkar A. et al. Worldwide contamination of water by fluoride, *Environ. Chem. Lett.*, 2016, vol. 14, no. 3, p. 291–315.
- Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A. et al. *Mikroelementy cheloveka (etiologiya, klassifikatsiya, organopatologiya)* [Human microelementoses (etiology, classification, organopathology)], Moscow, Meditsina Publ., 1991, 496 p. (In Russian)
- Bewers J.M. The global circulation of halogens in nature, *Proc. of the 24th Int. Geological Congress, Sect. 10, Geochemistry*, Montreal, 1972, p. 273–281.
- Edmunds W.M., Smedley P.L. Fluoride in natural waters, *Essentials of Medical Geology*, Dordrecht et al., Springer, 2013, p. 311–336.
- Fedorova S.V., Pavlova N.A. Ftor v poverkhnostnykh i nadmerzlotnykh vodakh Tsentral'noi Yakutii [Fluorine in surface and suprapermafrost waters in Central Yakutia], *Prirodnye Resursy Arktiki i Subarktiki*, 2022, vol. 27, no. 2, p. 233–245. (In Russian)
- Fuge R. Fluorine in the environment, a review of its sources and geochemistry, *Appl. Geochem.*, 2019, vol. 100, p. 393–406.
- Gabovich R.D., Minkh A.A. *Gigienicheskie problemy ftorirovaniya pit'evoi vody* [Hygienic problems of drinking water fluoridation], Moscow, Meditsina Publ., 1979, 200 p. (In Russian)
- Gornostaeva E.A., Fuks S.L. Vliyanie ftorsoderzhashchikh soedinenii na zhivye organizmy (obzor) [The effect of fluorinated compounds on living organisms (review)], *Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya*, 2017, no. 1, p. 14–24. (In Russian)
- Iordanishvili A.K. Ftorigid: ikh znachenie dlya zdorov'ya cheloveka v sovremennykh usloviyakh i perspektivy ispol'zovaniya [Fluorides: their value for human health under modern conditions and prospects for their use], *Kurskii Nauchno-Prakticheskii Vestnik "Chelovek i Ego Zdorov'e"*, 2019, no. 2, p. 66–73. (In Russian)
- Kazakov A.V., Sokolova E.I. [Conditions for the fluoride formation in sedimentary rocks (fluorite system)], *tr. Instituta Geologicheskikh Nauk* [Proc. of the Institute of Geological Sciences], vol. 114, Geol. ser., no. 40, Moscow, 1950, p. 22–64. (In Russian)
- Komarova N.V., Kamencev Ya.S. *Prakticheskoe rukovodstvo po ispol'zovaniyu sistem kapillyarnogo elektroforeza "KAPEL"* [Practical guidance on the use of capillary electrophoresis systems "KAPEL"], St Petersburg, Veda Publ., 2006, 212 p. (In Russian)
- Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], ucheb. posobiye, 3-ye izd., pererab. i dop., Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999, 768 p. (In Russian)
- Ronov A.B., Girin Yu.P., Ermishkina A.I. et al. Geokhimiya ftora v osadochnom tsikle [Geochemistry of fluorine in the sedimentary cycle], *Geokhimiya*, 1974, no. 11, p. 1587–1612. (In Russian)
- SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva* [Sanitary Rules and Regulations 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control], Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation Publ., 2002, 46 p. (In Russian)
- Savenko A.V., Savenko V.S., Efimov V.A. Sovremennoe sodержanie ftora v vodakh reki Obi [Present-day fluorine concentration in the Ob River water], *Lomonosov Geography J.*, 2023, vol. 78, no. 6, p. 132–138. (In Russian)
- Savenko V.S. *Vvedeniye v ionometriyu prirodnykh vod* [Introduction to the ionometry of natural waters], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 77 p. (In Russian)
- Sazonov N.N. *Mikroelementy v merzlotnykh ekosistemakh i ikh znachenie v ispol'zovanii biologicheskikh resursov Yakutii* [Trace elements in permafrost ecosystems and their role for the use of biological resources of Yakutia], D.Sc. Thesis in Biology, Moscow, 2000, 383 p. (In Russian)
- Weinstein L.H., Davison A.W. *Fluorides in the Environment: Effects on Plants and Animals*, Wallingford, Cambridge, CABI Publ., 2004, 296 p.
- Yanin E.P. Ftor v okruzhayushchei srede (rasprostranennost', povedenie, tekhnogennoe zagryaznenie) [Fluorine in the environment (occurrence, behavior, anthropogenic pollution)], *Ekologicheskaya Ekspertiza*, 2007, no. 4, p. 2–98. (In Russian)
- Zhukova A.G., Mikhailova N.N., Kazitskaya A.S. et al. Sovremennye predstavleniya o molekulyarnykh mekhanizmakh fiziologicheskogo i toksicheskogo deistviya soedinenii ftora na organizm [Contemporary concepts of molecular mechanisms of the physiological and toxic effects of fluorine compounds on an organism], *Meditsina v Kuzbasse*, 2017, vol. 16, no. 3, p. 4–11. (In Russian)

Received 04.06.2024

Revised 13.06.2024

Accepted 26.06.2024

ВОДНЫЙ РЕЖИМ ОКСКОЙ ПОЙМЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА КАК ФАКТОР ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

К.Н. Дьяконов¹, П.И. Пыленок², Т.И. Харитонов³

^{1,3} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения*

² *Мещерский филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова»*

¹ *Зав. кафедрой, чл.-корр. РАН, проф.; e-mail: diakonov.geofak@mail.ru*

² *Гл. науч. сотр., д-р тех. наук, доц.; e-mail: petr.pylenok@yandex.ru*

³ *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: kharito@geogr.msu.ru*

На основе многолетних исследований водного режима Окской поймы и ее левого притока р. Пры обобщены данные по максимальным уровням воды в половодье в створе г. Рязани. На основе имеющегося ряда наблюдений выявлена тенденция снижения уровня с 1945 по 2010 г. В годы максимальных весенних половодий подпор вод р. Пры от р. Оки достигает расстояния более 160 км. Впервые в 1997 г. пойма Оки не была залита водой. Установлено повышение средних годовых температур воздуха с середины 1970-х гг. Снижение уровня половодья связано также с увеличением водозабора и ростом потребности воды в Москве и других крупных городах, а также с высокой долей потерь воды ЖКХ, составляющей более 20%. Охарактеризованы последствия изменения водного режима ландшафтов, прилегающих к среднему течению и низовью Пры и Оки, понижения уровня воды в колодцах в сельских поселениях, роста пожароопасности (пример – 2010 г.). Установлено, что в годы высокого половодья фитопродуктивность потенциальных пастбищ и сенокосов в бассейне р. Пры (Вожская мелиоративная геотехническая система) на 28,2% выше, чем в годы низкого весеннего половодья, число которых возрастает. Дан перечень взаимосвязанных социально-экономических проблем, обусловленных потеплением климата и изменением водного режима. В результате потепления климата наблюдается изменение гидрометеорологических параметров в европейской части России, в частности в Рязанской области, которое отражается на гидрологическом режиме р. Оки, приводит к осуходоливанию пойменных агроландшафтов и вызывает ограничения природопользования водными, земельными и рекреационными ресурсами. В мелиоративной отрасли можно ожидать уменьшения потребности в осушении и снижении параметров дренажа (нормы осушения, междренные расстояния) при одновременном возрастании потребности в орошении и увеличении параметров оросительных систем (оросительные нормы, объемы водозабора и др.). Действия климатических и антропогенных факторов вызвали ограничения условий и объемов природопользования в таких сферах, как водопользование, речное судоходство, рекреация и речной туризм. Для их восстановления потребуются существенные инвестиции.

Ключевые слова: водный режим поймы, метеорологические факторы, природопользование, техногенные факторы, фитопродуктивность

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.14

ВВЕДЕНИЕ

Изменение структуры типов природопользования после распада Советского Союза, в особенности сельскохозяйственных, ярко проявилось в Нечерноземной зоне Российской Федерации. Как следствие, претерпели изменения важные экологические и производственные функции природно-антропогенных ландшафтов [Пыленок, 1982; Харитонов, 2013; Дьяконов, Харитонов, 2017; Мерекалова и др., 2023]. Объект многолетних стационарных исследований – Вожская осушительная система, с 1986 г. – осушительно-увлажнительная. Исследования проводились по программе СЭВ с 1976 г. Мещерским филиалом Всесоюзного инсти-

тута гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова и географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова. Вожская гидротехническая система, по терминологии А.Ю. Ретеюма, разорванная относительно самостоятельная, выступает частью ландшафтно-гидрологической мегасистемы в Центральной (озерной) Мещере. Она образована рекой Пра и ее притоками. Общая площадь бассейна составляет 5520 км². Замыкающей подсистемой выступает пойма реки Оки от пос. Солотча до Рязани. Вклад р. Пры в сток р. Оки в пределах Рязанской области составляет 14%.

В советский период в пределах указанной ландшафтно-гидрологической мегасистемы структура

природопользования определялась тремя основными ее типами – сельскохозяйственным, базирующимся во многом на осушительной мелиорации, лесохозяйственным и садово-усадебным, а также тремя второстепенными – рыбохозяйственным, охотничьим и рекреационным. Каждый из перечисленных типов природопользования имел свою региональную специфику [Дьяконов, Харитонов, 2013].

Между тем нельзя не учитывать и возрастающую роль другого фактора – изменения климата, которое проявляется в интенсивности половодья. Весеннее половодье на Оке наступает на две недели раньше, чем на Пре и ее притоках. Весеннее половодье Оки вызывает подпор стока Пры в отдельные годы до 160 км, что отражается на начале вегетационного периода на малых и средних водосборах всего бассейна. Наиболее значимым аналогом по масштабу процесса подпора двух рек можно считать весеннее половодье в низовьях р. Иртыш, воды которой в районе впадения в Обь в апреле устремляются вверх по течению вплоть до г. Сургута [Вендров и др., 1967].

Трансформация стока Оки происходит под действием изменения гидроклиматических условий, прежде всего роста температур зимнего периода, сезонного перераспределения атмосферных осадков, связанного с циклонической деятельностью атмосферы и др. В этих условиях отмечается снижение стока весеннего половодья и одновременно возрастание от 28 до 36% расхода летне-осенней межени. Наиболее интенсивное изменение происходит со стоком зимней межени, связанное с повышением зимней температуры воздуха и снеготаянием. [Барабанова, Самохин, 2016; Гречушникова и др., 2017; Исмаилов, Муращенкова, 2019; Varentsova et al., 2021]. Менее изученным остается вопрос влияния отмеченных изменений на условия природопользования и продуктивность пойменных и террасных ландшафтов, а также оценка техногенных факторов на гидрологию речных экосистем.

Цель статьи – выявить роль водного режима в биопродуктивности пойменных ландшафтов и определить возможность экстраполяции установленных закономерностей на Вожскую мелиоративную систему в период как ее сельскохозяйственного использования, так и в постмелиоративный период (с 1992 г.).

Задачи исследования:

- охарактеризовать тенденции изменения климата в регионе;
- установить закономерности изменения режима весенних половодий и водного режима пойменного агроландшафта в связи с изменением климата во взаимодействии с антропогенными факторами;
- установить вклад метеорологических факторов в биопродуктивность пойменных лугов; лугов и лесов в районе Вожской системы;

– охарактеризовать перечень взаимосвязанных социально-экономических последствий, обусловленных потеплением климата и изменением водного режима земель.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методической основой исследовательских работ выступают мониторинг и системный анализ природно-мелиоративных условий и гидрологического режима бассейна р. Оки и климатических факторов с использованием открытых данных гидрометслужбы, а также проведение длительных натурных исследований почвенно-гидрологических условий в 1990–2022 гг., изложенных в работах [Айдаров и др., 1990; Беркович и др., 2015; Доклад..., 2019; Дьяконов, Харитонов, 2013; Куркин, 1972; Новосельцев и др., 2002; Пыленок, 1982; Пыленок, Сидоров, 2004; Сперанская, 1990]. Использованы также традиционные дендрохронологические методы исследования [Бочкарев, Дьяконов, 2009; Cook, 1985; Cook et al., 1990]. Фитопродуктивность болот и лугов измерялась в поле. Бралась четверть укоса надземной части травяной растительности на площади 1 м². Продуктивность определена в воздушно-сухом весе.

По данным Росгидромета в конце XX – начале XXI в. наблюдается изменение температурного режима в сторону потепления [Доклад..., 2019]. Скорость роста среднегодовой температуры в России составляет 0,42°C за каждые десять лет. Растет теплообеспеченность сельскохозяйственных культур в результате увеличения скорости роста суммы активных температур, составляющей 87°C/10 лет [Доклад..., 2019]. Сумма годовых осадков за 1976–2018 гг. в целом по России также увеличивается со скоростью 2,2% каждые 10 лет. В то же время в июне в европейской части страны наблюдается дефицит атмосферных осадков. Климатическая годовая норма атмосферных осадков по данным Рязанского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды составляет 575 мм (табл. 1), что на 20 мм больше по сравнению с данными за 1961–1990 гг. (на основе анализа данных гидрометеостаций). Небольшое увеличение осадков в июле – сентябре вероятно связано с ростом температуры воздуха и испарения. При этом отмечается снижение нормы за холодные месяцы ноябрь – февраль, а также за май – июнь, что может быть одной из причин нарушения режима половодий на реках Нечерноземной зоны.

В этих условиях представляет актуальность оценка изменения водного режима р. Оки – главной водной артерии центра Нечерноземной зоны России и ее пойменных агроландшафтов, что может вызывать определенные изменения и ограничения в

условиях ведения сельского хозяйства и природопользования в целом [Беркович и др., 2015; Маслов, Пыленок, 2019; Научно-прикладной справочник, 2015].

Гидрологический режим р. Оки относится к восточноевропейскому типу с преимущественно снеговым питанием, высоким весенним половодьем, низкой летней и зимней меженью. Среднегодовой сток, формирующийся на территории Рязанской области, составляет 4,2 км³. Средний многолетний расход воды на входе в область составляет 460 м³/с, на выходе – 650 м³/с [Кривцов, Водорезов, 2008]. Средняя продолжительность половодья составляет от

30 до 45 сут. Максимальный среднесуточный расход за последние 70 лет менялся по длине участка от 2500 до 4600 м³/с. В целом с середины 1930-х гг. происходит постепенное снижение водности реки, в основном за счет уменьшения максимальных расходов. При этом минимальные расходы возрастают, что объясняется увеличением доли подземного питания [Беркович и др., 2015; Кривцов, Водорезов, 2006; Научно-прикладной справочник..., 2015]. Используются данные о координатах, уровнях воды, высотных отметках нуля водомерных постов (ВП) на реке Оке и ее левом притоке – Пре.

Таблица 1

Климатические нормы атмосферных осадков и температуры воздуха по метеостанциям Рязань и Черусти [Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1990]

Месяц	Температура воздуха, °С		Норма осадков, мм	
	Рязань	Черусти	Рязань	Черусти
Январь	–10,3	–11,1	36	39
Февраль	–9,7	–10,2	28	32
Март	–4,0	–4,4	26	34
Апрель	6,2	4,7	36	39
Май	13,7	12,3	47	55
Июнь	17,6	16,3	61	60
Июль	19,1	18,3	86	82
Август	17,6	15,9	59	67
Сентябрь	11,9	10,9	54	62
Октябрь	5,0	4,2	51	56
Ноябрь	–2	–1,7	48	48
Декабрь	–6,6	–7,7	43	46
Год	4,9	4,0	575	620

Кроме информации о водомерных постах использованы также данные об уровне воды на постах Рязань, Касимов, Деулино, Борисово из общедоступных источников [AllRivers, 2023]. Расстояния между постами определялось путем линейного спрямления на Яндекс-карте и измерения расстояний с помощью инструмента «Линейка и планиметр».

В результате установлены расстояния между водомерными постами:

– Рязань – Копаново – 182 км, Копаново – устье реки Пры – 33 км;

– устье р. Пры – Деулино – 101 км, Деулино – Борисово – 55 км.

На участке Рязань – устье р. Пры, по данным за последние четыре года в межень (август – сентябрь) гидравлический уклон составил около 0,035‰. В половодье при достижении критических уровней воды в Рязани (около 550 см) подъем в Копаново со-

ставил 234 см, а гидравлический уклон в Оке возрос до 0,055‰.

Река Пра имеет больший гидравлический уклон, чем Ока, что в общем видно из отметок водомерных постов и расстояний между постами. На участке Деулино – устье Пры в межень гидравлический уклон составляет 0,167‰, в половодье уклон уменьшается до 0,14‰, что говорит о подпоре Пры со стороны Оки в половодье.

В силу того что половодье в Оке при впадении в нее Пры по данным водомерного поста (ВП) Копаново (расположен выше впадении Пры на 33 км) длится 38 сут. (со 2 апреля по 10 мая), это создает подпор воды в р. Пре. В Деулино подъем до критических отметок происходит на 10 суток позже и длится до 20 мая. В районе ВП Борисово критический подъем наступает на 15 сут. позже, чем в Оке, и на 5 сут. позже, чем в Деулино. Следовательно,

подпор воды в Пре продолжается в створе Деулино около 10 сут., а в створе Борисово – еще плюс около 5 сут.

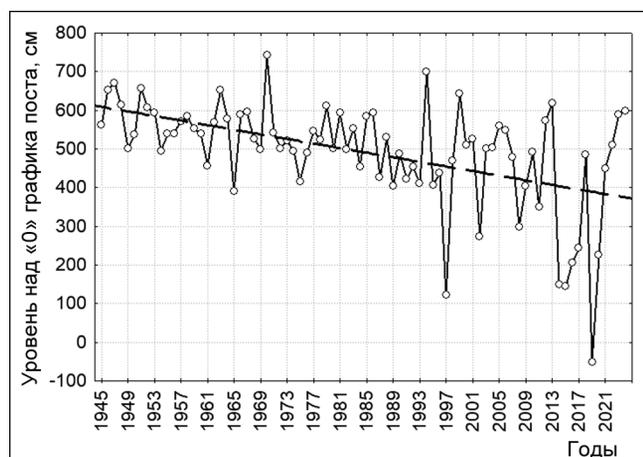


Рис. Максимальные уровни воды в половодье на р. Оке у г. Рязани за 1945–2024 гг.

Fig. Maximum flood water levels on the Oka River near the town of Ryazan during 1945–2024

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с начавшимся потеплением климата произошли изменения гидрологического режима р. Оки в сторону уменьшения ее водности, прежде всего за половодье и в меженный летний период. В то время как истории больше известны сведения об огромных наводнениях на Оке в 1612, 1625, 1646, 1666, 1700, 1788, 1849, 1877, 1888, 1908, 1926 и 1931 гг. [Маслов, Пыленок, 2019]. В ходе выполняемого нами мониторинга было установлено, что, начиная с середины 1970-х гг., обозначилась четко выраженная тенденция понижающего тренда высоты (и амплитуды) половодий, что можно видеть на рисунке. Это хорошо коррелирует с ростом температур, начавшимся примерно в этот же период.

В конце XX в. впервые за всю историю наблюдения весеннее половодье на крупном притоке Волги – реке Оке в 1997 г. было таким низким, что разлива и затопления поймы не произошло. Это явление в последующем из уникального стало периодическим и повторилось в 2002 и 2008 гг. Более того, четыре года подряд (2014–2017) были с низким уровнем весеннего половодья без затопления поймы. В 2018 г. во время половодья уровень воды в Оке у г. Рязани был ниже среднего значения, затопление коснулось только участков поймы низкого и частично среднего уровня. Весной 2019 г., несмотря на большие влагозапасы в снежном покрове, составившие 110–140 мм, вода не вышла из русла и пой-

ма не затоплялась. Исключением стали половодья 2023 и 2024 гг., с пиками 6 и 10 апреля и максимальным подъемом уровня воды 590 и 598 см над нулем ВП г. Рязани. Следует констатировать, что из-за нарушения весенней влагозарядки поймы Оки и Пры происходит снижение продуктивности пойменных агроландшафтов, для компенсации которой требуется дополнительное увлажнение и корректировка мелиоративных режимов на действующих осушительно-оросительных системах, приуроченных к аллювиальным почвам. В экспериментальных исследованиях в годы низких половодий Оки из-за уменьшения весенней влагозарядки почвы требовалось проводить дополнительный полив нормой не менее 20 мм в фазу от всходов до бутонизации картофеля. При этом в эти годы в мае, по данным метеостанции Рязань, осадки были близки к многолетней норме, равной 40 мм.

Уникальные по продолжительности и площади лесоторфяные пожары в центре России 2010 г. при экстремальной летней жаре вызвали региональное понижение уровня грунтовых вод, обмеление рек и колодцев, которое в полном объеме не восстановилось до нынешних дней [Маслов, Пыленок, 2019]. Пойма, не затопленная весенним половодьем и покрытая нескошенными остатками прошлогодней травы, создает благоприятные условия для весенних палов, которые угрожают лесам и населенным пунктам.

Свой вклад в понижение уровней воды вносит также хозяйственная деятельность в бассейне реки Оки, включающая рост водозабора в связи с ростом населения г. Москвы. Для этих целей создано и эксплуатируется пять водохранилищ питьевого назначения. Общий забор для хозяйственно-питьевых нужд в начале XXI в. составил около 6 км³. В 2010 и 2019 гг. в Рязани наблюдались серьезные проблемы с питьевым водоснабжением в связи с обмелением р. Оки. Поступали многочисленные жалобы жителей на неудовлетворительное качество воды, подаваемой из Оки, по причине повышенной мутности и «рыбного запаха». В связи с обмелением реки несут убытки речные грузоперевозки и туристическая отрасль Москвы и Рязани.

Нельзя не отметить и другие техногенные факторы, с которыми связан своеобразный «синергетический эффект», обусловленный совместным действием разных видов природопользования, такие как массовая распашка пойменных лугов в послевоенный период для целей кормопроизводства и овощеводства. Так, осенью 1961 г. в Рязанской области была произведена зяблевая вспашка на площади свыше 30 тыс. га плодородных пойменных земель [Куркин, 1972], которые полностью использовались как пашня до 1993 г. Велась добыча аллювиальных

материалов из русла реки для обеспечения развития строительства в Москве и других городах бассейна р. Оки. В результате извлечения более 90 млн м³ песка и гравия за период с начала 1950 г. до начала 1980 г. отметки дна русла и водной поверхности на участке от Калуги до Рязани понизились на 0,5–2,1 м. Антропогенное понижение уровней происходило на фоне увеличения минимальных расходов воды, особенно заметного с 1970-х гг. [Беркович и др., 2015]. Для поддержания минимальных уровней воды для целей судоходства на Оке было построено несколько гидроузлов, среди которых Белоомутский и Кузьминский.

В итоге совместная роль климатических и антропогенных факторов привела к возрастанию риска осуходоливания поймы р. Оки, проявляющегося в уменьшении или полном отсутствии паводковой влагозарядки аллювиальных почв, что при совместном действии дефицита атмосферных осадков в мае – июне приводило к снижению уровня влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы ниже оптимальных значений и недобору урожая.

По данным натурных исследований К.А. Куркина, отсутствие или непродолжительное весеннее половодье приводило к недобору урожая по результатам двух укосов на 2,0–2,7 т/га сена, даже несмотря на достаточное количество летних атмосферных осадков. По нашим данным в связи с аридизацией климата и осуходоливанием поймы р. Оки возникает необходимость дополнительного увлажнения раннего картофеля не только во влаготребовательные фазы бутонизации и цветения, но и в межфазный период от всходов до бутонизации. По существу, приходится дополнительным поливом компенсировать отсутствие весенней влагозарядки почв.

Таким образом, осуходоливание поймы р. Оки под действием аридизации климата и антропогенных факторов приводит к изменению условий природопользования.

Рязанская часть поймы Оки и территория ландшафтно-гидрологической мегасистемы р. Пры находятся в одном синоптическом регионе. Об этом свидетельствуют данные по средним месячным температурам воздуха и атмосферным осадкам (станция Черусти). Последняя расположена по прямой всего в 28 км от Вожской системы (левый приток Пры) и является репрезентативной. Различия в месячных характеристиках температуры воздуха за период апрель – сентябрь лежат в диапазоне 0,8–1,7°C, а средние квадратические отклонения за те же месяцы равны 2,4–1,8°C [Справочник по климату СССР, 1976]. Коэффициент вариации осадков по тем же месяцам равен 0,6, что значительно больше их месячных разностей [Швер, 1976].

На Вожской мелиоративной системе ведутся исследования с 1977 г. до настоящего времени. Определяется фитопродуктивность разных по увлажнению лугов и болот. При использовании дендрохронологических методов была получена информация по радиальному приросту сосен и елей за последние 90–95 лет. Наши данные по продуктивности репрезентативны для бассейна р. Пры, о чем можно судить по разности температур между станциями Черусти и Рязань, которая меньше средних квадратических отклонений длинного ряда наблюдений (1881–1985) [Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1990].

В пределах бывшей мелиоративной системы и на прилегающей к ней территории годовая продуктивность лесов в целом синхронна [Харитоновна, 2013]. Более сложная картина наблюдается в синхронности продуктивности пойменных лугов и лугов разного гипсометрического уровня (с разной глубиной почвенных и грунтовых вод) в районе Вожской системы. Для поддержания развития животноводства важнейшее значение, как известно, имеет кормовая база. Фитопродуктивность лугов – потенциальная база для сенокосов и пастбищ. Используя данные многолетних измерений 1977–2010 гг. надземной фитомассы лугов разного типа в аномальные годы по увлажнению за период апрель – июнь, мы выявили значения атмосферных осадков в аномальные годы. Взяты самые высокие уровни половодий (1979–2005 гг. – всего пять лет) и самые низкие (1984–2009 гг. – шесть лет). Сумма средних месячных температур воздуха и осадков дана за эти же годы. Из многолетнего ряда весеннего половодья было отобрано шесть лет с очень высоким его уровнем и очень низким. Для выбранных лет по данным наблюдений метеостанции Черусти была подсчитана сумма средних месячных температур и осадки с апреля по июнь. Также данные по средней высоте половодий в аномальные годы (табл. 2). Разница в термическом режиме оказалась сравнительно небольшой – 1,9°C (5,5%), а разница в сумме осадков – более 14%.

Выбор лугов низкого и среднего уровней обусловлен режимом увлажнения. Низинные луга относятся к местообитаниям с избыточным увлажнением весной; уровень почвенно-грунтовых вод летом 50–60 см. В составе травостоя – щучка дернистая, лапчатка прямостоячая, полевица тонкая. Луга среднего уровня – местообитания с нормальным режимом увлажнения в течение всего вегетационного периода. Уровень почвенно-грунтовых вод в летний период от 75 до 105 см. В травостое господствует с высоким участием полевица собачья, а также лапчатка прямостоячая, осока черная, подмаренник топяной; появляются душистый колосок,

белоус торчащий и другое мезотравье. Специфика лугов среднего уровня – высокая изменчивость обилия видов в зависимости от степени увлажнения. Почвы дерново-подзолисто-глеевые песчаные и супесчаные на водно-ледниковых песках.

Можно констатировать следующее: из-за нарушения весенней влагозарядки поймы Оки и Пры происходит снижение продуктивности пойменных агроландшафтов, для компенсации которой требуется дополнительное увлажнение и корректировка мелиоративных режимов на действующих ороси-

тельно-обводнительных системах, приуроченных к аллювиальным почвам. Обмеление р. Оки ограничило возможности судоходства, вызвало упадок речных грузоперевозок и речного туризма. Существенно осложнилось питьевое водоснабжение г. Рязани с полумиллионным населением, для нормализации которого потребуются дополнительные капитальные вложения в реконструкцию водозаборов и строительство дополнительных артезианских скважин. Конечно, это предмет специального рассмотрения в рамках территориального планирования.

Таблица 2

Фитопродуктивность лугов (потенциальных сенокосов и пастбищ) в годы аномально высоких и низких уровней половодий

Уровень половодья, год	Средняя высота уровня в половодье над «0» графика поста, см	Сумма средней месячной температуры в апреле – июне, за период °С	Осадки апрель – июнь, мм за период	Продукция лугов, ц/га	
				низкого уровня	среднего уровня
Высокий: 1979, 1981, 1994, 1999, 2005	617	34,8	134	26,8	23,2
Низкий: 1984, 1995, 1997, 2008, 2009	349	36,7	117	26,4	18,1

ВЫВОДЫ

В результате потепления климата наблюдается изменение гидрометеорологических параметров в европейской части России и в частности в Рязанской области, которое отражается на гидрологическом режиме крупного притока Волги – р. Оки. Четко прослеживается тренд снижения уровня реки в весеннее половодье и возрастание расходов зимней межени, что приводит к осухождению пойменных агроландшафтов и вызывает ограничения сельскохозяйственного природопользования, в связи с чем необходимо проведение влагозарядки почвы, в первую очередь под овощные культуры в начальный период вегетации. Наблюдается снижение речных грузоперевозок и речного туризма.

Сложившиеся условия требуют внесения изменений в технологии природопользования. В мелиоративной отрасли можно ожидать уменьшения потребности в осушении и снижении параметров дренажа (нормы осушения, междренные расстояния) при одновременном возрастании потребности в орошении и увеличении параметров оросительных систем (оросительные нормы, объемы водозабора и др.). При отсутствии половодья ороситель-

ная норма за счет более раннего полива возрастает на 20 мм и более.

Суходольная пойма, покрытая прошлогодними растительными остатками, в годы низких половодий или их отсутствия, повышает риски весенних пожаров не только на пойме, но и на сопредельных территориях и требует превентивных мероприятий.

Действия и последствия климатических и антропогенных факторов, с учетом роста хозяйственно-питьевого водозабора, углублением русла при добыче речного песка, распашке пойменных лугов, вызвали ограничения условий и объемов природопользования в указанных выше сферах. Для их восстановления потребуются существенные инвестиции, для обоснования которых необходимы совместные исследования гидрологов, гидротехников, ландшафтоведов, экономико-географов и социологов. Опыт подобных исследований есть. Это изучение влияния осушительных систем в Мещерской низменности в 1976–1985 гг. в рамках программы СЭВ, проводимое совместно Мещерским филиалом Института гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова и географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айдаров И.П., Голованов А.И., Никольский Ю.Н. Оптимизация мелиоративных режимов орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель. М.: Агропромиздат, 1990. 60 с.
- Барабанова Т.С., Самохин М.А. Генетические факторы формирования уровней воды в среднем течении реки Оки и их изменение за многолетний период // Экология речных бассейнов: тр. 8-й Междунар. научно-практ. конф. / под общ. ред. проф. Т.А. Трифионовой. Владимир: Аркаим, 2016. С. 19–24.
- Беркович К.М., Злотина Л.В., Турькин Л.А. Руслевые процессы и использование природных ресурсов реки (на примере Оки) // География и природные ресурсы. 2015. № 1. С. 98–104.
- Бочкарев Ю.Н., Дьяконов К.Н. Дендрохронологическая индикация функционирования ландшафтов на северной и верхней границах леса // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2009. № 2. С. 37–50.
- Вендров С.Л., Глух И.С., Малик Л.К. К вопросу о влагообороте и водном режиме Западно-Сибирской равнины // Известия АН СССР. Сер. Географическая. 1967. № 1. С. 41–51.
- Водорезов А.В., Кривцов В.А. Внутренние воды // Природа Рязанской области. Рязань, 2008. С. 151–205.
- Гречушников М.Г., Самохин М.А., Эдельштейн К.К. Техногенный потенциал регулирования стока рек России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 4. С. 18–34.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М: Росгидромет, 2019. 79 с.
- Дьяконов К.Н., Харитонов Т.И. Изменения структуры типов природопользования и их экологические последствия (на примере Озерной Мещеры) // Рациональное природопользование: традиции и инновации: материалы Международной научно-практ. конф. М., 2013. С. 137–140.
- Дьяконов К.Н., Харитонов Т.И. Оценка ландшафтных функций осушенных земель Мещерской низменности // Известия РАН. Сер. Географическая. 2017. № 5. С. 57–71. DOI: 10.7868/S037324441705005X.
- Кривцов В.А., Водорезов А.В. Особенности строения и формирования рельефа на территории Рязанской области. Рязань: Ряз. гос. ун-т им. С.А. Есенина. 2006. 279 с.
- Куркин К.А. Мелиоративная типизация земель Приокской поймы, пути их первичного освоения и сельскохозяйственного использования // Осушение и освоение земель. М.: Московский рабочий, 1972. С. 195–219.
- Исмаилов Г.Х., Муращенко Н.В. Анализ и оценка поверхностных водных ресурсов бассейна реки Оки // Природообустройство. 2019. № 5. С. 85–89.
- Маслов Б.С., Пыленок П.И. Болото и пиар природных стихий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ФГБНУ ВНИИ-ГиМ им. А.Н. Костякова, 2019. 76 с.
- Мерекалова К.А., Харитонов Т.И., Сандлерский Р.Б. и др. Изменение экосистемных функций и их взаимоотношений при развитии постмелиоративного ландшафта Мещерской низменности // Феномен ландшафтно-географического исследования: сборник статей / отв. ред. Д.В. Черных. Новосибирск: Сиб. отделение РАН, 2023. С. 30–41. DOI: 10.53954/9785604788929_30.
- Новосельцев В.Н., Бесфамильный И.Б., Кизяев Б.М. и др. Техногенное загрязнение речных экосистем. М.: Научный мир, 2002. 140 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия № 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 8: Москва и Московская область. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 256 с.
- Пыленок П.И. Влияние осушения на водный режим прилегающих земель // Гидротехника и мелиорация. 1982. № 11. С. 47–49.
- Пыленок П.И., Сидоров И.В. Природоохранные мелиоративные режимы и технологии. М.: Россельхозакадемия, 2004. 323 с.
- Сперанская Е.С. Влияние осушения на луговые комплексы (на примере Мещерской низменности) // Географические проблемы осушительных мелиораций. М., 1990. С. 54–77.
- Справочник по климату СССР. Устойчивость и точность климатических характеристик. Т. 1: Солнечное сияние и температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 388 с.
- Харитонов Т.И. Реакция продуктивности ландшафтов Мещеры на смену типов природопользования // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2013. № 5. С. 67–74.
- Швер Ц.А. Атмосферные осадки на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 302 с.
- Cook E.R. *A time series analysis approach to tree-ring standardization*, Ph.D. Dissertation, Tucson, AZ, Arizona Univ. Press, 1985.
- Cook E.R., Briffa K.R., Shiyatov S. et al. Tree-ring standardization and growth-trend estimation, *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*, Dordrecht, Kluwer Academic Publ., 1990, p. 104–123.
- Varentsova N.A., Nikiforov D.A., Trotenko E.N. et al. The Oka river – current conditions and runoff calculation, *4th International Conference on the Status and Future of the Worlds Large Rivers*, Moscow, 2021, p. 521.
- Электронные ресурсы**
- Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги / под ред. В.Ю. Георгиевского. Ливны: Издатель Мухаметов Г.В., 2015. URL: <http://old2.hydrology.ru/sites/default/files/Books/verhvolga.pdf?ysclid=lyil91g5sx918651294> (дата обращения 21.04.2023).
- AllRivers. Уровень воды онлайн. URL: <https://allrivers.info/gauge/prg-deulino?ysclid=luqk76k8y3961730217> (дата обращения 21.04.2023).

Поступила в редакцию 22.03.2024

После доработки 05.04.2024

Принята к публикации 24.04.2024

WATER REGIME OF THE OKA RIVER FLOODPLAIN UNDER CLIMATE CHANGE AS A FACTOR LIMITING NATURE MANAGEMENT

K.N. Diakonov¹, P.I. Pylenok², T.I. Kharitonova³

^{1,3} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science*

² *Meschera branch of the A.N. Kostyakov Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Melioration*

¹ *Head of the Department, Corresponding Member of RAS, Professor; e-mail: diakonov.geofak@mail.ru*

² *Chief Scientific Researcher, Associate Professor, D.Sc. in Engineering; e-mail: petr.pylenok@yandex.ru*

³ *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: kharito@geogr.msu.ru*

Based on the long-term studies of water regime of the Oka River floodplain and its left tributary, the Pra River, the data on maximum water levels during the floods at the Ryazan gauging station have been summarized. According to the series of observations a downward trend in the maximum water level from 1945 to 2010 was revealed. During the years of maximum spring floods, backing of the Pra River by the Oka River waters reaches a distance of more than 160 km upstream. In 1997 the Oka floodplain was for the first time not flooded with water. An increase in average annual air temperatures has been established since the mid-1970s. The decrease in flood levels could be also attributed to the increase in water withdrawal and water consumption in Moscow and other large cities, as well as high water losses in housing and communal services, amounting to more than 20%. The effects of changes in the water regime of landscapes adjacent to the middle and lower reaches of the Pra and Oka rivers, such as decreasing water level in wells in the rural settlements, or increasing fire danger (example – 2010), are described. It was found that in the years of high floods the productivity of potential pastures and hayfields in the Pra River basin (Vozhskaya drainage system) is 28,2% higher than in the years of low spring floods, and the number of the latter is on the rise. A list of interrelated socio-economic problems caused by climate warming and changes in water regime is given. As a result of climate warming, the European part of Russia, in particular the Ryazan region, is experiencing a change in hydrometeorological parameters that affects the hydrological regime of the Oka River, leads to the drying out of floodplain agricultural landscapes and constrains the use of natural resources. In the reclamation sphere, one can expect lower need for drainage and the decrease in such drainage parameters as the drainage rates and inter-drain distances, with simultaneously increasing need for irrigation and an increase in the parameters of irrigation systems, such as irrigation rates, water intake volumes, etc. Both climatic and anthropogenic factors have limited the conditions and the scope of nature management in such spheres as water use, river navigation, recreation and river tourism. Their restoration will require significant investments.

Keywords: water regime of the floodplain, meteorological factors, nature management, technogenic factors, phytoproductivity

REFERENCES

- Aidarov I.P., Golovanov A.I., Nikolsky Yu.N. *Optimizatsiya meliorativnykh rezhimov oroshayemykh i osushayemykh sel'skokhozyaystvennykh zemel'* [Optimization of reclamation regimes of irrigated and drained agricultural lands], Moscow, Agropromizdat, 1990, 60 p. (In Russian)
- Barabanova T.S. Samokhin M.A. [Genetic factors of water level formation in the middle reaches of the Oka River and their changes over a long period], *Ekologiya rechnykh basseynov*, Tr. 8-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Ecology of river basins: Proceedings of the 8th International scientific and practical conference], prof. T.A. Trifonova (ed.), Vladimir, Arkaim Publ., 2016, p. 19–24. (In Russian)
- Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A. Ruslovyye protsessy i ispol'zovaniye prirodnnykh resursov reki (na primere Oki) [Channel processes and use of natural resources of a river (examplified by the Oka)], *Geography and Natural Resources*, 2015, no. 1, p. 98–104. (In Russian)
- Bochkarev Yu.N., Dyakonov K.N. Dendrokronologicheskaya indikatsiya funktsionirovaniya landshaftov na severnoy i verkhney granitsakh lesa [Dendrochronological indication of landscape functioning at the northern limit of forests and the mountain timber line], *Lomonosov Geography Journal*, 2009, no. 2, p. 37–50. (In Russian)
- Cook E.R. *A time series analysis approach to tree-ring standardization*, Ph.D. Dissertation, Tucson, AZ, Arizona Univ. Press, 1985.
- Cook E.R., Briffa K.R., Shiyatov S., Mazepa V. Tree-ring standardization and growth-trend estimation, *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1990, p. 104–123.
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2018 god* [Report on climate features in the Russian Federation for 2018], Moscow, Roshydromet, 2019, 79 p. (In Russian)
- Dyakonov K.N., Kharitonova T.I. [Changes in the structure of types of environmental management and their environmental consequences (case study of Ozernaya Meschera)], *Ratsional'noye prirodopol'zovaniye: traditsii i innovatsii* [Nature management; traditions and innovations], Materials of the international scientific and practical conference, M.V. Slipenchuk (ed.), Moscow, 2013, p. 137–140. (In Russian)

- Dyakonov K.N., Kharitonova T.I. Otsenka landshaftnykh funktsiy osushennykh zemel' Meshcherskoy nizmennosti [Assessment of landscape functions of drained lands of the Meshchera Lowland], *Izv. RAS, Ser. Geographical*, 2017, no. 5, p. 57–71, DOI 10.7868/S037324441705005X. (In Russian)
- Grechushnikova M.G., Samokhin M.A., Edelshteyn K.K. Tekhnogennyy potentsial regulirovaniya stoka rek Rossii [Technogenic potential for regulating the flow of Russian rivers], *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, 2017, no. 4, p. 18–34. (In Russian)
- Ismailov G.Kh., Murashchenkova N.V. Analiz i otsenka poverkhnostnykh vodnykh resursov basseyna reki Oki [Analysis and assessment of surface water resources of the Oka River basin], *Prirodoobustroystvo*, 2019, no. 5, p. 85–89. (In Russian)
- Kharitonova T.I. Reaktsiya produktivnosti landshaftov Meshchery na smenu tipov prirodoopol'zovaniya [Response of the productivity of Meshchera landscapes to the changes in nature management types], *Lomonosov Geography Journal*, 2013, no. 5, p. 67–74. (In Russian)
- Krivtsov V.A., Vodorezov A.V. Osobennosti stroyeniya i formirovaniya rel'yefa na territorii Ryazanskoy oblasti [Specific features of the structure and formation of the relief within the territory of the Ryazan region], Ryazan, Ryazan State University named after S.A. Yesenina press, 2006, 279 p. (In Russian)
- Kurkin K.A. [Reclamation typification of lands of the Priokskaya floodplain, ways of their primary development and agricultural use], *Osushenie i osvoenie zemel' [Drainage and development of lands]*, Moscow, Moskovskiy rabochiy, 1972, p. 195–219. (In Russian)
- Maslov B.S., Pylenok P.I. *Boloto i piar prirodnykh stikhiy* [Wetland and PR of natural forces], 2nd ed., Moscow, A.N. Kostyakov Federal Research Center for Hydraulic Engineering and Melioration Publ., 2019, 76 p. (In Russian)
- Merekalova K.A., Kharitonova T.I., Sandler'sky R.B., Dyakonov K.N. [Changes in ecosystem functions and their relationships during the evolution of the post-reclamation landscape of the Meshchera Lowland], *Fenomen landshaftno-geograficheskogo issledovaniya* [Phenomenon of landscape-geographical research], Collection of articles D.V. Chernykh (ed.), Novosibirsk, Sibirskoye otdeleniye Rossiyskoy akademii nauk Publ., 2023, p. 30–41, DOI: 10.53954/9785604788929_30. (In Russian)
- Nauchno-prikladnyy spravochnik po klimatu SSSR, Seriya no. 3, Mnogoletniye dannyye* [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR, Series no. 3, Long-term data], vol. 1–6, iss. 8, Moscow and Moscow region, Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990, 256 p. (In Russian)
- Novosel'tsev V.N., Besfamil'ny I.B., Kizyaev B.M. et al. *Tekhnogennoye zagryazneniye rechnykh ekosistem* [Technogenic pollution of river ecosystems], Moscow, Scientific World Publ. House, 2002, 140 p. (In Russian)
- Pylenok P.I. Vliyaniye osusheniya na vodnyy rezhim prilegayushchikh zemel' [The influence of drainage on the water regime of adjacent lands], *Gidrotekhnika i melioratsiya*, 1982, no. 11, p. 47–49. (In Russian)
- Pylenok P.I., Sidorov I.V. *Prirodookhrannyye meliorativnyye rezhimy i tekhnologii* [Environmental reclamation regimes and technologies], Moscow, Russian Agricultural Academy Publ., 2004, 323 p. (In Russian)
- Shver Ts.A. *Atmosfernyye osadki na territorii SSSR* [Atmospheric precipitation on the territory of the USSR], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 302 p. (In Russian)
- Speranskaya E.S. [The influence of drainage on meadow complexes (case study of the Meshchera Lowland)], *Geograficheskiye problemy osushitel'nykh melioratsiy* [Geographical problems of drainage amelioration], Moscow, 1990, p. 54–77. (In Russian)
- Spravochnik po klimatu SSSR. Ustoychivost' i tochnost' klimaticheskikh kharakteristik* [Handbook on the climate of the USSR. Stability and accuracy of climatic characteristics], vol. 1, Solnechnoye siyaniye i temperatura vozdukh i pochvy [Sunshine and air and soil temperature], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975 p. (In Russian)
- Varentsova N.A., Nikiforov D. A., Trotsenko E. N. et al. The Oka river – current conditions and runoff calculation, *4th International Conference on the Status and Future of the World's Large Rivers*, Moscow, 2021, p. 521.
- Vendrov S.L., Glukh I.S., Malik L.K. K voprosu o vlagoobroto i vodnom rezhime Zapadno-Sibirskoy ravniny [On the issue of moisture circulation and water regime of the West Siberian Plain], *Izvestiya Akademii Nauk, Seriya geograficheskaya*, 1967, no. 1, p. 41–51. (In Russian)
- Vodorezov A.V., Krivtsov V.A. [Inland waters], *Priroda Ryazanskoy oblasti* [The nature of Ryazan region], Ryazan', 2008, p. 151–205. (In Russian)

Web sources

- Nauchno-prikladnyy spravochnik: Osnovnyye gidrologicheskiye kharakteristiki rek basseyna Verkhney Volgi* [Scientific and applied reference book: Basic hydrological characteristics of rivers within the Upper Volga basin], V.Yu. Georgievsky (ed.), Livny, G.V. Mukhametov Publ., 2015, URL: <http://old2.hydrology.ru/sites/default/files/Books/verhvolga.pdf?ysclid=lyil91g5sx918651294> (date of access 21.04.2023). (In Russian)
- AllRivers. Water level online, URL: <https://allrivers.info/gauge/pra-deulino?ysclid=luqk76k8y3961730217> (date of access 21.04.2023).

Received 22.03.2024

Revised 05.04.2024

Accepted 26.06.2024

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Общие требования к статье

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Объем статьи (текст, таблицы, список литературы, рисунки, перевод на английский) не должен превышать 1 а. л. (40 тыс. печатных знаков, включая пробелы, 5 рисунков), не более 50 тыс. знаков для обзорных статей. Объем кратких сообщений составляет 0,25 а. л. Рекомендуемый список литературы – до 30 наиболее актуальных работ по рассматриваемому вопросу. В обзорных статьях список литературы не должен превышать 60 источников. Для кратких сообщений список литературы может быть до 10 источников. Самоцитирований в списке литературы не должно быть более 10% от общего числа использованных источников.

Статья должна быть четко структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Все материалы статьи компонуется **в единый сводный файл в формате Word** и размещаются в нем в следующей последовательности:

1. УДК;
 2. Название статьи;
 3. Инициалы и фамилия автора(ов);
 4. Для каждого автора приводится полное название учреждения, в котором выполнялось исследование, подразделение (кафедра, лаборатория и т. п.), уч. степень, должность, *e-mail*;
 5. Аннотация статьи;
 6. Ключевые слова;
 7. Текст статьи;
 8. Благодарности, в том числе – финансирование;
 9. Список литературы;
 10. Таблицы;
 11. Подписуточные подписи;
 12. Рисунки;
 13. Перевод на английский язык пунктов 2–6, 8–9,
11. В пункте 4 просьба использовать в переводе официальное наименование организации на английском языке (а не собственный вариант перевода).

Подготовка текста

Текст набирается 12 кеглем через один интервал, поля слева, сверху и снизу – 2 см, справа – 1,5 см. Не допускается использование табулятора или пробелов для обозначения абзаца, ручных переносов в словах, переносов строк клавишей Enter в рамках одного предложения, разрывов страниц и разделов. В тексте статьи возможно использование полужирного шрифта и курсива для смысловых выделений, однако не должно использоваться подчеркивание. Десятичная часть чисел отделяется запятой.

Формулы набираются в редакторе формул в отдельную строку и имеют сквозную нумерацию по всей статье, выровненную по правому краю строки.

Таблицы набираются в Word, не допускается разделение ячеек косой линией. Ручные переносы не допускаются.

Рисунки представляются отдельными файлами, названными по их номерам (например: рис.1.tiff, рис.2.jpg), в графическом формате (eps, tif, jpg) разрешением не менее 300 dpi для полутоновых и 600 dpi для черно-белых изображений и графиков. Для графиков, выполненных в Excel, дополнительно прилагаются соответствующие файлы Excel. Картинки должны быть полностью готовы к изданию. Представление рисунков в виде схем Word или набранного текста с добавлением графических элементов, наложенных сверху, **не допускается**.

Ссылка на источник в тексте документа указывается в квадратных скобках. В тексте ссылки через запятую указывается фамилия автора и год издания. Если ссылок несколько – они отделяются друг от друга точкой с запятой. Ссылка на источник на иностранном языке указывается на языке оригинала. Список русскоязычной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, 7.82–2001 и 7.0.5–2008. DOI (при наличии) указывается в конце ссылки. Ссылка на источник на английском языке оформляется единообразно и в русскоязычном, и в переведенном на английский язык списке литературы. **При наличии у русскоязычного издания, которое фигурирует в списке литературы, оригинальной или переводной англоязычной версии в ссылке должна быть указана именно она, а не русскоязычный вариант.**

Более подробные инструкции по подготовке статей для авторов можно найти на сайте журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться автору на переработку.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел. +7(495)9392923. Сайт журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Электронная почта: vestnik_geography@mail.ru.

Плата за публикацию не взимается

У Ч Р Е Д И Т Е Л И :

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
географический факультет МГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ :

С.А. ДОБРОЛЮБОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН (главный редактор)
В.С. ТИКУНОВ, доктор географических наук, профессор (зам. главного редактора)
Е.А. ЕРЕМЕНКО, кандидат географических наук (ответственный секретарь)
А.И. АЛЕКСЕЕВ, доктор географических наук, профессор
С.И. БОЛЫСОВ, доктор географических наук, профессор
А.Н. ГЕННАДИЕВ, доктор географических наук, профессор
К.Н. ДЬЯКОНОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН
С.С. ЗИЛИТИНКЕВИЧ, доктор географических наук, профессор (Метеорологический институт Финляндии)
О.Г. ЗОЛИНА, профессор (Университет Ж. Фурье, г. Гренобль, Франция)
В.Ю. ИВАНОВ, профессор (Мичиганский университет, США)
Н.С. КАСИМОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН
А.В. КИСЛОВ, доктор географических наук, профессор
В.А. КОЛОСОВ, доктор географических наук, профессор
К.П. КОЛТЕРМАНН, профессор
М. КОНЕЧНЫ, профессор (Университет г. Брно, Чешская Республика)
С.Б. КРООНЕНБЕРГ, профессор (Технологический университет г. Делфт, Нидерланды)
С.М. МАЛХАЗОВА, доктор географических наук, профессор
Г. МОУРИ, профессор (Университет г. Токио, Япония)
С.А. СОКРАТОВ, кандидат географических наук, PhD
П.Е. ТАРАСОВ, доктор наук, профессор (Берлинский Свободный университет, Германия)
Н.Л. ФРОЛОВА, доктор географических наук, профессор
В.Е. ШУВАЛОВ, кандидат географических наук, доцент
Т.А. ЯНИНА, доктор географических наук, профессор
В.В. ЯНКО-ХОМБАХ, доктор геолого-минералогических наук, профессор (Институт прикладных исследований Авалон, г. Виннипег, Канада)

EDITORIAL BOARD :

S.A. DOBROLUBOV, doctor of science, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor (Editor-in-chief)
V.S. TIKUNOV, doctor of science, professor (Deputy Editor-in-chief)
E.A. EREMENKO, candidate of science (Secretary-General)
A.I. ALEKSEEV, doctor of science, professor
S.I. BOLYSOV, doctor of science, professor
A.N. GENNADIYEV, doctor of science, professor
K.N. D'YAKONOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor
S.S. ZILITINKEVICH, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)
O.G. ZOLINA, professor (Fourier University, Grenoble, France)
V.YU. IVANOV, professor (Michigan University, USA)
N.S. KASIMOV, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor
A.V. KISLOV, doctor of science, professor
V.A. KOLOSOV, doctor of science, professor
K.P. KOLTERMANN, professor
M. KONECNY, professor (Masaryk University, Faculty of Science, Czech Republic)
S.B. KROONENBERG, professor (Delft University of Technology, Department of Applied Earth Sciences, Netherlands)
S.M. MALKHAZOVA, doctor of science, professor
G. MOURI, professor (University of Tokyo, Japan)
S.A. SOKRATOV, candidate of science, PhD
P.E. TARASOV, professor (Free Berlin University, Germany)
N.L. FROLOVA, doctor of science, professor
V.E. SHUVALOV, candidate of science, associate professor
T.A. YANINA, doctor of science, professor
V.V. YANKO-KHOMBACH, doctor of science, professor (Avalon Institute of Applied Sciences, Winnipeg, Canada)

Номер подготовили члены редколлегии

С.М. МАЛХАЗОВА, В.А. КОЛОСОВ

Редактор **Е.С. Повалишникова**

Адрес редколлегии:

119992, Москва, Ленинские горы, МГУ,
географический факультет, комн. 2108а. Тел. 7(495) 939-29-23

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ.
Свидетельство о регистрации № 1552 от 14 февраля 1991 г.

Подписано в печать 00.00.2016. Формат 60×90/8.
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсет. № 1. Офсетная печать. Усл. печ. л.
Уч.-изд. л. 00. Тираж экз. Изд. № 00000. Заказ №

Типография МГУ.
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 15.