



*ИЗВЕСТИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК*

# СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ



НАУКА

— 1727 —

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

Том 88, номер 4, 2024

---

---

### ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА

Барьерность и транспортная доступность государственных границ  
как факторы трансграничных взаимодействий  
*А. Б. Себенцов, М. С. Карпенко, К. А. Морачевская, А. В. Шелудков* 469

Дифференциация стран Евразийского экономического союза по уровню развития  
лечебно-оздоровительного туризма  
*Е. С. Кулаковский, А. И. Чистобаев, Н. А. Грудцын* 485

---

### ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

География прямолинейных неразветвленных русел и условия их формирования  
*Р. С. Чалов, Е. Р. Чалова, Г. Б. Голубцов* 496

Влияние возделываемых культур и удобрений на дыхание почвы  
(Длительный опыт Тимирязевской сельскохозяйственной академии)  
*О. Э. Суховеева, А. В. Рыжов, А. В. Почикалов, Д. В. Карелин,  
И. А. Заверткин, В. А. Николаев* 508

---

### ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Эколого-геохимическая оценка водных объектов Верхней Волги  
*Г. С. Шилькрот, Т. М. Кудерина, С. Б. Сулова* 521

Антропогенное влияние на ООПТ города (на примере Севастополя)  
*И. Ф. Петрова* 529

Воздействие водного хозяйства на водные ресурсы водосборов морей,  
омывающих Европейскую территорию России  
*Н. И. Коронкевич, К. В. Лукьянов* 544

Оценка химического загрязнения и качества вод рек юго-восточной части  
Калининградской области  
*С. И. Зотов, Ю. А. Спирин, В. С. Таран* 554

---

### РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Пространственно-типологическая структура и организация летнего  
населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья (Забайкальский край)  
*Ю. С. Равкин, И. В. Покровская, Е. Э. Малков, И. Н. Богомолова* 568

Типы сетевого поведения пользователей “ВКонтакте” в городах Вологодской области  
*Н. А. Сеницын* 583

---

---

## CONTENTS

---

---

Volume 88, No. 4, 2024

---

---

### Territorial Organization of Society

- Barrier Function and Transport Accessibility of the Border as Factors of Cross-Border Interactions  
*A. B. Sebentsov, M. S. Karpenko, K. A. Morachevskaya, and A. V. Sheludkov* 469
- Differentiation of Countries of the Eurasian Economic Union by Level of Development of Medical and Health Tourism  
*E. S. Kulakovskiy, A. I. Chistobaev, and N. A. Grudtsyn* 485

---

### Natural Processes and Dynamics of Geosystems

- Geography of Unbranched Channels and Conditions for Their Formation  
*R. S. Chalov, E. R. Chalova, and G. B. Golubtsov* 496
- Influence of Cultivated Crops and Fertilizers on Soil Respiration (Long-Term Field Experiment of Timiryazev Agricultural Academy)  
*O. E. Sukhoveeva, A. V. Ryzhov, A. V. Pochikalov, D. V. Karelin, I. A. Zavertkin, and V. A. Nikolaev* 508

---

### Natural Resource Use and Geoecology

- Ecological and Geochemical Assessment of the Upper Volga Water Bodies  
*G. S. Shilkrot, T. M. Kuderina, and S. B. Suslova* 521
- Anthropogenic Influence on Protected Areas of City (The Case of Sevastopol)  
*I. F. Petrova* 529
- The Impact of Water Management on the Water Resources of the Sea Basins on the European Russia  
*N. I. Koronkevich and K. V. Lukyanov* 544
- Assessment of Chemical Pollution and Water Quality of Rivers in the Southeastern Part of Kaliningrad Oblast  
*S. I. Zotov, Yu. A. Spirin, and V. S. Taran* 554

---

### Regional Geographical Problems

- Spatial-Typological Structure and Organization of Summer Bird Assemblages of the Khentii-Chikoy Highland (Zabaykalsky Krai)  
*Yu. S. Ravkin, I. V. Pokrovskaya, E. E. Malkov, and I. N. Bogomolova* 568
- Types of Network Behavior of Users of Social Network “VKontakte” in the Cities of Vologda Oblast  
*N. A. Sinitsyn* 583
- 
-

УДК 911.6(470+476)

## БАРЬЕРНОСТЬ И ТРАНСПОРТНАЯ ДОСТУПНОСТЬ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГРАНИЦ КАК ФАКТОРЫ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

© 2024 г. А. Б. Себенцов<sup>1,2,\*</sup>, М. С. Карпенко<sup>1,2,\*\*</sup>,  
К. А. Морачевская<sup>1,3,\*\*\*</sup>, А. В. Шелудков<sup>2,\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>РАНХиГС, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*e-mail: asebentsov@igras.ru

\*\*e-mail: kms@igras.ru

\*\*\*e-mail: k.morachevskaya@spbu.ru

\*\*\*\*e-mail: a.v.sheludkov@igras.ru

Поступила в редакцию 27.02.2024 г.

После доработки 01.07.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Интенсивная интеграция и трансграничная регионализация, наблюдавшиеся на многих межгосударственных границах Европы в последние десятилетия, сделали необычайно популярным концепт барьерности государственных границ. Низкая барьерность границы справедливо воспринимается исследователями как одно из необходимых условий для интенсивного приграничного сотрудничества, а также как его закономерный результат. Однако многие исследователи при оценке барьерности фокусировались исключительно на самой линии государственной границы, игнорируя транспортно-коммуникационные свойства прилежащих к ней территорий. Авторы статьи предлагают собственный комбинированный метод оценки транспортной доступности и барьерности границы, апробированный на российско-казахстанском и российско-белорусском участках границы. Суть метода состоит в расчете транспортной доступности мест пересечения границы для населенных пунктов приграничных регионов с учетом конфигурации транспортной сети. Преимущество метода – в возможности сравнивать границы разной степени открытости и в получении представления, какая часть территории и населения по обе стороны границы может быть вовлечена в трансграничные связи. Исследование показало, что благодаря практически полному отсутствию пограничного контроля российско-белорусская граница имеет более высокую транспортную проницаемость и лучшую сохранность транспортной сети. Все это обеспечивает высокий уровень транспортной доступности для населения приграничья. В российско-казахстанском приграничье, где число и плотность мест пересечения границы меньше, а сеть приграничных дорог сохранилась гораздо хуже, сравнительно высокий уровень транспортной доступности границы характерен для небольшого числа регионов. В условиях сокращения числа пунктов пропуска в 2000-е годы здесь выросла протяженность “глухих” границ – малодоступных или недоступных для населения этих регионов. Сравнительный анализ трансграничных практик населения и результатов расчета транспортной доступности показал, что транспортная доступность границы и соседа, барьерность и проницаемость границы носят потенциальный характер, то есть не объясняют сами по себе трансграничные контакты. Конкретный территориальный контекст, фундаментальные социально-экономические и политические особенности и текущая конъюнктура, исторические и культурные факторы также оказывают влияние на реализацию потенциала доступности границы и соседа.

*Ключевые слова:* транспортная доступность, барьерность, приграничное сотрудничество, трансграничная мобильность, трансграничная регионализация, соседство, проницаемость границ, трансграничные связи

DOI: 10.31857/S2587556624040016 EDN: RQILUK

### ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Трансграничная регионализация часто рассматривается исследователями как высшая стадия развития приграничного сотрудничества и других трансграничных взаимодействий, веду-

щих к формированию трансграничных регионов (Шлямин, 2002). Опыт исследований показывает, что наиболее интенсивно процессы регионализации развиваются на внутренних границах интеграционных группировок (Perkmann, 2003), обеспечивая так называемую малую интеграцию

между приграничными регионами. Эта задача актуальна и для внутренних границ Евразийского экономического союза, где, несмотря на достижения большой интеграции, границы остаются значимым барьером, а малая интеграция пока мало влияет на жизнь приграничных регионов (Карпенко и др., 2021, Морачевская, 2016, Kolosov and Morachevskaya, 2022).

Теоретические исследования доказывают, что степень интегрированности и региональной связности (*regioness*) может сильно меняться в зависимости от рассматриваемой сферы – социальной, культурной, экономической и др. (Hettne, 2006). Устойчивость связей также различается, однако сама возможность их возникновения, поддержания и развития в век интернета по-прежнему в значительной мере определяется товарными потоками и непосредственными контактами между людьми. Они в свою очередь зависят от, во-первых, соотношения контактных и барьерных функций границы, а во-вторых, транспортной доступности соседнего государства – соответствующей инфраструктуры и транспортного сообщения. В ЕС улучшение транспортной доступности вообще и трансграничных территорий в частности в последние десятилетия рассматривается как один из наиболее важных признаков территориальной сплоченности.

Многие работы (Шувалов, 1982; Furmankiewicz et al., 2020) показывают, что уровень барьерности границ и развитие транспортных коммуникаций тесно связаны между собой. Высокая плотность коммуникаций, пересекающих государственную границу, в значительной мере способствует снижению ее барьерности.

Исследования некоторых авторов демонстрируют, что многие проекты региональной интеграции и трансграничной регионализации в Европе продвигались под флагом развития транспортных коммуникаций – железнодорожных и автомобильных магистралей, горных и подводных тоннелей (Кузнецов, 2008). Некоторые еврорегионы создавались с целью реализовать проекты создания современных трансевропейских транспортных коридоров (например, еврорегион Тироль–Альто-Адидже–Трентино).

В то же время верно и обратное: в ряде исследований показано, как транспортные коммуникации адаптируются к изменению режима границ [см., например, (Тархов, 2005)]. Некоторые авторы подтверждают, что барьерность гораздо более широкое и сложное понятие, не тождественное “транспортной проницаемости”, а включающее в себя также понятие “режима границы” (Kolosov et al., 2016).

Согласно В.Е. Шувалову, следует отделять функции деления и связи от барьерных и контактных функций. Первые отражают категории

дискретности и континуальности пространства, вторые относятся к характеристике взаимодействия объектов (в том числе приграничных регионов) между собой (Шувалов, 1982). Транспортная проницаемость как отражение барьерной функции границы, а также функция связи как отражение континуальности трансграничного пространства находятся в фокусе при построении “трансграничных полей” транспортной доступности. Все больше исследователей и практиков предлагают учитывать не только барьерность самой линии границы, но также оценивать эффекты, возникающие благодаря транспортно-коммуникационным свойствам граничащих друг с другом территорий (Морачевская, 2022; Rietveld, 2014).

Дискуссионным остается вопрос, что именно для практики трансграничных контактов и перспектив трансграничной регионализации дают особенности проницаемости границы с точки зрения транспортный путей. Авторы данной работы, стремясь внести вклад в эту дискуссию, предлагают собственный комбинированный метод оценки транспортной доступности и барьерности границы, апробированный на российско-казахстанском и российско-белорусском участках границ. В первой части статьи приводится дискуссия о барьерных свойствах границы и возникающих приграничных эффектах, а также их взаимосвязях с транспортной доступностью соседнего государства. Вторая часть посвящена разработке и апробации метода оценки транспортной доступности и барьерности границы на материалах внутренних границ ЕАЭС – России и Беларуси, России и Казахстана. Наконец, в третьей части авторы обращаются к вопросу, что именно для практики трансграничных взаимодействий означает транспортная доступность другого государства, разбирая разные типы соседства, представленные в российско-белорусском и российско-казахстанском пограничье.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАМКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Барьерность остается чрезвычайно сложным и комплексным понятием. Можно выделить три связанных между собой базовых подхода, раскрывающих суть этого феномена.

В рамках первого подхода барьерность сводится к числу мест пересечения границы, или к транспортной проницаемости границы. Свойства барьерности и контактности носят в значительной мере потенциальный характер и проявляются только в связи с различными потоками, проникающими через границу. Поэтому число мест пересечений границы потоками само по себе может указывать на уровень барьерности границ: на этом построены некоторые методы

ее оценки, встречающиеся в ряде работ (Тархов, 2007; Komornicki, 1999). По мнению В.Е. Шувалова, поскольку барьерная функция границы состоит в ослаблении или прекращении взаимодействия между объектами, то транспортную проницаемость границы можно рассматривать как выражение этой функции (Шувалов, 2022). Транспортная проницаемость косвенно характеризует транспортную связность ареала (страны, района) с соседними ареалами через границы (в виде пунктов их пересечения), степень ее внешней открытости или закрытости, потенциал развития внешних связей (Тархов, 2022). Таким образом, территориальный рисунок трасс, по которым распространяются межрайонные потоки, также может ослаблять или усиливать проявление барьерных функций границы (Шувалов, 1982; Shuvalov, 1983). Из этого следует, что эффекты барьерности могут быть усилены или, наоборот, компенсированы свойствами сопредельных территорий.

Второй подход предполагает отождествление барьерности и режима границы. Специфические правила пересечения границы для потока товаров, капиталов, людей и др. характеризуют свойство избирательной проницаемости границы, ее фильтрующую функцию. Кроме того, избирательная проницаемость создает определенный уровень и характер издержек на пересечение границы (Martinez, 1994). Часть исследователей полагают, что границы создают “заметный разрыв” в схеме сетевого взаимодействия или “скачок” в стоимости взаимодействия (Nijkamp et al., 1990). Эмпирические исследования показали, что резкие изменения режима границы (например, вследствие повышения ее статуса) могут оказывать чрезвычайно большое влияние на развитие транспортных сетей. Так, повышение статуса границы и рост ее барьерности приводит к деструкции топологии транспортных сетей, снижению связности и последующим специфическим адаптациям (Тархов, 2005). Интеграционные процессы и ослабление режима границ также способствует адаптации транспортных сетей, что ведет к росту проницаемости границы (Furmankiewicz et al., 2020).

В соответствии с третьим подходом барьерность рассматривается как отражение свойств соседствующих территорий. Так, В.А. Колосов и Р.Ф. Туровский (1997) выделяли первичные и вторичные факторы, влияющие на соотношение барьерных и контактных функций. Среди первичных, например, величина и компактность государственной территории, природная барьерность — наличие рек, хребтов и иных природных препятствий, совпадающих с государственной границей. Ко вторичным относятся производные факторы — экономико-географическое положение, уровень экономического раз-

вития, отраслевая структура и взаимодополняемость хозяйства.

Развитие исследований шло по пути интеграции данных подходов и вовлечения новых категорий, так или иначе связанных с понятием барьерности (доступность, прозрачность и др.).

В.А. Колосов, М.В. Зотова и А.Б. Себенцов (Колосов и др., 2016) предложили собственную методику балльной оценки барьерности границы. Авторами анализировалось число пунктов пропуска и их плотность, а также режим границы (визовый режим, режим работы пункта пропуска, нормы и правила пересечения границы, многочисленные исключения для отдельных категорий граждан). Было показано, как обеспечивается избирательная проницаемость границы, а также то, что барьерность границы может быть асимметрична. Особенностью этой работы является то, что пограничные эффекты рассматривались как свойства самой линии государственной границы, в то время как роль сопредельных территорий в развитии эффекта барьерности не учитывалась. Похожего подхода придерживаются и некоторые другие авторы. А.Н. Фартышевым (2016) разработан авторский коэффициент прозрачности границы, учитывающий балльную оценку непосредственных способов обустройства границы, инфраструктуру, уровень политической изолированности и др. Л.Г. Осмоловская (2016) предложила типологию приграничных регионов, основанную на соотношении барьерной и контактной функций границы.

Объединяя представления доступности и барьерности границы, некоторые исследователи (Varol and Söylemez, 2017) разрабатывали концепт проницаемости границы (*border permeability*), которая понимается как функция социальной легкости, экономической скорости, пространственной плотности и политической взаимодополняемости. Методика оценки проницаемости включает набор из 23 переменных (экономических, социальных, пространственных, политических), которые анализируются по квадратам 10 на 10 км.

Среди наиболее удачных примеров синтеза всех трех подходов можно выделить работу П. Ритвельда (Rietveld, 2012). Он особое внимание уделял эффектам барьерности (*barrier effects of borders*), понимаемым им как издержки, возникающие в результате пересечения границы. Часть этих издержек определяется самими правилами пересечения, а часть — различиями соседствующих пространств, связанными с прямыми транспортными издержками, особенностями регулирования (*public sector regulation*), различиями в институциональном устройстве, информационной асимметрией и даже потребительскими предпочтениями граждан. Он предло-

жил ряд подходов для измерения приграничных эффектов — гравитационную модель международной торговли, сопоставление пар регионов разделенных и неразделенных границей, сопоставление интенсивности трафика на разном расстоянии от границы, уровня обеспеченности инфраструктурой. Автор обратил внимание на ограничения предложенных им методов оценки барьерных эффектов границы: недостаток статистических данных о транспортных потоках (особенно автомобильного транспорта), взаимной торговле между странами на уровне регион—регион, сложности отбора релевантных данных для сопоставления пар городов. Единственным по-настоящему надежными и сопоставимыми показателями является обеспеченность инфраструктурой, что может быть выражено, например, плотностью дорог.

Наши предыдущие исследования также показывают, что транспорт играет центральную роль в действии фактора приграничности, который бывает трудно отделить от фактора периферийности (Морачевская, 2022; Kolosov and Morachevskaya, 2022). Конкретные проявления свойств приграничности и периферийности в соответствии с позиционным принципом носят вероятностный характер и зависят от большого числа свойств самой территории. Мы полагаем, что распространение обоих этих явлений связано с транспортно-коммуникационными свойствами территориями (Морачевская, 2022). Одной из важнейших характеристик таких свойств может служить транспортная доступность, которая трактуется в классической работе У. Хансена (Hansen, 1959) как возможность достижения различных мест. Методы расчета транспортной доступности разработаны В.Н. Бугроменко (1987, 2010), однако были модифицированы в более поздних исследованиях [см., например, (Неретин, 2018)]. П. Росик, М. Степняк, Т. Коморницки в работе, посвященной опыту многомерной оценки развития транспортных сетей Польши, показывают, как плотность населения, плотность и конфигурация транспортной сети влияют на потенциальную транспортную доступность приграничных районов страны на международном уровне (Rosik et al., 2015).

Соединение транспортной доступности границы с транспортной проницаемостью с учетом барьерности в один методический конструкт позволит нам, во-первых, рассматривать барьерность границы с позиции транспортных издержек, выраженных в часах. Во-вторых, даст возможность оценить потенциал влияния барьерных свойств границы не только для отдельных точек пространства, как это сделано в классической работе В.Е. Шувалова (1982), а сразу для всех точек пространства в пределах выбранных приграничных территорий.

## ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Итак, как было показано выше, барьерные эффекты границы зависят не только от режима границы, но также и от транспортно-коммуникационных особенностей территории, которые играют решающую роль в распространении этих эффектов вглубь сопредельных территорий. Иначе говоря, барьерность может особенно сильно ощущаться не только там, где отсутствует пункт пропуска, но также и там, где нет достаточной для достижения места пересечения границы дорожно-транспортной сети. Для учета транспортно-коммуникационных особенностей территории было решено использовать автотранспортную доступность, которая учитывает как плотность автомобильных дорог, так и конфигурацию автодорожной сети.

Обычно привычными точками отсчета для измерения транспортной доступности территории выступают населенные пункты, в нашем же случае этими точками стали места пересечения государственной границы. Такой подход, во-первых, позволяет при расчете транспортной доступности границы учитывать ее проницаемость — один из наиболее универсальных индикаторов уровня барьерности границы.

Во-вторых, подход дает возможность сравнивать открытые границы (с Беларусью), где на второстепенных дорогах фактически отсутствует регулярный пограничный контроль, с более барьерными границами, где пересечение возможно только на весьма ограниченном числе автомобильных пунктов пропуска (двусторонних и многосторонних автомобильных пунктов пропуска на границе с Казахстаном). Некоторую методическую сложность создают 105 местных пунктов пропуска на границе России и Казахстана, которые облегчают пересечение границы жителям приграничных районов, но могут быть использованы только для посещения соседнего района сопредельной страны в срок до трех суток. Полевые исследования показали, что, хотя на практике данные пункты пропуска используются для поездок и в более удаленные от границы районы сопредельной страны, режим работы этих пунктов нерегулярен (несколько дней в неделю или по заявке местных жителей), а масштабы их использования настолько невелики, что ими можно пренебречь.

В-третьих, метод позволяет выделить четкие зоны транспортной доступности, а значит, и получить представление о том, какая часть территории и населения по обе стороны границы может быть вовлечена в интенсивные трансграничные взаимодействия.

На первом этапе проводился расчет зон транспортной доступности относительно мест пересечения границы. Для этих целей использовался граф дорожной сети, построенный на основе данных OpenStreetMap (OSM). Метод накопленной

стоимости перемещения (cumulative travel cost) позволил сгладить погрешности в графе дорожной сети и получить непрерывные зоны доступности. Для этого было создано растровое изображение разрешением 1 км, где каждой ячейке присвоена стоимость перемещения в минутах (travel cost). При расчете скорости перемещения по автодорогам использовались следующие допущения о скоростном режиме по классам дорог в OSM: motorway, trunk – 90 км/ч; primary – 80 км/ч; secondary – 60 км/ч; tertiary, unclassified – 40 км/ч. Для территорий, расположенных вне дорог, базовая скорость перемещения составляла 5 км/ч, при этом особенности землепользования, естественные барьеры (реки и озера по данным OSM) и сама государственная граница также влияли на скорость, снижая ее до 0. В результате для каждой ячейки растра было рассчитано минимальное накопленное время в пути до ближайшего места пересечения границы. Исследуемая территория была разделена на зоны по ближайшим пунктам пропуска (allocation map), для каждого пункта выделены зоны доступности (cumulative cost map). Все расчеты проведены в программной среде R (библиотеки terra, sf) и QGIS (модуль grass r.cost).

На втором этапе осуществлялась подготовка и географическая привязка данных о людности населенных пунктов пограничья. Данные о численности населения на уровне отдельных населенных пунктов по российским регионам были взяты из набора данных проекта ИНИД<sup>1</sup>. При подготовке набора использовались материалы Всероссийской переписи населения 2010 г., которые затем были уточнены на основе сведений из региональных медицинских информационно-аналитических центров (МИАЦ), информации о миграциях, а также об изменениях административно-территориального и муниципального деления.

Для Казахстана и Беларуси были взяты данные переписей населения 2009 г. Актуализация данных в обоих случаях велась в ручном режиме и только для наиболее крупных населенных пунктов по состоянию на 2020 г., что неизбежно сказалось на точности данных. Большая часть населенных пунктов с российской и казахстанской сторон была геокодирована в автоматическом режиме, белорусской – в ручном.

Информация о численности населения соответствующих зон транспортной доступности была извлечена из растровых изображений по координатам сведений о людности отдельных населенных пунктов.

Интерпретация результатов, полученных при апробации метода на российско-белорусском

и российско-казахстанском пограничье, базируется также на полевых исследованиях авторов 2014–2023 гг. В ходе них проводились серии экспертных интервью, обследования автовокзалов, рынков и другие типы визуальных наблюдений, помогающих оценить мотивы и интенсивность трансграничной мобильности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Транспортная проницаемость и режим границы*

К границе России и Казахстана примыкают 12 регионов с российской стороны и 7 с казахстанской. Большая протяженность (7.5 тыс. км) и низкая физико-географическая барьерность границы (за исключением некоторых участков на востоке и отдельных частей границы, проходящих по трансграничным рекам) обуславливают ее коммуникационную связность за счет большого количества объектов транспортной инфраструктуры. Границу России и Казахстана пересекают 16 железнодорожных магистралей, около 200 автомобильных дорог, из которых 36 дороги с твердым покрытием, 33 – без него, оставшиеся относятся к категории грунтовых (Голунов, 2005). На сухопутной границе России и Казахстана в общей сложности расположены 49 пунктов пропуска (ПП), из которых 30 автомобильные, 19 железнодорожные. Железнодорожные пункты пропуска играют важную роль прежде всего в товарно-сырьевых связях крупнейших предприятий в сфере металлургии, угольной промышленности и нефтегазового сектора, однако для жителей пограничья особенно значимы автомобильные пункты пропуска. Из 30 автомобильных пунктов пропуска 13 двусторонние, 17 многосторонние. Большая часть двусторонних автомобильных пунктов пропуска (предназначены только для граждан России и Казахстана) расположена в слабозаселенных и весьма отдаленных районах Алтайского края, Омской, Волгоградской, Оренбургской и Челябинской областей. Многосторонние пункты пропуска, напротив, сконцентрированы в районах высокой заселенности, а часть из них находится на маршрутах международных транспортных коридоров.

Барьерность российско-казахстанской границы с точки зрения ее режима с момента появления в качестве государственной оценивается как низкая (Колосов и др., 2016). В первые годы после распада СССР граница была скорее прозрачной и слабо охраняемой. В дальнейшем по мере постепенного введения пограничного и таможенного контроля барьерность границы стала нарастать. Незадолго до запуска в 2010 г. Таможенного союза России, Казахстана и Беларуси динамика барьерности носила разнонаправленный характер. С одной стороны, значительно был ослаблен режим границы (отмена таможен-

<sup>1</sup> «Населенные пункты России: численность населения и географические координаты». Минздрав РФ; обработка: Инфраструктура научно-исследовательских данных, АНО «ЦПУР», 2021 (ссылка на набор данных: <http://www.data-in.ru/data-catalog/datasets/160/>).

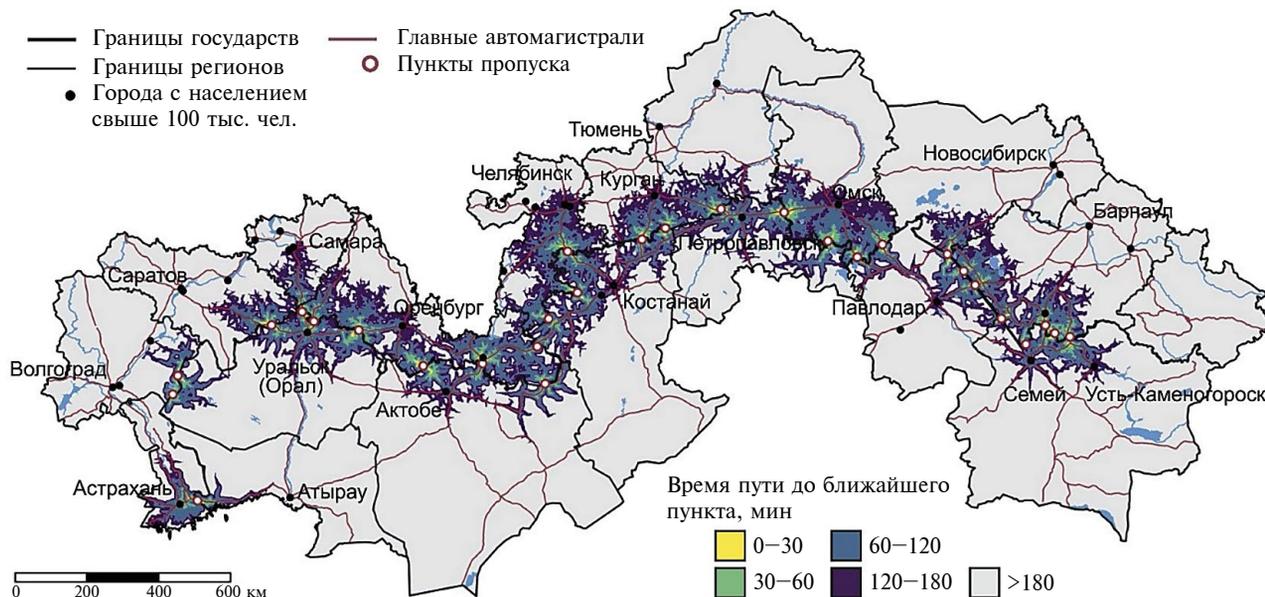


Рис. 1. Зоны транспортной доступности пунктов пропуска в российско-казахстанском пограничье. Составлено авторами.

ных процедур), создан институт малого приграничного движения, включавший в себя сеть из 105 местных пунктов пропуска. С другой – было ликвидировано почти 20 автомобильных пунктов пропуска. Больше всего пострадали и так уязвимые с точки зрения плотности сети пунктов пропуска регионы – Астраханская область (–75% от первоначального числа), Новосибирская (–66%), Саратовская и Волгоградская области (–50%). Многочисленные местные пункты пропуска лишь отчасти компенсировали рост барьерности границы по причине особого регламента их использования<sup>2</sup>.

Большая протяженность российско-казахстанской границы и сравнительно небольшое количество автомобильных пунктов пропуска предопределили их низкую плотность – 0,4 на 100 км границы.

Российско-белорусское пограничье включает три региона с российской и три региона с белорусской стороны. Участие России и Беларуси в двух интеграционных проектах (Союзном государстве и ЕАЭС) способствовало сохранению в пограничье уникального феномена – открытой и контактной границы без таможенного и пограничного контроля. Поэтому транспортную проницаемость границы можно оценивать по местам пересечения границы автомобильными дорогами.

Российско-белорусская граница имеет высокую транспортную проницаемость: на 1239 км границы приходится 42 автомобильные доро-

ги, что дает плотность 3,38 мест пересечения на 100 км границы. Примерно десять из 42 дорог можно отнести к категории редко используемых проселочных, но даже в этом случае плотность мест пересечения будет в 6,5 раз выше (2,6 мест пересечения на 100 км), чем на российско-казахстанской границе.

#### *Распределение населения и площади территории по зонам транспортной доступности*

**Российско-казахстанское пограничье** служит хорошей иллюстрацией того, как особенности проницаемости границы, плотность и специфика конфигурации транспортных путей могут влиять на транспортную доступность соседа.

Как видно на рис. 1, многие территории пограничья, физически приближенные к границе, оказываются за пределами трехчасовой зоны транспортной доступности. Причиной этого являются не только низкая плотность автомобильных дорог, крайне разреженное население, природно-географические особенности территории, но также институциональные факторы, вызвавшие деградацию сети пунктов пропуска в конце 2000-х годов. Такие территории располагаются в крайней западной (Актюбинская, Атырауская, Волгоградская области) и восточной (Новосибирская, Восточно-Казахстанская области, Республика Алтай) частях пограничья, а также в Тюменской области. В подавляющем большинстве случаев в двухчасовую зону попадет не более 20% территории регионов. Лучшие показатели имеют только широтно вытянутая Оренбургская (около 30%), Курганская (26%) и Челябинская (20%) области.

<sup>2</sup> Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан о порядке пересечения российско-казахстанской государственной границы жителями приграничных территорий Российской Федерации и Республики Казахстан от 3 октября 2006 г.

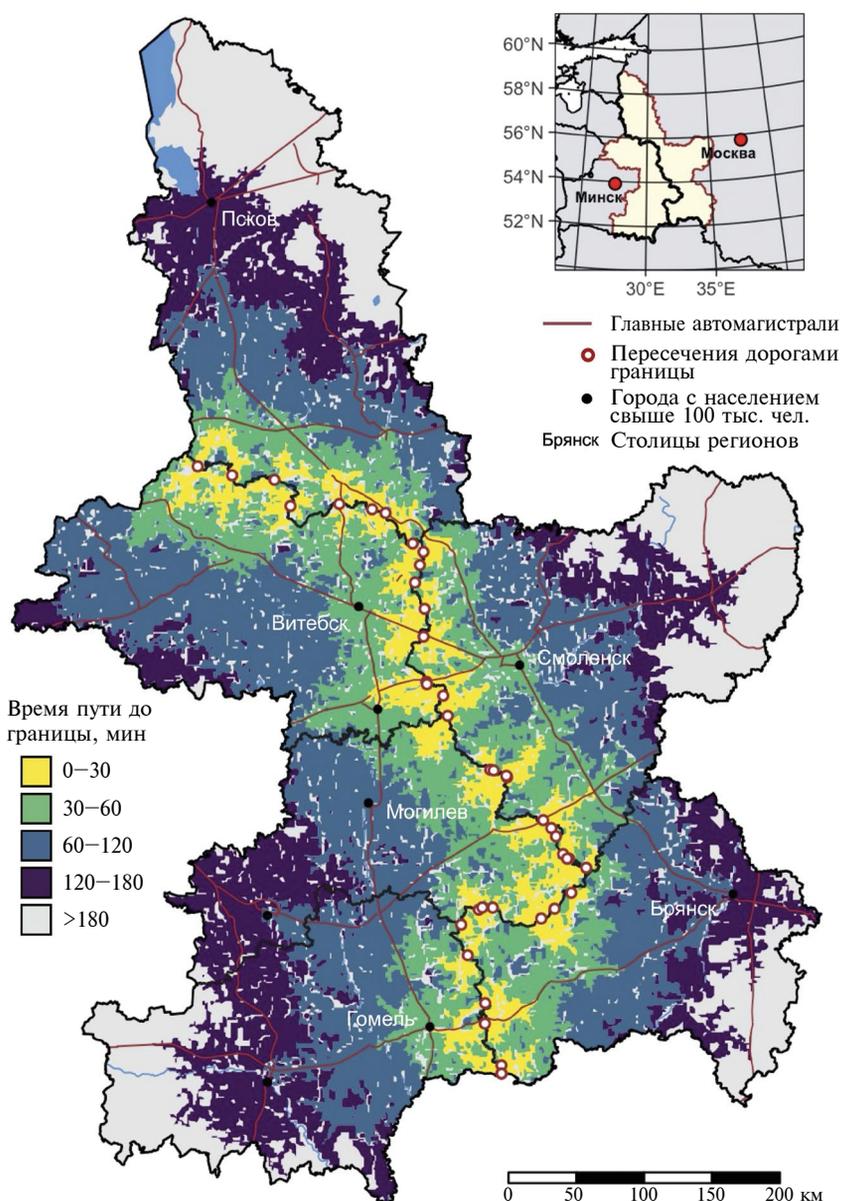
**Таблица 1.** Распределение долей от площади регионов и от численности населения по зонам транспортной доступности в российско-казахстанском пограничье, %

Регион пограничья	Доля от	Транспортная доступность, мин				
		0–30	30–60	60–120	120–180	>180
Астраханская область	площади	0.53	3.03	13.68	16.04	66.72
	численности населения	2.1	61	15.8	9	12.1
Волгоградская область	площади	0.28	0.65	2.36	4.07	92.63
	численности населения	0.1	0.2	1.2	1.4	97.1
Саратовская область	площади	0.3	0.8	4.67	10.15	84.08
	численности населения	0.5	0.2	1.9	2.3	95.1
Самарская область	площади	0.13	0.92	5.44	15.87	77.63
	численности населения	0.0	0.2	1.1	49.2	49.5
Оренбургская область	площади	1.45	4.64	23.29	29.01	41.61
	численности населения	17.6	6.4	45	16.8	14.2
Челябинская область	площади	0.84	2.59	16.47	29.09	51
	численности населения	2.6	2.2	43.2	17.6	34.3
Курганская область	площади	0.96	3.53	16.82	25.11	53.58
	численности населения	3.8	3	49.4	15.8	28
Тюменская область	площади	н.д.	н.д.	0.31	4.5	95.19
	численности населения	н.д.	н.д.	1.1	9	89.9
Омская область	площади	0.9	3.16	13.77	15.52	66.65
	численности населения	2.8	2.9	73.4	10.2	10.7
Новосибирская область	площади	0.16	0.36	1.91	5.1	92.47
	численности населения	0.1	1.1	0.8	2.1	95.9
Алтайский край	площади	0.89	2.89	10.73	12.36	73.13
	численности населения	2.5	10.4	5.9	6.2	75
Республика Алтай	площади	нет	нет	нет	нет	100
	численности населения	нет	нет	нет	нет	100
Атырауская область	площади	0.22	0.55	1.49	2.33	95.41
	численности населения	2.7	4	0.7	3.4	89.2
Западно-Казахстанская область	площади	0.81	2.61	9.42	11.43	75.73
	численности населения	5.4	48.6	13.4	7	25.6
Актюбинская область	площади	0.25	0.8	3.43	5.73	89.79
	численности населения	1.8	2.7	48.8	12.9	33.8
Костанайская область	площади	0.54	1.93	9.35	12.82	75.36
	численности населения	5.3	5.7	30.7	37.7	20.6
Северо-Казахстанская область	площади	0.76	2.44	13.24	18.32	65.24
	численности населения	4.2	40.9	18.1	12.5	24.3
Павлодарская область	площади	0.56	1.67	7.56	11.49	78.72
	численности населения	0.9	2.5	5.9	58.3	32.4
Восточно-Казахстанская область	площади	0.23	0.74	3.13	4.89	91.01
	численности населения	3.1	1.9	52.4	8.9	33.7

Гораздо более пестрая картина наблюдается при учете фактора расселения (табл. 1). Его главные черты – это эксцентричное расположение крупнейших городов в российской и казахстанской частях пограничья и постепенное снижение плотности населения при движении с севера на юг по мере удаления от главной полосы расселения. Крупнейшие города казахстанской части (Уральск, Актобе, Петропавловск, Павлодар, Усть-Каменогорск, Семей) тяготеют к границе с Россией, в то время как российские региональные центры (Новосибирск, Самара, Волгоград, Тюмень, Барнаул), наоборот, чаще удалены от границы (Карпенко, Себенцов, 2022). В результате, из общей численности населения в российской части пограничья (24.2 млн чел.) в пре-

делах изохроны 180 минут проживают лишь 9.8 млн чел., или чуть более 40%. С казахстанской стороны (5.8 млн чел.) в трехчасовой зоне доступности пунктов пропуска проживают 3.6 млн чел. (62%).

С казахстанской стороны максимально приближено к границе население Западно-Казахстанской и Северо-Казахстанской областей, областные центры (Уральск и Петропавловск) и около половины населения (54 и 45% соответственно) которых находятся в пределах часа езды до пунктов пропуска. Хорошая транспортная доступность наблюдается также в Актюбинской, Восточно-Казахстанской и Костанайской областях, где значительная часть населения живет в двух часах от ближайшего пункта пропуска.



**Рис. 2.** Зоны транспортной доступности мест пересечения границы автомобильными дорогами в российско-белорусском пограничье.  
 Составлено авторами.

**Таблица 2.** Распределение долей от площади регионов и от численности населения по зонам транспортной доступности в российско-белорусском пограничье, %

Регион пограничья	Доля от:	Транспортная доступность, мин				
		0–30	30–60	60–120	120–180	>180
Псковская область	площади	3.9	9.7	21.1	24.3	41.1
	численности населения	5.5	20.9	15.4	50.1	8.2
Смоленская область	площади	7.1	18	23.7	15.5	35.7
	численности населения	12.0	48.9	18.8	10.7	9.6
Брянская область	площади	7	16.3	29.5	23.1	24.2
	численности населения	8.0	16.2	20.5	50.8	4.5
Витебская область	площади	11.7	27.4	42.5	7.5	10.9
	численности населения	5.9	72.4	20.7	1.0	0
Могилевская область	площади	12.3	19.6	31.7	23.9	12.6
	численности населения	14.9	7.1	68.0	10.0	0.0
Гомельская область	площади	3	9.7	28.3	28.4	30.6
	численности населения	3.5	43.3	32.5	16.9	3.7

С российской стороны только в Астраханской (63.1% за счет Астрахани) и Оренбургской (24% за счет Орска) областях значимая часть населения живет в часовой зоне транспортной доступности. В двухчасовой благодаря хорошей доступности областных центров проживает уже около 80% жителей Омской и Астраханской областей и около половины населения Челябинской.

*Российско-белорусское пограничье* демонстрирует принципиально другой уровень транспортной доступности. Это определяется большей компактностью территории и систем расселения и более высокой транспортной освоенностью. На картосхеме транспортной доступности заметны ареалы повышенного потенциала (лучшей доступности соседа) вдоль главных трансграничных трасс (например, Смоленск–Витебск, Смоленск–Орша, Новозыбков–Гомель и др.). Поскольку в постсоветское время граница непрерывно сохраняла свою открытость, сеть второстепенных дорог, пересекающих границу, сохранилась лучше, что повышает транспортную доступность даже удаленных от основных трасс периферийных районов. В результате большая часть территории пограничья оказывается в пределах трехчасовой доступности от границы: Витебская и Могилевская области попадают туда почти целиком, и трехчасовая зона выходит за пределы их территории. Только в Псковской области 41% территории расположен за пределами изохроны 180 минут (рис. 2).

Из общей численности населения в российской части приграничья (2.8 млн чел.) в зоне трехчасового доступа проживают 2.67 млн чел. (92.9%

жителей), в белорусской части (3.5 млн чел.) – 3.46 млн чел. (98.6%).

Максимально приближено к границе с белорусской стороны население Витебской и Гомельской областей (78 и 46.8% соответственно), поскольку оба региональных центра находятся в пределах часа езды до ближайших мест пересечения границы. С российской стороны сопоставимый уровень транспортной доступности демонстрирует только Смоленская область (61%). Однако и в других регионах российско-белорусского пограничья, где в непосредственной близости от границы расположен ряд малых и средних городов, в часовой доступности проживает в среднем около четверти жителей этих областей (табл. 2).

Сравнение двух участков пограничья показывает, что конфигурация и плотность транспортной сети и систем расселения, а также число мест пересечения границы играют решающую роль в уровне транспортной доступности границы и отдельных территорий.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### *Фактор соседства: транспортная доступность и трансграничные связи*

Транспортная доступность границы и сопредельных государств является одной из базовых характеристик, влияющих на потенциал трансграничных связей и регионализацию. На практике реализация этого потенциала обусловлена рядом факторов.

Во-первых, интенсивность трансграничных связей зависит от режима границы и ее отдельных участков — пропускной способности, текущей загруженности и времени работы пунктов пропуска, количества работающих полос осмотра, а также различных административных процедур (паспортный контроль, личный допрос и пр.). Например, на российско-казахстанской границе время прохождения пунктов для легковых автомобилей занимает в среднем не меньше 40–60 минут, а в период наибольшей загруженности может достигать нескольких часов. Транспортная доступность вместе с интенсивностью трансграничного потока может меняться в течение суток, по сезонам года, в связи с конъюнктурными событиями экономического и политического характера. Временные издержки, возникающие при пересечении границы, кардинально меняют картину взаимной транспортной доступности пар населенных пунктов и определяют существенные различия между российско-казахстанским и российско-белорусским пограничьем. Невозможность предсказать время, затрачиваемое на пересечение границы в отдельные периоды, оказывает заметное влияние даже на поездки выходного дня, не говоря уже о ежедневных поездках фронтальеров и поездках с бизнес-целями. В российско-казахстанском пограничье практически отсутствуют фронтальерские миграции и преобладает вахтовый метод работы, в первую очередь, на нефтегазовых промыслах Тюменской области.

Во-вторых, поскольку трансграничные взаимодействия осуществляются в основном между населенными местами, решающую роль играет конфигурация систем расселения, иерархия (размер, административный статус и роль в системе расселения) населенных пунктов, а также их взаимная транспортная доступность.

В-третьих, большую роль играют те черты сходства и различий между соседними территориями, которые определяют причины (мотивы) для трансграничных взаимодействий. Некоторые черты сходства (родственные связи, этноконфессиональная или культурная близость, структурные особенности экономики, ведущие к кооперации) или различий (взаимодополняемость экономик и рынков труда, различия в природно-ресурсном потенциале и т.д.) могут носить долговременный и инерционный характер, другие могут быть связаны с текущей экономической и политической конъюнктурой (скачками цен на товары и услуги, изменением курсов валют, военными действиями и др.).

Переплетение всех этих факторов в конкретном территориальном контексте приводит к возникновению различных вариантов соседства, в каждом из которых проявляются свои эффек-

ты границ: барьерность и контактность, пограничные издержки и пограничная рента.

**Город-миллионник vs расстояние.** Потенциал городов-миллионников, которые в рассматриваемых кейсах представлены только в российско-казахстанском пограничье со стороны России, позволяет им играть исключительную роль в экономической и повседневной жизни по обе стороны государственной границы. Они имеют высокую притягательность для населения как потенциальное место для жизни, работы, совершения различных покупок, получения образовательных, медицинских, туристско-рекреационных и транспортных услуг. Для бизнеса они также интересны как большие рынки сбыта и приобретения необходимой продукции и услуг, в качестве транспортно-логистических хабов и др. Высокая привлекательность таких городов компенсирует населению и экономическим агентам временные, экономические и организационные издержки, связанные с пересечением границы, дорогой, оформлением разного рода документов.

*Фрукты у нас самарские. Ну точнее, они из Шымкента, но покупаем мы их оптом на рынке в Самаре. Так удобнее возить, да и дешевле (июнь 2014 г., продавщица на рынке г. Уральска, Казахстан, 50 лет).*

*Ранние овощи мы привозим с юга Казахстана, но как только появляются российские овощи — капуста, морковь, огурцы — мы переходим на них. Они качественнее и пользуются большим спросом. А еще они дешевле. Мы их на оптовом рынке в Челябинске закупаем (июнь 2023 г., продавщица на рынке г. Костаная, Казахстан, 60 лет).*

Кейс городов Костаная и Челябинска демонстрирует важность последнего в качестве центра для оказания медицинских услуг — это формирует весьма устойчивый поток жителей казахстанской части пограничья. До событий 2022 г. города-миллионники российской части пограничья были привлекательны для жителей Казахстана для досуга, развлечений и совершения покупок.

Периоды резкого ослабления курса рубля существенно повышают привлекательность городов-миллионников. На фоне общего снижения интенсивности трансграничных контактов в постпандемийный период в 2022 и 2023 гг. наблюдались локальные всплески трансграничной мобильности за покупками. Так, в 2022 г. в Челябинске казахстанцы активно приобретали дешевые российские продукты питания, товары долговременного использования и даже недвижимость. Во время очень глубокой девальвации рубля в 2014 г. похожие тенденции наблюдались не только в Челябинске, но даже в сильно удаленных от границы центрах — Новосибирске и Волгограде.

**Региональные столицы: “дельцы пограничья” или автономные центры.** Крупные региональные центры в целом гораздо менее привлекательны для трансграничных перемещений, чем города-миллионники из-за более узких рынков товаров, услуг и труда. Здесь решающую роль в интенсивности трансграничных связей играет фактор транспортной доступности и “зеркальность” (равновеликость по численности, иерархическому статусу) населенных пунктов по обе стороны границы.

Равновеликие по людности центры российско-казахстанского пограничья – Курган и Петропавловск, расположенные в трех часах (без учета пересечения границы) друг от друга, демонстрируют высокую степень автономности. Основу трансграничных связей тут составляют поездки за товарами длительного пользования (автомобили, бытовая техника) и посещение родственников, однако данные контакты мало влияют на повседневную жизнь этих городов. Покупка продуктов питания уже не представляет такого большого интереса, как раньше, – российские товары всегда были представлены в казахстанской рознице, а в российских приграничных городах все больше открывается магазинов с казахстанской продукцией. Фронтальные миграции также не распространены из-за большого расстояния между центрами.

Меньшие по людности города в гораздо большей степени ощущают соседство с крупным региональным центром по другую сторону границы. Так, из российского Ишима (67 тыс. чел.) по-прежнему организуются шоп-туры и туры выходного дня для посещения казахстанского Петропавловска (222 тыс. чел.). Трехчасовая (с учетом пересечения границы) дорога компенсируется возможностью посетить аквапарк “Нептун” и торговый центр “Рахмет”. Жители Рубцовска (126 тыс. чел.) также по-прежнему практикуют поездки выходного дня в соседний Семей (328 тыс. чел.) для посещения рынка, аквапарка, покупки запчастей, получения стоматологической помощи. Для жителей сельской местности поездки в ближайший региональный (или иногда районный) центр, пусть даже и расположенный по другую сторону границы, – это возможность купить разнообразные продовольственные и промышленные товары, приобрести горюче-смазочные материалы для сельскохозяйственных работ. Транспортная доступность для такого типа соседства имеет первостепенное значение.

Подобная ситуация наблюдается и в южной части российско-белорусского пограничья, где Гомель – крупнейший город приграничной полосы, выполняет функцию центра обслуживания, в том числе и для периферийных районов Брянской области. Гомель насчитывает около 500 тыс. жителей и расположен в 50 км от линии государ-

ственной границы с Россией. На трассе А-240 наиболее близко к границе расположены города Новозыбков (75 км до Гомеля и 203 км до Брянска) и Злынка (58 км до Гомеля и 220 км до Брянска). Гомель является центром получения медицинских услуг, покупок и проведения досуга – посещения культурных объектов, театра, цирка.

Геополитический кризис 2022 г. сильнее всего сказался на российско-казахстанском участке границы и привел к существенному росту значимости казахстанских региональных центров. В условиях частичной мобилизации в сентябре 2022 г. они стали рассматриваться россиянами как места для длительного проживания и дистанционной занятости. Региональные центры приграничных регионов выполняют функцию транспортных хабов. Так, если до 2022 г. жители Казахстана часто использовали российские региональные аэропорты (Самара, Челябинск, Новосибирск и др.) для вылета в другие страны, в настоящее время уже российским жителям дешевле и проще вылетать на отдых из аэропортов казахстанской части пограничья – Атырау, Актобе, Костаная и Астаны. Уход западных платежных систем способствовал возникновению “пластик-туров” – поездки для оформления пластиковых карт, а уход западных брендов – “шоп-туров”, в которых в 2023 г. принимали участие и некоторые жители российских городов-миллионеров.

*Все, чего нет в остальной России, есть в Челябинске. То, чего нет в Челябинске – есть в Костанаяе* (представитель бизнеса, 45 лет, Челябинск, июнь 2023).

**Пограничье как “буфер”.** Часть территории российско-белорусского пограничья с учетом особенностей географического положения выполняет транзитную и буферную функции в отношениях двух государств. Этому способствует и высокий уровень взаимной транспортной доступности – большая часть региональных центров находится в часе езды от границы и в двух часах езды до ближайшего соседа. Наиболее ярко это проявляется в коридоре повышенной транспортной доступности, вытянутом вдоль трассы М1 по линии Смоленск–Минск. Взаимная близость региональных центров и короткое транспортное плечо позволяют широко использовать автомобильный транспорт для кооперации предприятий, использования “приграничной ренты” – манипулирования различиями в стоимости факторов производства, особенностях регулирования и др. Так, в Руднянском районе многие предприятия в сфере розничной торговли, оптовой и мелкооптовой дистрибуции, конечной сборки (пластиковые окна, промышленное оборудование и др.) имеют белорусское про-

исхождение. Некоторые из них являются резидентами расположенной по другую сторону границы Витебской СЭЗ.

Наши экспертные интервью в российско-белорусском пограничье показали, что в приграничных районах часто формируется переток работников социальной сферы с одной стороны границы на другую. Опыт посещения большинства районов приграничной полосы позволяет заключить, что такой феномен чаще всего встречается в тех местах, где проходит крупная трансграничная транспортная артерия. Например, Рудня, Новозыбков, Невель – города с российской стороны – являются местами, куда хотя и единично, но белорусские граждане приезжают на работу в школы, дома культуры и учреждения здравоохранения. При этом речь обычно идет не о ежедневных поездках на работу, а о полноценном переезде. В сфере сельского хозяйства хорошая транспортная доступность и открытость границы позволяют привлекать соседей (чаще всего с белорусской стороны) для оказания помощи в посевной или уборочной компании. Однако в целом, хорошая транспортная доступность выступает скорее фактором повышенной осведомленности о делах на соседней территории (в том числе о наличии вакансий), но не служит фактором появления феномена ежедневных трудовых поездок и развития трансграничных рынков труда.

**“Глухие” границы и периферийность.** Это общий феномен для границ и с более высокой, и с более низкой барьерностью. В российско-белорусском пограничье это проявляется в основном на уровне отдельных поселений в связи с локальными недостатками транспортных сетей. “Провалы” в уровне транспортной доступности заметны между Монастырщинским районом Смоленской области и соседней Могилевской областью, между Гордеевским районом Брянской области и Костюковичским районом Могилевской области. Весьма ограниченно проницаемы также зоны схождения трех областей (Витебско–Псковско–Смоленский и Брянско–Могилевско–Смоленский участки). Доступность Гомеля для районных центров юго-западной части Брянской области затруднена конфигурацией транспортных сетей.

В российско-казахстанском пограничье феномен “глухих” границ представлен гораздо шире вследствие упомянутого выше сокращения числа пунктов пропуска в конце 2000-х годов. Часть закрытых двусторонних пунктов пропуска со временем была превращена в местные. Так, понижение статуса пункта пропуска “Фомин–Казталовка” привело к снижению транспортной доступности границы для всех близлежащих районов второго порядка Западно-Казахстанской и Саратовской областей.

Пункт пропуска, который ранее работал семь дней в неделю, перешел на трехдневный график и обеспечивает только связи сопредельных районов.

*Из-за потери основного рынка сбыта перестали работать овощеводческие хозяйства. Пострадали и фермеры-животноводы, которые приобретали корма в Казахстане. Потеряла и региональная экономика. Мы были вынуждены прекратить поставку стройматериалов, а это вся линейка продукции. Нишу Саратовской области занял Волгоград. И теперь восстановить свои позиции будет на порядок сложнее<sup>3</sup>.*

Наши предыдущие исследования доказывают, что частота трансграничных связей находится в прямой зависимости не от близости к границе, а от положения в региональной системе “центр–периферия” (Морачевская, 2013; Kolosov and Morachevskaya, 2022). В этом отношении многие “провалы” в трансграничной транспортной доступности и на российско-казахстанской, и на российско-белорусской границе совпадают с наиболее периферийными в социально-экономическом отношении районами. Наши интервью показали, что региональные и местные власти часто не имеют финансовых средств, чтобы содержать в нормативном состоянии сеть дорог в периферийных районах. Так, одним из препятствий для повышения статуса пункта “Фомин–Казталовка” является сложность с передачей в федеральную собственность дороги к пункту пропуска.

## ВЫВОДЫ

Данное исследование показывает: то, что обычно называют барьерностью границы – комплексное явление, которое определяется не только свойствами самой границы (ее режимом), но также и свойствами территорий, которые она разделяет. Транспортная проницаемость границы, конфигурация транспортных систем и, как результат, транспортная доступность могут ослаблять или наоборот усиливать проявления барьерных функций границы.

Анализ приведенных кейсов показывает, что транспортная доступность границы и соседа, барьерность и проницаемость границы носят потенциальный характер, то есть не объясняют сами по себе трансграничные контакты. Конкретный территориальный контекст, фундаментальные социально-экономические и политические особенности и текущая конъюнктура, исторические и культурные факторы оказывают

<sup>3</sup> Губернатор Саратовской области поручил восстановить работу погранперехода в Алгайском районе, Информационное агентство “Регион 64”. 26.04.2018. <https://sarnovosti.ru/news.php?ID=90565>.

влияние на реализацию потенциала доступности границы и соседа.

Соединение транспортной доступности границы с транспортной проницаемостью с учетом барьерности в один методический конструкт позволило наглядно продемонстрировать потенциал влияния границы на территорию. Более строгий режим функционирования ограничивает транспортную проницаемость российско-казахстанской границы, способствует постепенной деградации транспортных систем в приграничной полосе, что приводит к снижению транспортной доступности обширных территорий приграничья. Пограничные формальности не только приводят к дополнительным временным издержкам, но и снижают надежность реальных коммуникаций в пограничье. Это ограничивает возможности для повседневных контактов, развития бизнес-связей, формирования трансграничных рынков труда. Сильный социально-экономический градиент, возникающий время от времени в результате колебания валютных курсов, цен на различные товары и услуги, — ключевой стимул для трансграничных связей. Города-миллионники и крупнейшие региональные центры — главные бенефициары такого рода контактов.

Абсолютно открытое для взаимных контактов российско-белорусское пограничье демонстрирует принципиально иной уровень транспортной проницаемости и сохранности сети второстепенных дорог, пересекающих границу, а, следовательно, и высокий потенциал транспортной доступности. Межстоличное положение, взаимная близость региональных центров, короткое транспортное плечо потенциально позволяют широко использовать автомобильный транспорт для кооперации предприятий и развивать буферные функции российско-белорусского пограничья. Однако в реальности невысокая мобильность жителей пограничья, связанная с низким уровнем доходов граждан и высокой долей лиц пожилого возраста в структуре населения, в сочетании с низким экономическим потенциалом территории ограничивают реализацию названных выше преимуществ.

“Глухие” границы с низкой проницаемостью и низкой транспортной доступностью пунктов пропуска в большей степени характерны для российско-казахстанского пограничья, однако встречаются и в некоторых частях российско-белорусского. Как правило, они совпадают с периферийными в социально-экономическом отношении районами, где региональные и местные власти не имеют возможности для поддержания сети автомобильных дорог ввиду нехватки средств и недостаточного социального эффекта. Однако трансграничный эффект может быть достаточно значим для местного

населения и малого бизнеса, удовлетворяющего потребности на территориях сопредельного государства. По нашему мнению, улучшение доступности границы и взаимной транспортной доступности между приграничными территориями могло бы быть одной из ключевых тем приграничного сотрудничества, финансово и организационно поддерживаемого не только национальными властями, но также и соответствующими структурами ЕАЭС и Союзного государства.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена в рамках гранта, предоставленного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение о предоставлении гранта № 075-15-2022-326). Сбор и геокодирование данных по плотности населенных пунктов приграничных территорий, а также проведение интервью в 2014–2022 гг. осуществлялось в рамках тем Госзадания ИГ РАН.

## FUNDING

The article was prepared within the framework of the research grant funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Grant no. 075-15-2022-326). The collection and geocoding of data on the population of settlements in the border regions, as well as conducting interviews in 2014–2022 was carried out within the framework of the state task of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бугроменко В.Н.* Современная география транспорта и транспортная доступность // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 4. С. 7–28.
- Бугроменко В.Н.* Транспорт в территориальных системах. М.: Наука, 1987. 112 с.
- Голунов С.В.* Российско-казахстанская граница. Проблемы безопасности и международного сотрудничества. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2005. 422 с.
- Карпенко М.С., Колосов В.А., Себенцов А.Б.* Трансформация российско-казахстанского пограничья в постсоветский период: институциональное и экономическое измерения // Проблемы национальной стратегии. 2021. № 5. С. 25–39.
- Карпенко М.С., Себенцов А.Б.* Демографические и социокультурные вызовы приграничному сотрудничеству на российско-казахстанской границе // Вестн. Санкт-Петербург. ун-та. Науки о Земле. 2022. № 3 (67). С. 454–474.
- Колосов В.А., Зотова М.В., Себенцов А.Б.* Барьерная функция российских границ // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 5. С. 8–20.

- Колосов В.А., Туровский Р.Ф.* Современные государственные границы: новые функции в условиях интеграции и приграничное сотрудничество // Изв. РАН. Сер. геогр. 1997. № 5. С. 106–113.
- Кузнецов А.В.* Еврорегионы: полвека “малой” интеграции // Современная Европа. 2008. № 2 (34). С. 48–59.
- Морачевская К.А.* Институциональные барьеры трансграничного сотрудничества в российско-белорусском приграничье // Российско-белорусское приграничье: проблемы и перспективы развития. Смоленск: “Универсум”, 2016. С. 37–44.
- Морачевская К.А.* Приграничность и периферийность как факторы развития приграничных с Белоруссией регионов России. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2013. 22 с.
- Морачевская К.А.* Феномен приграничности: подходы к интерпретации и роль центр-периферийных градиентов // Региональные исследования. 2022. № 3. С. 44–53.  
<https://doi.org/10.5922/1994-5280-2022-3-4>
- Неретин А.С.* Транспортное положение и доступность территорий Европейской России. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Институт географии РАН, 2018. 26 с.
- Осмоловская Л.Г.* Функции границы как фактор развития приграничных регионов и формирования трансграничных регионов // Вестн. Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2016. № 1. С. 45–54.
- Тархов С.А.* Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск—М.: “Универсум”, 2005. 384 с.
- Тархов С.А.* Инфраструктурная интегрированность территории (транспортная связность и проницаемость территории, развитие связи и телекоммуникаций) / Пространство, люди, экономика Югры. Социально-экономическая трансформация ХМАО. М.: Экономистъ, 2007. С. 130–162.
- Тархов С.А.* Транспортная проницаемость границ // Региональные исследования. 2022. № 3. С. 71–89.
- Фартышев А.Н.* Метод расчета степени прозрачности политических границ как геополитической категории // Географический вестн. 2016. № 2 (37). С. 29–39.  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-2-29-39>
- Шлямин В.А.* Россия в “Северном измерении”. Петрозаводск: Издательство Петрозаводского гос. ун-та, 2002. 188 с.
- Шувалов В.Е.* Географическая граница как фактор районообразования // Географические границы / под ред. Б.Б. Родомана и Б.М. Эккеля. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 33–38.
- Шувалов В.Е.* Теоретическая лимология как междисциплинарное научное направление // Региональные исследования. 2022. № 3. С. 37–43.
- Furmankiewicz M., Buryło K., Dotzblasz S.* From service areas to empty transport corridors? The impact of border openings on service and retail facilities at Polish-Czech border crossings // Moravian Geographical Reports. 2020. Vol. 28. № 2. P. 136–151.  
<https://doi.org/10.2478/mgr-2020-0011>
- Hansen W.G.* How accessibility shapes land use // J. of American Institute of Planners. 1959. Vol. 25. № 2. P. 73–76.
- Hettne B.* Beyond the “new” regionalism / Key debates in new political economy. Routledge. 2006. P. 136–168.  
<https://doi.org/10.1080/13563460500344484>
- Kolosov V., Morachevskaya K.* The Role of an Open Border in the Development of Peripheral Border Regions: The Case of Russian-Belarusian Borderland // J. of Borderlands Studies. 2022. Vol. 37. № 3. P. 533–550.  
<https://doi.org/10.1080/08865655.2020.1806095>
- Kolosov V.A., Zotova M.V., Sebestsov A.B.* The barrier function of Russia’s borders // Reg. Res. of Rus. 2016. № 6. P. 387–397.
- Komornicki T.* Granice Polski. Analiza zmi przepuszczalności w latach 1990–1996. GiPZ PAN. 1999. 355 p.
- Martinez O.J.* Border People. Arizona: Univ. of Arizona Press, 1994. 352 p.
- Nijkamp P., Rietveld P., Salomon I.* Barriers in Spatial Interactions and Communications. A Conceptual Exploration // The Annals of Regional Sci. 1990. Vol. 24. P. 237–252.
- Perkmann M.* Cross-border Regions in Europe: Significance and Drivers of Regional Cross-Border co-operation // European Urban and Regional Studies. 2003. Vol. 10. № 2. P. 153–171.
- Rietveld P.* Barrier Effects of Borders: Implications for Border-Crossing Infrastructures // EJTIR. 2012. Vol. 12. № 2. P. 150–166.
- Rosik P., Stępnik M., Komornicki T.* The decade of the big push to roads in Poland: Impact on improvement in accessibility and territorial cohesion from a policy perspective // Transport Policy. 2015. Vol. 37. P. 134–146.
- Shuvalov V.E.* Geographical boundaries as a factor in region formation // Soviet Geography. 1983. Vol. 24. № 1. P. 59–63.
- Varol C., Söylemez E.* Border permeability and drivers of cross-border cooperation in the Turkish and EU border region // KnE Social Sci. 2017. Vol. 1. № 2. P. 87–98.  
<https://doi.org/10.18502/kss.v1i2.649>

## Barrier Function and Transport Accessibility of the Border as Factors of Cross-Border Interactions

A. B. Sebentsov<sup>a, b, \*</sup>, M. S. Karpenko<sup>a, b, \*\*</sup>, K. A. Morachevskaya<sup>a, c, \*\*\*</sup>,  
and A. V. Sheludkov<sup>b, \*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA), Moscow, Russia

<sup>2</sup>Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

\*e-mail: asebentsov@igras.ru

\*\*e-mail: kms@igras.ru

\*\*\*e-mail: k.morachevskaya@spbu.ru

\*\*\*\*e-mail: a.v.sheludkov@igras.ru

Intensive integration and cross-border regionalization have been observed at many interstate borders in Europe in recent decades. This has made the concept of barrier-based state borders extremely popular. A low border barrier is perceived by researchers as one of the necessary conditions for intensive cross-border cooperation, as well as its natural result. However, when assessing the barrier of borders, many researchers focused exclusively on the state border line itself, ignoring the transport and communication properties of the territories. The authors of the article propose their own combined method of assessing transport accessibility and border barriers, which was tested on the Russian-Kazakh and Russian-Belarusian border sections. The essence of the method is to assess the transport accessibility of border crossing points for settlements in border regions, taking into account the configuration of the transport network. The advantage of the method is the ability to compare borders with different degrees of openness. The method allows to get an idea of what part of the territory and population on both sides of the border can be involved in cross-border connections. The study showed that the Russian-Belarusian border, due to the almost complete absence of border control, has a higher transport permeability and safety of the transport network. All this ensures a high level of transport accessibility for the settlements and population of the border regions. In the Russian-Kazakh border region, the number and density of border crossing points is lower, and the network of border roads is much less well preserved. Therefore, in this section of the border, a relatively high level of transport accessibility of the border is typical for a small number of regions. In connection with the reduction of the number of checkpoints in the 2000s, the length of “blind borders”—hardly accessible to the population of these regions—has increased. A comparative analysis of the cross-border practices of the population and the results of the calculation of transport accessibility showed that the transport accessibility of the border, the barrier and the permeability of the border are potential in nature. They do not explain cross-border contacts per se. The specific territorial context, fundamental socioeconomic and political characteristics and current conditions, historical and cultural factors also influence the realization of the potential of border and neighbor accessibility.

**Keywords:** transport accessibility, barriers of borders, cross-border cooperation, cross-border mobility, cross-border regionalization, neighborhood, border permeability, transborder links

### REFERENCES

- Bugromenko V.N. Modern geography of transport and transport accessibility. *Izv. Akad. Nauk., Ser. Geogr.*, 2010, no. 4, pp. 7–28. (In Russ.).
- Bugromenko V.N. *Transport v territorial'nykh sistemakh* [Transport in Territorial Systems]. Moscow: Nauka Publ., 1987. 112 p.
- Fartyshev A.N. Method for calculating the degree of transparency of political borders as a geopolitical category. *Geogr. Vestn.*, 2016, no. 2, pp. 29–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2016-2-29-39>
- Furmankiewicz M., Buryło K., Dołzbłasz S. From service areas to empty transport corridors? The impact of border openings on service and retail facilities at Polish-Czech border crossings. *Morav. Geogr. Rep.*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 136–151. <https://doi.org/10.2478/mgr-2020-0011>
- Golunov S.V. *Rossiisko-kazahstanskaya granitsa: problema bezopasnosti i mezhdunarodnogo sotrudnichestva* [Russian-Kazakh Border. Problems of Security and International Cooperation]. Volgograd: Volgograd Gos. Univ. Publ., 2005. 422 p.
- Hansen W.G. How accessibility shapes land use. *J. Am. Inst. Planners*, 1959, vol. 25, no. 2, pp. 73–76.
- Hettne B. Beyond the “new” regionalism. *New Polit. Econ.*, 2006, vol. 10, no. 4, pp. 543–571. <https://doi.org/10.1080/13563460500344484>
- Karpenko M.S., Kolosov V.A., Sebentsov A.B. Transformation of the Russian-Kazakhstan borderland in the post-Soviet period: institutional and economic dimensions. *Probl. Nats. Strateg.*, 2021, no. 5, pp. 25–39. (In Russ.).
- Karpenko M.S., Sebentsov A.B. Demographic and sociocultural challenges to cross-border cooperation

- on the Russian-Kazakh border. *Vestn. S.-Peterb. Univ. Nauki Zemle*, 2022, no. 3, pp. 454–474. (In Russ.).
- KolosoV V., Morachevskaya K. The Role of an Open Border in the Development of Peripheral Border Regions: The Case of Russian-Belarusian Borderland. *J. Borderl. Stud.*, 2022, vol. 37, no. 3, pp. 533–550. <https://doi.org/10.1080/08865655.2020.1806095>
- KolosoV V.A., Turovsky R.F. Modern state borders: new functions in the conditions of integration and cross-border cooperation. *Izv. Akad. Nauk., Ser. Geogr.*, 1997, no. 5, pp. 106–113. (In Russ.).
- KolosoV V.A., Zotova M.V., Sebentsov A.B. The barrier function of Russia's borders. *Reg. Res. Russ.*, 2016, no. 6, pp. 387–397. <https://doi.org/10.1134/S2079970516040092>
- Komornicki T. *Granice Polski. Analiza zmian przepuszczalności w latach 1990-1996* [Borders of Poland. Analysis of Permeability Changes between 1990 and 1996]. Warsaw: GiPZ PAN, 1999. 355 p.
- Kuznetsov A.V. Euroregions: Half a century of “small” integration. *Sovrem. Evropa*, 2008, no. 2, pp. 48–59. (In Russ.).
- Martinez O.J. *Border People*. Arizona: University of Arizona Press, 1994. 352 p.
- Morachevskaya K.A. Bordering and peripherality as factors in the development of Russian regions bordering Belarus. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State University, 2013. 22 p.
- Morachevskaya K.A. Institutional barriers to cross-border cooperation in the Russian-Belarusian borderland. In *Rossiisko-belorusskoe prigranich'e: problemy i perspektivy razvitiya* [Russian-Belarusian Borderland: Problems and Development Prospects]. Smolensk: Universum Publ., 2016, pp. 37–44. (In Russ.).
- Morachevskaya K.A. The border phenomenon: approaches to interpretation and the role of center-periphery gradients. *Reg. Issled.*, 2022, no. 3, pp. 44–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.5922/1994-5280-2022-3-4>
- Neretin A.S. Transport situation and accessibility of the territories of European Russia. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Inst. Geogr., Russ. Acad. Sci., 2018. 26 p.
- Nijkamp P., Rietveld P., Salomon I. Barriers in spatial interactions and communications. A conceptual exploration. *Ann. Reg. Sci.*, 1990, no. 24, pp. 237–252.
- Osmolovskaya L.G. Functions of the border as a factor in the development of border regions and the formation of transboundary regions. *Vestn. Balt. Federal. Univ. Ser.: Estestv. Med. Nauki*, 2016, no. 1, pp. 45–54. (In Russ.).
- Perkmann M. Cross-border regions in Europe: significance and drivers of regional cross-border co-operation. *Eur. Urban Reg. Stud.*, 2003, vol. 10, no. 2, pp. 153–171.
- Rietveld P. Barrier effects of borders: Implications for border-crossing infrastructures. *EUR J. Transp. Infrast.*, 2012, vol. 12, no. 2, pp. 150–166.
- Rosik P., StępniaK M., Komornicki T. The decade of the big push to roads in Poland: Impact on improvement in accessibility and territorial cohesion from a policy perspective. *Transp. Policy*, 2015, no. 37, pp. 134–146.
- Shlyamin V.A. *Rossiia v Severnoi Izmerenii* [Russia in the Northern Dimension]. Petrozavodsk: Izd-vo Petrozavodsk. Gos. Univ., 2002. 188 p.
- Shuvalov V.E. Geographical border as a factor in regional formation. In *Geograficheskie granitsy* [Geographical Borders]. Rodoman B.B., Ekkel B.M., Eds. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 1982, pp. 33–38. (In Russ.).
- Shuvalov V.E. Geographical boundaries as a factor in region formation. *Sov. Geogr.*, 1983, vol. 24, no. 1, pp. 59–63.
- Shuvalov V.E. Theoretical limology as an interdisciplinary scientific direction. *Reg. Issled.*, 2022, no. 3, pp. 37–43. (In Russ.).
- Tarkhov S.A. *Evolutsionnaya morfologiya transportnykh setei* [Evolutionary Morphology of Transport Networks]. Smolensk: Universum Publ., 2005. 384 p.
- Tarkhov S.A. Infrastructural integration of the territory (transport connectivity and permeability of the territory, development of communications and telecommunications). In *Prostranstvo, lyudi, ekonomika Yugry. Sotsial'no-ekonomicheskaya transformatsiya Hanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga* [Space, People, Economy of Yugra. Socio-Economic Transformation of Khanty-Mansi Autonomous Okrug]. Moscow: Ekonomist Publ., 2007, pp. 130–162. (In Russ.).
- Tarkhov S.A. Transport permeability of borders. *Reg. Issled.*, 2022, no. 3, pp. 71–89. (In Russ.).
- Varol C., Söylemez E. Border permeability and drivers of cross-border cooperation in the Turkish and EU border region. *KnE Soc. Sci.*, 2017, vol. 1, no. 2, pp. 87–98. <https://doi.org/10.18502/kss.v1i2.649>

УДК 911.9

## ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СТРАН ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА ПО УРОВНЮ РАЗВИТИЯ ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО ТУРИЗМА

© 2024 г. Е. С. Кулаковский<sup>1,2,\*</sup>, А. И. Чистобаев<sup>2,\*\*</sup>,  
Н. А. Грудцын<sup>2,\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\*e-mail: evgeny.kyl@yandex.ru

\*\*e-mail: chistobaev40@mail.ru

\*\*\*e-mail: pobox@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.02.2024 г.

После доработки 09.06.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Цель исследования – выявление дифференциации уровней развития лечебно-оздоровительного туризма, прежде всего, его главных подвидов – медицинского и медико-терапевтического, в странах Евразийского экономического союза. Для достижения этой цели был обоснован выбор воздействующих на развитие лечебно-оздоровительного туризма ключевых показателей в четырех сферах – демографической, социальной, экономической и экологической. Предложена и применена матрица корреляций, позволяющая оценить степень линейной зависимости между парами переменных. Проведена кластеризация стран Евразийского экономического союза по уровню развития лечебно-оздоровительного туризма с использованием метода K-means (k-средних) в сочетании с двумерным анализом главных компонент (2D PCA). Выявлены уровни развития лечебно-оздоровительного туризма в исследуемых странах: высокий (Беларусь, Россия), средний (Армения, Казахстан), низкий (Кыргызстан, Таджикистан). Для каждого выделенного кластера определены тенденции развития лечебно-оздоровительного туризма, обусловленные спецификой демографической ситуации, объемами инвестиций в сферу здравоохранения, числом больничных коек в расчете на 10 тыс. населения, количеством и качеством медицинского персонала, уровнем развития инфраструктуры, состоянием окружающей среды; эти характеристики определяют экспортный потенциал медицинской помощи и оздоровительных услуг. Акцентируется внимание управленцев на необходимости принятия мер по усилению взаимосвязей в лечебно-оздоровительном туризме, включая еще две страны Центральной Азии – Туркменистан и Узбекистан, которые не входят в Евразийский экономический союз, но являются членами Содружества Независимых Государств и имеют схожие с исследуемыми в данной статье странами предпосылки развития производительных сил. Обоснованы пути укрепления межстрановых взаимодействий в сбережении здоровья населения при действующих ограничениях в отношении некоторых исследуемых стран. Отмечена целесообразность принятия документов стандартизации и сертификации учреждений медицинской помощи и оздоровительных услуг в рамках Евразийского экономического союза.

*Ключевые слова:* общественное здоровье, медицинская помощь, оздоровительные услуги, медицинский туризм, санатории, курорты, туристско-рекреационная система, демографическая ситуация

DOI: 10.31857/S2587556624040029 EDN: RQIBIM

### ВВЕДЕНИЕ

Здоровье населения, или общественное здоровье, – главная составляющая качества жизни, ресурс экономики, всего общественного развития. На сбережение здоровья населения направлено функционирование медицинских, физкультурно-

оздоровительных, культурно-развлекательных и туристско-рекреационных объектов, а также учреждений по управлению ими; в совокупности они образуют системы здоровьесбережения разных иерархических уровней – локального, регионального, странового, наднационального.

На уровнях государственного и муниципального управления возможно регулирование процессов формирования систем здоровьесбережения, но для наднационального уровня необходимы специальные межгосударственные соглашения, основанные на результатах научных исследований и опыте управления. Особенно это актуально в нынешних геополитических реалиях, в условиях санкционного давления на Россию, что сказывается на конкурентоспособности не только производства, но и сферы услуг.

В конкурентной борьбе за выход лечебно-оздоровительного туризма на мировой рынок происходит дифференциация стран как по качественным, так и по ценовым характеристикам медицинской помощи и оздоровительных услуг: развитые страны предоставляют высококачественные, но дорогие услуги, а развивающиеся страны, не обладая высокими технологиями, вынуждены устанавливать более доступные цены на лечение и рекреацию. Такие различия обуславливают и специфику контингента клиентов.

Поездка потенциальных пациентов клиник за пределы своего региона проживания в целях получения приемлемого (по соотношению «качество—цена») для него лечения — это медицинский туризм, а сам путешественник — это медицинский турист. Доля таких туристов в общемировом турпотоке устойчиво растет и уже сейчас можно говорить о том, что этот вид туризма приобрел глобальный характер.

Страны Евразийского экономического союза (ЕАЭС), различаются по специфике происходящих в них социально-экономических процессов: одни из них находятся на переходном этапе к рыночным отношениям, характеризуются низким уровнем качества жизни, а другие — добились успехов в социально-экономической сфере, создали устойчивую систему здоровьесбережения. В этих условиях важно обеспечить взаимодействие государств в сбережении общественного здоровья, что возможно при совместном использовании ресурсов, наличии общих стандартов и протоколов лечения, обмене технологиями и методами лечения и рекреации.

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Термин «здоровьесбережение» содержится в правительственном документе «Концепция технологического развития России до 2030 года»<sup>1</sup>, использован в предварительном варианте содержания национального проекта «Медицинские технологии», озвученном Президентом Российской Федерации на Форуме буду-

<sup>1</sup> Концепция технологического развития до 2030 года в Российской Федерации. <http://government.ru/docs/48570/> (дата обращения 15.01.2024).



**Рис. 1.** Структура лечебно-оздоровительного туризма.  
Составлено по: (Чистобаев, 2023).

щих технологий<sup>2</sup> (Пленарное ..., 2024). Однако однозначной трактовки этого термина как в научной литературе, так и в нормативных и правовых документах нет. В нашем понимании здоровьесбережение — это комплекс организационных, правовых, медико-социальных, физкультурно-оздоровительных, психолого-педагогических и экономических мер, направленных на поддержание и укрепление общественного здоровья. В систему здоровьесбережения включаются не только медицинские клиники и амбулатории, но и сопутствующие виды деятельности, одним из которых является лечебно-оздоровительный туризм (Rai, 2019).

В составе лечебно-оздоровительного туризма мы выделяем четыре подвида: медицинский, веллнесс (wellness), медико-терапевтический и СПА (SPA) (рис. 1).

Собственно медицинская компонента в системе лечебно-оздоровительного туризма — это проведение диагностических исследований в клинике с последующим оперативным вмешательством. В отличие от нее, медико-терапевтический туризм представляет собой систему реабилитации, восстановления и укрепления здоровья вне медицинской клиники. «Веллнесс»-туризм направлен на сбережение собственного здоровья, выявление возможных (потенциальных) проблем в его состоянии и динамике, заблаговременное предотвращение заболеваний, сохранение физического и психологического здоровья. СПА-туризм фокусируется на улучшении здоровья и внешности с помощью различных процедур, основанных на воде, включая внутреннее и наружное применение. Таким образом, каждый подвид лечебно-оздоровительного туризма выполняет присущие ему функции, при обеспечении взаимодействия которых может быть получен синергетический эффект.

## МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование лечебно-оздоровительного туризма в странах ЕАЭС проведено нами с использованием метода дескриптивного анализа, нацеленного на выявление характеристик объектов

<sup>2</sup> Пленарное заседание Форума будущих технологий. [http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/community\\_meetings/73454](http://www.kremlin.ru/events/president/transcripts/community_meetings/73454) (дата обращения 31.01.2024).

**Таблица 1.** Перечень показателей, использованных для оценки уровня развития лечебно-оздоровительного туризма в странах ЕАЭС

Сфера	Показатель
Демографическая	1. Ежегодные темпы изменения численности населения, тыс. чел. (за последние 10 лет) 2. Общий коэффициент рождаемости, ‰ 3. Демографическая нагрузка пенсионеров и детей на трудоспособное население, ед. 4. Общий коэффициент смертности, ‰ 5. Коэффициент младенческой смертности, ‰
Социальная	1. Обеспеченность населения больничными койками (на 10 000 населения), шт. 2. Обеспеченность населения врачами и средним медицинским персоналом (на 10 000 населения), ед. 3. Уровень заболеваемости детей и взрослых, ед. 4. Число мест для размещения туристов в санаторно-курортных учреждениях (на 10 000 населения), шт.
Экономическая	Доля затрат государств на здравоохранение, %
Экологический	Индекс качества воздуха (Air Quality Index, AQI)

Составлено авторами по: (Куролап и др., 2015; Нацун, 2020; Chistobaev et al., 2019); Самые загрязненные страны и регионы мира. <https://www.iqair.com/ru/world-most-polluted-countries> (дата обращения 31.01.2024).

и явлений, паттернов, тенденций и взаимосвязей между переменными. Информационной базой исследования служат открытые данные статистических служб и ведомств исследуемых стран за 2021–2022 гг. Поскольку централизованная статистика по данному виду туризма отсутствует, мы прибегли к использованию демографических, социальных, экономических и экологических показателей, которые косвенно отражают уровень развития исследуемого вида туризма (табл. 1).

Количественный анализ приведенных в табл. 1 показателей направлен на:

- построение матрицы корреляций, которая позволяет оценить степень линейной зависимости между парами изучаемых переменных;
- кластеризацию стран по уровню развития лечебно-оздоровительного туризма с использованием метода K-means (k-средних) в сочетании с двумерным анализом главных компонент (2D PCA);
- выявление иерархии кластеров, их сходства или различий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие туризма в странах ЕАЭС можно оценивать не только по абсолютному количеству прибывающих в страны туристов (рис. 2), но и по динамике туристических потоков (рис. 3).

Выявление общих и специфических черт в развитии лечебно-оздоровительного туризма в странах ЕАЭС проведено на основе дескриптивного анализа.

**Армения.** Лечебно-оздоровительный туризм в этой стране отличают помощь зарубежной армянской диаспоры, значительное разнообразие историко-культурных объектов и природных аттракций. Несмотря на неблагоприятные для страны геополитические события, общий поток туристов устойчив; в 2023 г. он составил 2.3 млн человек<sup>3</sup>. По мнению исследователей, наибольшими перспективами обладает медицинский туризм (Arutyunyan and Dokholyan, 2018; Tovmasyan, 2021).

Благоприятный климат, лечебные минеральные источники, живописные природные ландшафты создают благоприятные условия для восстановления здоровья и релаксации туристов, т.е. для развития как медицинского, так и других видов лечебно-оздоровительного туризма. Для успешного развития этого направления необходимо интенсивное развитие медицинской инфраструктуры, включая создание современных медицинских центров, специализированных клиник и курортов, гостиничных комплексов, рекреационных зон. Эти меры будут способствовать укреплению позиций страны на мировом туристическом рынке.

**Беларусь.** Лечебно-оздоровительный туризм развивается динамично благодаря созданной еще во времена СССР развитой сети санаторно-курортных учреждений и специализированных медицинских клиник, государственному регулированию ценообразования на медицинские и оздоровительные услуги,

<sup>3</sup> Число туристов, посетивших Армению в 2023 году, выросло на 39.1%, превысив 2.3 млн человек. [https://arka.am/ru/news/tourism/chislo\\_turistov\\_posetivshikh\\_armeniyu\\_v\\_2023\\_godu\\_vyroslo\\_na\\_39\\_1\\_prevysiv\\_2\\_3 mln\\_chelovek/](https://arka.am/ru/news/tourism/chislo_turistov_posetivshikh_armeniyu_v_2023_godu_vyroslo_na_39_1_prevysiv_2_3 mln_chelovek/) (дата обращения 31.01.2024).

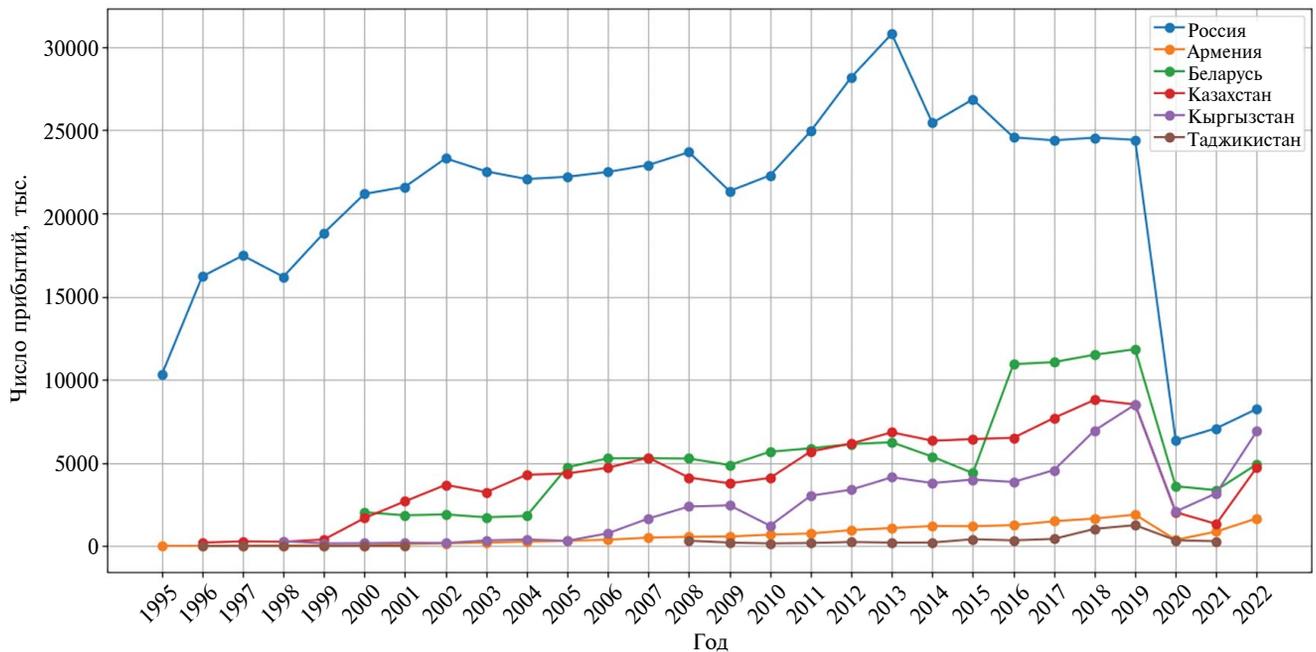


Рис. 2. Количество въезжающих туристов по странам ЕАЭС в 1995–2022 гг., тыс. чел.

сотрудничеству Беларуси и России в рамках Союзного государства, введению 5-дневного безвизового срока для туристов из 80 стран (Довнар, Коврей, 2018). В 2010 г. поток внешних медицинских туристов достиг 100, а в 2017 г. – 190 тыс. чел. После коронавирусной пандемии поток туристов возобновился, в 2021 г. составил 150 тыс. чел., а доход от медицинского туризма – около 40 млн долл. США (Развитие ..., 2023<sup>4</sup>; Гаффаров, 2021). Доход от одного медицинского туриста в 2.3 раза выше дохода от другого туриста. Диверсификация туристского продукта как следствие разработки новых видов медицинских и оздоровительных услуг – один из ключевых аспектов для привлечения туристов, продвижения бренда лечебно-оздоровительного туризма как привлекательного и конкурентоспособного вида деятельности на международном уровне.

**Казахстан.** Тренды развития лечебно-оздоровительного туризма положительные, но имеющиеся ресурсы используются не в полной мере. В 2022 г. лидирующие позиции по количеству санаторно-курортных учреждений (их в стране – 144) занимали Щучинско-Боровская (25%), Баянальская (17%) и Алматынская (13%) курортные зоны; на долю этих трех зон приходится 55% доходов от общего количества санаториев по стране (Дошанова, 2023). Основное конкурентное преимущество – низкие цены на медицинскую помощь, размещение и куль-

турно-развлекательные мероприятия. На российско-казахстанском порубежье могут быть созданы международные медико-туристические кластеры. Основные конкурентные преимущества таковых – сопряженное развитие медицинских технологий, более низкие цены на медицинскую помощь, размещение и культурно-развлекательные мероприятия.

**Кыргызстан.** Возможности для развития лечебных и оздоровительных форм туризма открываются здесь благодаря уникальному сочетанию горного рельефа и наличию оз. Иссык-Куль. В стране имеется около 140 санаторно-курортных организаций, однако для их деятельности характерна сезонность: до 3/4 въезжающих туристов приходится на период май–август (Белов, 2015). Прием медицинских туристов ограничен слабым развитием материально-технической базы, отсутствием надежных транспортных магистралей круглогодичного действия, особенно в горных районах, обладающих особенно благоприятными условиями для развития лечебно-оздоровительного туризма.

**Российская Федерация.** По состоянию на 2022 г. в России насчитывалось 1742 санаторно-курортных организаций, которые обслужили 7.22 млн чел. (Здравоохранение ..., 2023). В последующие годы страна столкнулась с жестким санкционным давлением так называемых “недружественных” стран, что негативно отразилось на туризме вообще и лечебно-оздоровительном туризме в частности. Но что касается основного его вида – медицинского туризма, то он устойчиво развивается и в этих условиях. В других видах лечебно-оздоровительного туриз-

<sup>4</sup> Развитие медицинского туризма в Беларуси: экономический аспект. <https://medical-russia.ru/razvitie-meditsinskogo-turizma-v-belarusi-ekonomicheskij-aspekt/>. (дата обращения 31.01.2024).

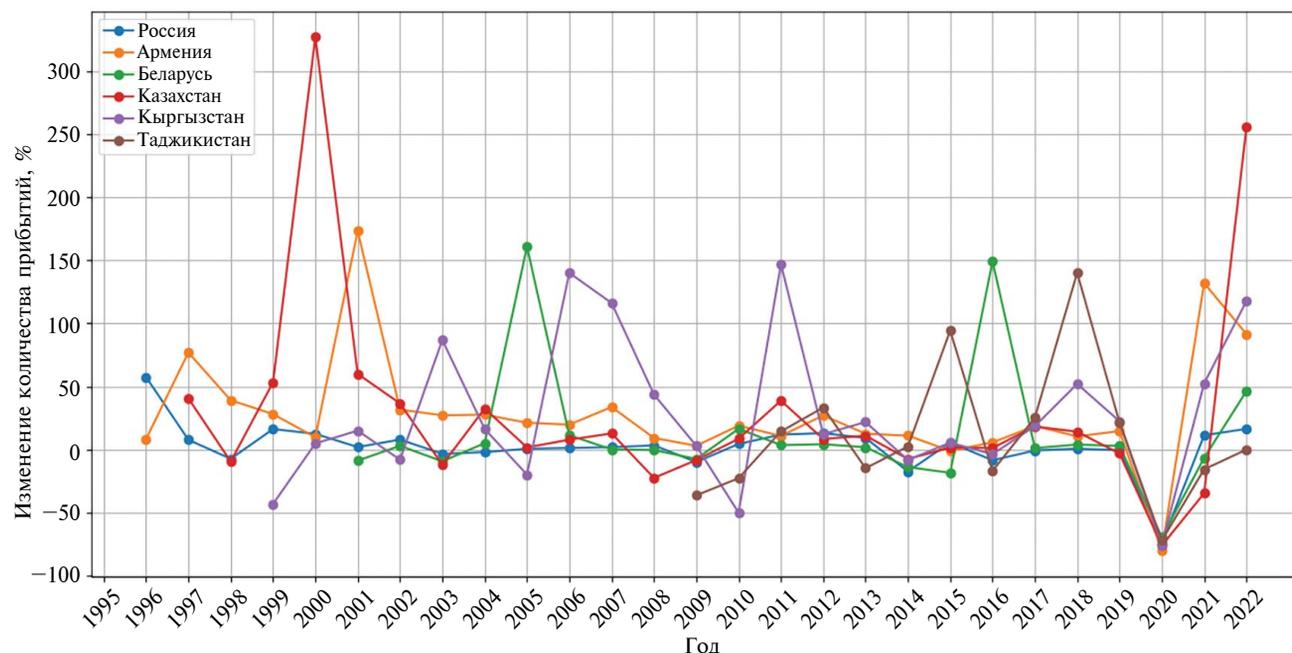


Рис. 3. Динамика туристических потоков по странам ЕАЭС в 1995–2022 гг., %.

ма главные цели поездки в санаторно-курортные учреждения состоят в сбросе лишнего веса, проведении отпуска с пользой для здоровья<sup>5</sup>.

**Таджикистан.** Большой потенциал лечебно-оздоровительного туризма обусловлен, главным образом, природными факторами и методами традиционной медицины. Тренд развития туризма в этой среднеазиатской стране положительный. Общее число туристов в 2022 г. составило около 1 млн чел., но доля лечебно-оздоровительного туризма в этом потоке незначительна, что объясняется недостаточным уровнем использования инновационных технологий, слабым развитием материально-технической базы, трудной доступностью перспективных для развития лечебно-оздоровительного туризма горных территорий.

Еще две страны Центральной Азии – Туркменистан и Узбекистан – не входят в состав ЕАЭС, но они, как и рассмотренные выше, являются членами СНГ, их социально-экономическое развитие во многом зависит от сотрудничества с другими странами макрорегиона. Этот факт надо принимать во внимание при разработке стратегических документов развития и пространственной организации здоровьесбережения.

На развитие лечебно-оздоровительного туризма в рассматриваемых странах существенно влияют различия в демографической и социальной сферах (табл. 2), а также ценовая политика в этой области, что особенно проявляется на фоне других стран (табл. 3).

Продвижению стран ЕАЭС на рынке медицинского туризма способствует распространение стандартов международных организаций: JCI (Joint Commission International)<sup>6</sup> (табл. 4), ISO 22525. Последний введен в конце 2020 г. с целью обеспечения единых подходов к оценке уровня развития медицинского туризма, подробной информации по его внедрению в организациях пока нет.

При анализе табл. 4 выявляется, что наибольшее внимание сертификации сети лечебно-оздоровительных учреждений уделяется в Казахстане. Первым (2013 г.) среди организаций, аккредитованных в JCI, был Национальный центр нейрохирургии. В Международном онкологическом центре томотерапии “UMIT” и Национальном научном кардиохирургическом центре, помимо аккредитации самих клиник, сертифицированы программы лечения. В России количество аккредитованных учреждений не только не увеличивается, а даже снижается. Так, у ОАО “Медицина” (г. Москва) с 1 ноября 2023 г. аккредитация отозвана (полагаем, по причинам геополитического порядка). В других рассматриваемых нами странах аккредитации клиник не проводились.

В последнее время медицинские организации ЕАЭС сталкиваются с нарастающими сложностями проведения процедуры международной аккредитации, вследствие чего одним из возможных путей решения этой проблемы может стать формирование единых межгосударственных подходов к оценке организации

<sup>5</sup> Опрос AZIMUT Hotels: россияне готовы доплачивать за медицинские туры. [https://azimuthotels.com/ru/life/Medical\\_tourism](https://azimuthotels.com/ru/life/Medical_tourism) (дата обращения 31.01.2024).

<sup>6</sup> JCI-Accredited Organizations. <https://www.jointcommissioninternational.org/> (дата обращения 31.01.2024).

Таблица 2. Показатели демографической и социальной сфер в странах ЕАЭС

Страна	Ежегодные темпы роста численности населения (2013–2022)	Общий коэффициент рождаемости, 2022, ‰	Общий коэффициент смертности, 2022, ‰	Общий коэффициент эффективности, 2022, ‰	Демографическая нагрузка на 1000 трудоспособного населения, 2022	Коэффициент младенческой смертности, 2020, ‰	Расходы на здравоохранение, 2022, % ВВП	Обеспеченность больничными койками на 10 тыс. населения, 2022	Доля населения, проживающего за чертой бедности, 2022, %	Уровень первичной инвалидности на 10 тыс. чел., 2022	Обеспеченность населения врачами, 2022, чел. на 10 тыс. населения	AQI*, 2022, балл по РМ2.5, мкг/м <sup>3</sup>
Армения	1.21	12.2	9.0	539	7.4	2.3	370	26.5	54	402	31.4	
Беларусь	-0.25	9.3	12.8	576	2.4	5.1	838	4.1	66	464	16.8	
Казахстан	1.71	20.3	6.8	563	7.8	2.7	658	5.2	20	412	23.0	
Кыргызстан	2.19	21.5	4.5	548	14.4	2.9	410	33.3	17	207	31.1	
Россия	0.28	8.8	13.8	512	4.5	3.9	798	11	49	510	11.2	
Таджикистан	2.61	22.1	4.0	505	32.3	2.9	447	26.3	16	214	46.0	

Примечание. За количественный показатель принято медианное значение AQI – измерение концентрации загрязняющих веществ в окружающем воздухе и связанных с ними рисков для здоровья (Самые загрязненные страны и регионы мира. <https://www.igair.com/ru/world-most-polluted-countries> (дата обращения 31.01.2024)). Составлено авторами.

и функционирования медицинского туризма в рамках ЕАЭС по мировым требованиям.

Одним из этапов исследования стала кластеризация стран по состоянию систем здоровьесбережения и развитию лечебно-оздоровительного туризма. Для этой цели была составлена матрица корреляций используемых показателей (рис. 4), при этом в дополнение к данным, указанным в табл. 2 (1–11), учитывалось еще количество клиник JCI (12), число въехавших в страну туристов на одного человека населения (13) и стоимость операций по шунтированию (14).

Тепловая карта коэффициента корреляций демонстрирует высокую степень мультиколлинеарности в системах здоровьесбережения стран ЕАЭС. Так, коэффициент корреляции между показателем ежегодных темпов прироста населения и общим коэффициентом рождаемости составляет 0.94, а между показателями расходов на здравоохранение и числа больничных коек на 10 тыс. чел. – 0.83. Это указывает на то, что ежегодные темпы роста за последние 10 лет (2013–2022 гг.) коррелируют с общим коэффициентом рождаемости, а расходы на здравоохранение в процентном отношении к ВВП – с обеспеченностью населения больничными койками на 10 тыс. чел. Указанная закономерность характерна для всех стран.

Количественный анализ данных проведен с использованием алгоритма K-means, в результате чего выделились три кластера (рис. 5 и 6).

С целью альтернативного представления результатов кластеризации построена дендрограмма иерархической кластеризации (рис. 7).

*Первый кластер* – это страны (Россия и Белоруссия) с относительно развитой системой здоровьесбережения и, соответственно, лечебно-оздоровительного туризма; для них характерны низкие показатели рождаемости и смертности, увеличение доли лиц пожилых возрастов (более 20% численности населения), значительные затраты на здравоохранение (4.5% от ВВП), высокий уровень обеспеченности медицинской инфраструктурой и высококвалифицированными кадрами. Косвенным подтверждением эффективности системы здоровьесбережения являются низкие показатели младенческой смертности, снижение уровня выявления первичной инвалидности (Нацун, 2020). Мировую известность получили Республиканский научно-практический центр (РНПЦ) онкологии и медицинской радиологии имени Н.Н. Александрова (Минск), Национальный медицинский исследовательский центр (НМИЦ) онкологии имени Н.Н. Блохина (Москва); НМИЦ онкологии имени Н.Н. Петрова (Санкт-Петербург), НМИЦ кардиологии имени Е.Н. Мешалкина (Новосибирск), РНПЦ “Кардиология” (Минск); НМИЦ сердечно-сосудистой хирургии имени А.Н. Бакулева (Москва), НМИЦ кардиологии имени Е.И. Чазова (Мо-

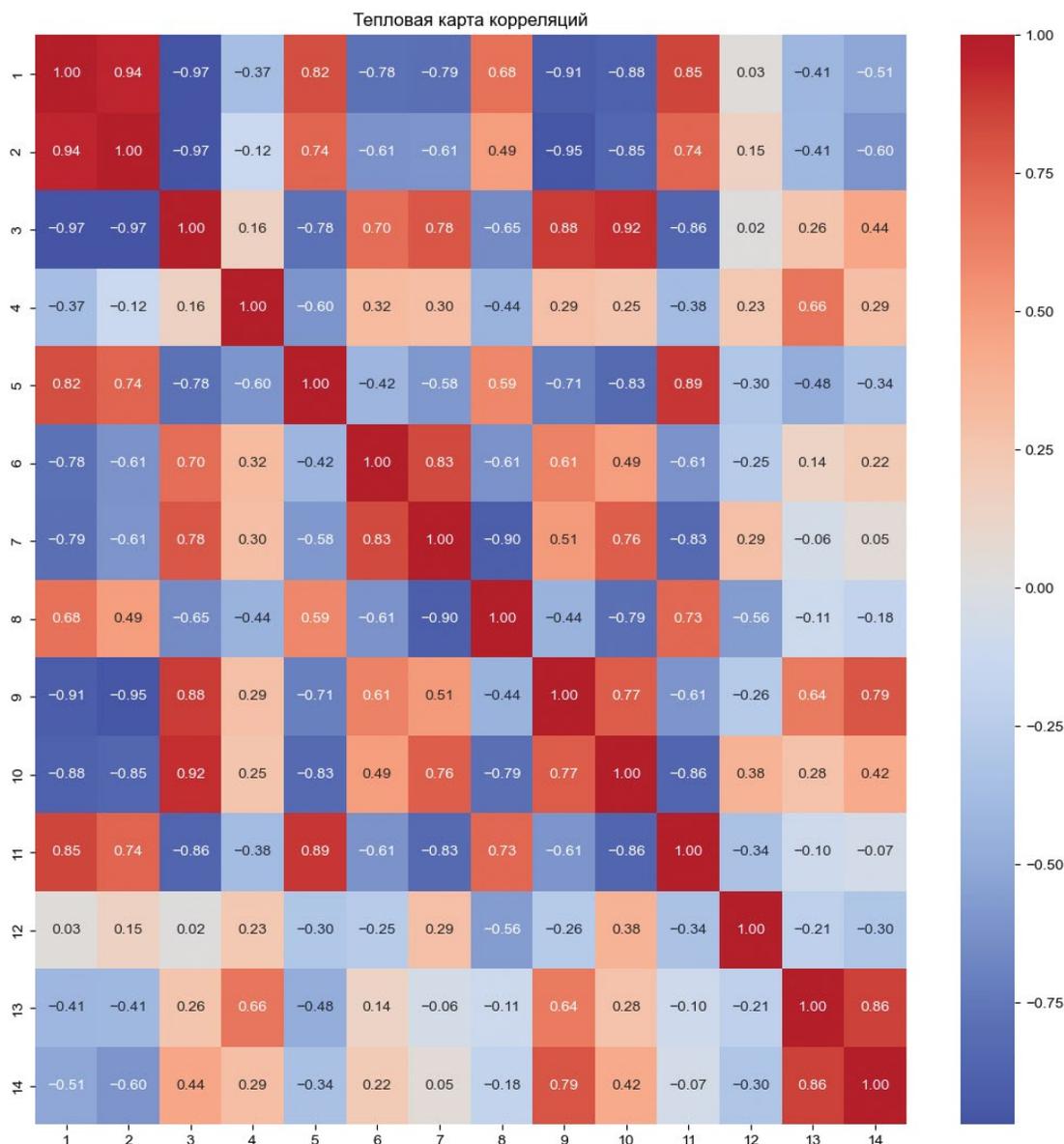


Рис. 4. Тепловая карта коэффициента корреляции.

сква), НМИЦ имени В.А. Алмазова (Санкт-Петербург), Научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии (Минск); НМИЦ трансплантологии и искусственных органов имени В.И. Шумакова (Москва), Западно-Сибирский медицинский центр (Омск).

*Второй кластер* стран (Армения и Казахстан) характеризуется средним уровнем развития системы здоровьесбережения. Демографическая ситуация относительно стабильная: высокие значения рождаемости при относительно низких показателях смертности. Уровень расходов на здравоохранение невысокий (2.5% от ВВП), что отрицательно сказывается на обеспеченности отрасли кадрами и инновационным оборудованием. Территориальные особенности системы здоровьесбережения выражаются в значительной роли столичных городов. Некоторое количество клиник в обеих странах аккредитовано по стандартам JCI.

*Третий кластер* стран (Кыргызстан и Таджикистан) отличается недостаточным уровнем развития системы здоровьесбережения. Для обеих стран характерны высокие темпы роста численности населения, низкий уровень доходов, трудный доступ к медицинским услугам в удаленных от столиц местностях. Велика доля незанятых трудовых ресурсов, что обуславливает большие миграционные потоки экономически активного населения. Названные негативные явления усугубляются наличием нерешенных проблем в сфере здравоохранения и во всей системе здоровьесбережения. Расходы на здравоохранение (2.9% от ВВП), хотя и выше, чем в странах второго кластера, но используются неэффективно.

На развитие и пространственную организацию лечебно-оздоровительного туризма влияет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при разработке документов по стратегическому про-

**Таблица 3.** Средняя цена на предоставление стоматологической и кардиологической помощи в некоторых городах стран ЕАЭС на фоне Германии и Индии (2023 г.), долл. США

Страна, город	Стоматология (имплантация)*	Кардиология (шунтирование)
Армения, Ереван	2230	8500
Беларусь, Минск	3270	7700
Казахстан, Астана	4250	3350
Казахстан, Алматы	4030	3310
Кыргызстан, Бишкек	1620	2000
Россия, Москва	3260	4000
Россия, Санкт-Петербург	2200	3900
Россия, Воронеж	2530	2400
Таджикистан, Душанбе	нет данных	4100
Германия, Берлин	21600	32000
Индия, Нью-Дели	7581	6600

*Примечание:* \* технология all-in-4.

Составлено авторами по данным сайтов: Медицинский портал Казахстана. <https://www.103.kz> (дата обращения 31.01.2024); Имплантация all-on-4 или “все на четырех” в Астане. <https://basdent.kz/allon4> (дата обращения 31.01.2024); Имплантация ALL-ON-4. <https://triodent-all-on-4.kz/> (дата обращения 31.01.2024); Импланты All-on-4 – цены в СПб. <https://prodoctorov.ru/spb/uslugi/implanty-all-on-4/> (дата обращения 31.01.2024); Аортокоронарное шунтирование (АКШ) – цены в Воронеже. <https://vrn.krasotaimedicina.ru/treatment/coronary-artery/cabg-cardiopulmonary-bypass> (дата обращения 31.01.2024); Аортокоронарное шунтирование (АКШ) – цены в Москве. <https://www.krasotaimedicina.ru/treatment/coronary-artery/cabg-cardiopulmonary-bypass> (дата обращения 31.01.2024); Операции на сердце и сосудах для взрослых. [https://www.cardio.by/hiroperacii1\\_page](https://www.cardio.by/hiroperacii1_page) (дата обращения 31.01.2024); Стоимость обследования и лечения болезней сердца и сосудов в клиниках Германии. <https://www.evroclinic.com/lechenie-za-rubezhom/lechenie-v-germanii/stoimost-lecheniya/kardiologiya> (дата обращения 31.01.2024); Dental implant all-on-4 cost guide per country. <https://www.123.clinic/en/blog/home/dental-implant-all-on-4-prices-and-cost-guide-per-country/70> (дата обращения 31.01.2024).

**Таблица 4.** Аккредитованные организации в странах ЕАЭС по JCI

Страна	Число организаций	Город, примеры
Армения	1	<i>Ереван:</i> Natali Pharm ltd Astghik Medical Center
Беларусь	0	–
Казахстан	9	<i>Астана:</i> Университетский медицинский центр, Национальный центр нейрохирургии, Национальный научный кардиохирургический центр, Больница медицинского центра Управления делами Президента РК, Национальный центр детской реабилитации, Международный онкологический центр томотерапии “UMIT” <i>Алматы:</i> Центральная клиническая больница, НИИ кардиологии и внутренних болезней <i>Тараз:</i> Научно-клинический центр кардиохирургии и трансплантологии
Кыргызстан	0	–
Россия	3	<i>Москва:</i> Больница им. Шепкина, Клинико-диагностический центр на Красной Пресне, АО “Медицина” (с 1 ноября 2023 г. аккредитация прекращена) <i>Набережные Челны:</i> Региональный центр неотложной медицинской помощи
Таджикистан	0	–

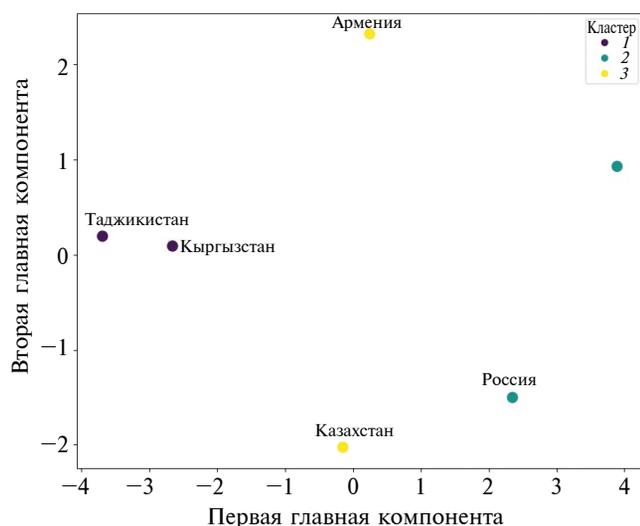


Рис. 5. 2D PCA визуализация кластеров стран.

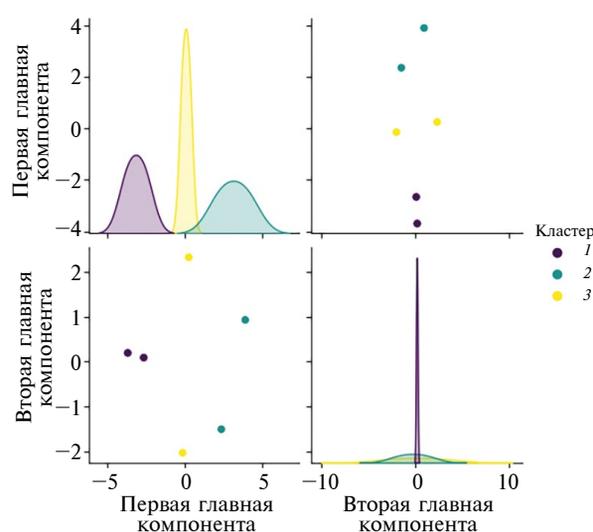


Рис. 6. График пар кластеров стран ЕАЭС.

странственному планированию. Укажем на наиболее существенные, на наш взгляд, ограничения.

1. Экологическая ситуация оказывает влияние на состояние общественного здоровья и, следовательно, на выбор направлений медицинского туризма. Показатели состояния окружающей среды бывают резко дифференцированы по территории страны. Например, Кыргызстан в целом характеризуется относительно благоприятной экологической ситуацией, но в городах Ош и Бишкек уровень загрязнения воздуха в зимние месяцы неоднократно до десяти раз превышал нормы, установленные Всемирной организацией здравоохранения, а в летнее время – в 1.5–2 раза.

2. Ценовая политика в медицинских и оздоровительных учреждениях широко варьируется даже в пределах города, не говоря уже о различиях на уровне стран. Это явление обусловлено не только использованием инновационных технологий, требующих дорогостоящего оборудования и высокой оплатой труда высококвалифициро-

ванных специалистов, но и стоимостью визы для въездных туристов, транспортными издержками, расходами на перевод медицинских и других документов, уровнями комфорта размещения и качества питания. При условии формирования медико-туристических кластеров (Чистобаев, 2023) затраты на медицинский и оздоровительный туризм могут быть существенно снижены, что, соответственно, отразится и на ценовой политике.

3. Подбор показателей для аналитики лечебно-оздоровительного туризма должен наиболее полно отражать уровень развития системы здоровьесбережения, ее влияние на формирование направлений медицинского туризма. Для повышения достоверности используемых параметров следует проводить корреляционный анализ данных за различные промежутки времени.

4. Отсутствие реестра организаций, прошедших сертификацию по разработанным стандартам, негативно влияет на бренд, а следовательно, и на привлекательность направлений лечебно-оздоровительного туризма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лечебно-оздоровительный туризм в странах ЕАЭС отличается разной скоростью продвижения. Лидеры – Беларусь и Россия – имеют разветвленную сеть учреждений с развитой инфраструктурой, наличием кадров высокой квалификации, доступными для широких слоев населения ценами на лечение и размещение. Во втором кластере стран (Казахстан и Армения) и тем более в третьем (Кыргызстан и Таджикистан) уровень развития лечебно-оздоровительного туризма существенно ниже. Соответственно, определяется роль этих стран на региональном и мировом рынках лечебно-оздоровительного туризма.

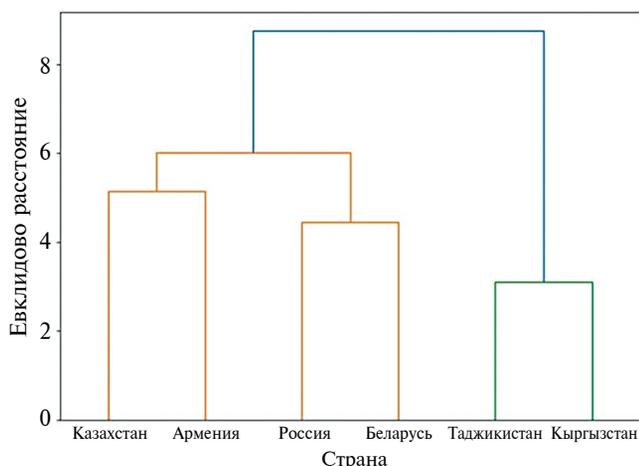


Рис. 7. Дендрограмма иерархической кластеризации стран ЕАЭС.

Лечебно-оздоровительный туризм имеет огромный мультипликативный эффект, так как стимулирует создание рабочих мест как в сфере здравоохранения, так и во всей системе здоровьесбережения; он способствует также развитию торговли, общественного питания, культурных и просветительных учреждений, сближению народов.

Страны ЕАЭС обладают значительными возможностями для развития лечебно-оздоровительного туризма, эффективность его может возрасти при условии выработки единых стандартов сертификации учреждений по сбережению здоровья населения, взаимоувязанных стратегий формирования рынка медицинской помощи и оздоровительных услуг. Важно заметить, что нельзя допускать замыкания центрально-азиатских стран внутри этого региона: лечебно-оздоровительный туризм этих стран может стать эффективным при тесном содружестве и с другими странами мира.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена при финансовой поддержке РНФ по гранту № 23-28-00279 “Траектории развития рынка российского медицинского туризма в условиях реформирования мирового порядка”.

### FUNDING

The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant no. 23-28-00279 “Development trajectories of the Russian medical tourism market in the context of reformatting the world order.”

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белов Г.В.* Медицинская, экологическая, экономическая и политическая безопасность летнего туризма в Кыргызстане // *Медицина Кыргызстана*. 2015. № 2. С. 18–24.
- Гаффаров Е.В.* Концептуальные основы развития медицинского туризма в Республике Беларусь. Минск: БГУ, 2021. 76 с. [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/266733/1/gaffarov\\_dip.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/266733/1/gaffarov_dip.pdf) (дата обращения 31.01.2024).
- Довнар Р.И., Коврей В.А.* Медицинский туризм в Республике Беларусь: экономико-организацион-

ные аспекты его развития // *Медицинские новости*. 2018. № 12 (291). С. 39–44.

- Доцанова А.* Разработка стратегии по развитию лечебно-оздоровительного туризма Республики Казахстан. СПб.: СПбГУ, 2023. 103 с. <http://hdl.handle.net/11701/42483> (дата обращения 31.01.2024).
- Здравоохранение в России*. 2023. Стат. сб. М.: Росстат, 2023. 179 с.
- Куrolан С.А., Киреева-Гененко И.А., Клепиков О.В.* Методические подходы к изучению качества жизни населения и оценке медико-демографических рисков территорий интенсивного агропромышленного освоения // *Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: География. Геоэкология*. 2022. № 4. С. 141–148. <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/4/141-148>
- Нацун Л.Н.* Исследование особенностей статистического учета первичной инвалидности взрослого населения в России в контексте социальной политики // *Siberian Socium*. 2020. Т. 4. № 2 (12). С. 32–47. <https://doi.org/10.21684/2587-8484-2020-4-2-32-47>
- Чистобаев А.И.* Географическое поле медико-туристического кластера региона: забытая теория, лучшие практики // *Тихоокеанская география*. 2023. № 3 (15). С. 47–55. [https://doi.org/10.35735/26870509\\_2023\\_15\\_4](https://doi.org/10.35735/26870509_2023_15_4)
- Чистобаев А.И., Дмитриев В.В., Семёнова З.А., Грудцын Н.А., Огурцов А.Н.* Общественное здоровье в регионе: опыт интегральной оценки // *Здравоохранение Российской Федерации*. 2022. Т. 66. № 3. С. 251–258. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-3-251-258>
- Arutyunyan V.L., Dokholyan S.V.* Medical Tourism Growth Perspectives in Armenia // *Economics and Management*. 2018. № 11 (157). P. 19–28.
- Chistobaev A.I., Semenova Z.A., Grudtcyn N.A.* Dynamics and strategic directions of public health preservation in Russian Federation // *Entrepreneurship and Sustainability Issues*. 2019. № 6 (3). P. 1380–1392.
- Rai A.* Medical Tourism: An Introduction. In: *Medical Tourism in Kolkata, Eastern India. Global Perspectives on Health Geography*. Cham: Springer, 2019. P. 1–41. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73272-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73272-5_1)
- Tovmasyan G.* Healthcare tourism in Armenia: opportunities and perspectives of development // *Messenger of Armenian State University of Economics*. 2021. № 5. P. 107–126. [https://doi.org/10.52174/1829-0280\\_2021\\_5\\_107](https://doi.org/10.52174/1829-0280_2021_5_107)

## Differentiation of Countries of the Eurasian Economic Union by Level of Development of Medical and Health Tourism

E. S. Kulakovskiy<sup>a, b, \*</sup>, A. I. Chistobaev<sup>b, \*\*</sup>, and N. A. Grudtcyn<sup>b, \*\*\*</sup>

<sup>a</sup>Voronezh State University, Voronezh, Russia

<sup>b</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

\*e-mail: [evgeny.kyl@yandex.ru](mailto:evgeny.kyl@yandex.ru)

\*\*e-mail: [chistobaev40@mail.ru](mailto:chistobaev40@mail.ru)

\*\*\*e-mail: [poxes@yandex.ru](mailto:poxes@yandex.ru)

The article analyzes current trends in the development of medical and health tourism in the health care systems of the countries of the Eurasian Economic Union. The purpose of the study is to identify differentiation in the level of development of health and medical tourism. The authors justify the choice of key indicators in the demographic, social, economic and environmental spheres that influence the development of health tourism. A correlation matrix was proposed and applied, thanks to which the degree of linear dependence between pairs of variables was revealed. Clustering of the countries of the Eurasian Economic Union according to the level of development of medical and health tourism was carried out using the K-means method in combination with two-dimensional principal component analysis (2D PCA). The levels of development of medical and health tourism in the studied countries were determined: high (Belarus, Russia), medium (Armenia, Kazakhstan), low (Kyrgyzstan, Tajikistan). For each of the identified clusters, trends in the development of medical and health tourism were identified, which are determined by the specific demographic situation, the volume of investments in the health sector, the availability of hospital beds per 10 thousand inhabitants, the quantity and quality of medical personnel, the development of infrastructure, and the state of the environment. In addition, attention is paid to determining the export potential of medical care and health services. Recommendations were made on the interaction of the countries of the Eurasian Economic Union with Turkmenistan and Uzbekistan, which will improve the efficiency of health care systems. Ways of strengthening interstate interaction in the protection of public health under the existing restrictions in relation to some of the countries studied are substantiated. In the conclusion, it is noted that it is advisable to adopt documents on standardization and certification of medical care and health services within the framework of the Eurasian Economic Union.

*Keywords:* public health, medical care, health services, medical tourism, sanatoriums, resorts, tourist and recreational system, demographic situation

## REFERENCES

- Arutyunyan V.L., Dokholyan S.V. Medical tourism growth perspectives in Armenia. *Econ. Manag.*, 2018, no. 11, pp. 19–28.
- Belov G.V. Medical, environmental, economic and political safety of summer tourism in Kyrgyzstan. *Med. Kyrgyzstana*, 2015, no. 2, pp. 18–24. (In Russ.).
- Chistobaev A.I. Geographical field of the region's medical tourism cluster: forgotten theory, best practices. *Tikhookean. Geogr.*, 2023, no. 3, pp. 47–55. (In Russ.). [https://doi.org/10.35735/26870509\\_2023\\_15\\_4](https://doi.org/10.35735/26870509_2023_15_4)
- Chistobaev A.I., Dmitriev V.V., Semenova Z.A., Grudtsyn N.A., Ogurtsov A.N. Public health in the region: experience of integral assessment. *Zdravookhr. Ross. Fed.*, 2022, vol. 66, no. 3, pp. 251–258. (In Russ.). <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-3-251-258>
- Chistobaev A.I., Semenova Z.A., Grudtcyn N.A. Dynamics and strategic directions of public health preservation in Russian Federation. *Entrep. Sustain. Iss.*, 2019, vol. 6, no. 3, pp. 1380–1392.
- Doshchanova A. *Razrabotka strategii po razvitiyu lechebno-ozdorovitel'nogo turizma Respubliki Kazakhstan* [Development of a Strategy for the Development of Medical and Health Tourism in the Republic of Kazakhstan]. St. Petersburg: SPbGU, 2023. 103 p. Available at: <http://hdl.handle.net/11701/42483> (accessed: 31.01.2024).
- Dovnar R.I., Kovrey V.A. Medical tourism in the Republic of Belarus: economic and organizational aspects of its development. *Med. Novosti*, 2018, no. 12, pp. 39–44. (In Russ.).
- Gaffarov E.V. *Kontseptual'nye osnovy razvitiya meditsinskogo turizma v Respublike Belarus'* [Conceptual Basis for the Development of Medical Tourism in the Republic of Belarus]. Minsk: BSU, 2021. 76 p. Available at: [https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/266733/1/gaffarov\\_dip.pdf](https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/266733/1/gaffarov_dip.pdf) (accessed: 31.01.2024).
- Kurolap S.A., Kireeva-Genenko I.A., Klepikov O.V. Methodological approach to the study of living and assessment of medical and demographic risks of intensive agricultural development areas. *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Ser.: Geogr. Geoekol.*, 2022, no. 4, pp. 141–148. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2022/4/141-148>
- Natsun L.N. Study of the features of statistical accounting of primary disability of the adult population in Russia in the context of social policy. *Sibir. Sotsium*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 32–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.21684/2587-8484-2020-4-2-32-47>
- Rai A. *Medical Tourism: An Introduction. In Medical Tourism in Kolkata, Eastern India. Global Perspectives on Health Geography*. Cham: Springer, 2019, pp. 1–41. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73272-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73272-5_1)
- Tovmasyan G. Healthcare tourism in Armenia: opportunities and perspectives of development. *Mess. Armen. St. Univ. Econ.*, 2021, no. 5, pp. 107–126. [https://doi.org/10.52174/1829-0280\\_2021\\_5\\_107](https://doi.org/10.52174/1829-0280_2021_5_107)
- Zdravookhranenie v Rossii. 2023: Stat. sb.* [Healthcare in Russia. 2023: Statistical Collection]. Moscow: Rosstat, 2023. 179 p.

УДК 551.482.212:556.5

## ГЕОГРАФИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ НЕРАЗВЕТВЛЕННЫХ РУСЕЛ И УСЛОВИЯ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

© 2024 г. Р. С. Чалов<sup>1,\*</sup>, Е. Р. Чалова<sup>1,\*\*</sup>, Г. Б. Голубцов<sup>1,\*\*\*</sup>

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

\*e-mail: rschalov@mail.ru

\*\*e-mail: ekar28@yandex.ru

\*\*\*e-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.10.2023 г.

После доработки 10.06.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Проводится географический анализ условий развития и распространения прямолинейных неразветвленных русел, образующих морфологически однородные участки, “вставки” между излучинами и островами на меандрирующих и разветвленных реках, а также рукавов русловых (островных), пойменно-русловых разветвлений и раздвоенных русел. Показано, что морфологически однородные участки с этим типом русла встречаются на реках сравнительно редко, что связано с неустойчивостью прямолинейного движения потока. Установлены условия, при которых возможно образование прямолинейных русел: расположение широкопойменных русел вдоль коренных берегов, на реках с врезанным руслом и т.д. В частности, показано, что на реках с врезанным руслом его прямолинейность поддерживается слабой размываемостью или неразмываемостью берегов, особенно сложенных скальными породами, обуславливающих их стабильность. На составленной мелкомасштабной карте приведено районирование территории России по распространению прямолинейных неразветвленных русел и их встречаемости на малых и средних реках с другими типами русла. На больших и крупнейших реках выделены морфологически однородные участки прямолинейного русла, а также проявления прямолинейности в виде “вставок” между смежными излучинами и разветвлениями разных типов, в рукавах разветвлений разных морфодинамических типов и структурных уровней. Рассмотрены причины и условия преобразования прямолинейных русел в извилистое и разветвленное (трансформирующееся русло) или их нетрансформируемости в разных регионах страны, что является важным аспектом при учете водохозяйственного и водотранспортного использования рек.

*Ключевые слова:* русловые процессы, типизация, морфодинамика русел, рукава, излучины, движение потока, трансформация русел, устойчивость русел

DOI: 10.31857/S2587556624040032 EDN: RQGCRZ

### ВВЕДЕНИЕ

Относительно прямолинейные, неразветвленные русла – один из трех основных морфодинамических типов речных русел, особенностью распространения которого является сравнительно малая встречаемость по сравнению с меандрирующими (извилистыми) и разветвленными на рукава. По подсчетам, сделанным на основе карты “Русловые процессы на реках СССР” (1990), их доля от длины рек (протяженностью 500 км и более) с широкопойменным руслом составляет 7.4%, с врезанным руслом – 6.8% (суммарно 14.2%); другие типы русла занимают 58% извилистые и 30% разветвлен-

ные (Русловой ..., 1984). Это обстоятельство, а также бóльшая устойчивость прямолинейных русел и незначительность переформирований во времени обусловили их слабую изученность или подмену оценок морфологии и деформаций собственно самих прямолинейных русел “внутрирусловыми” формами рельефа – перекатами, побочными, осередками, грядами разных размеров.

Однако редкая встречаемость прямолинейных русел относится только к морфологически однородным участкам речных русел. Короткие прямолинейные отрезки русел располагаются часто между смежными излучинами, характеризуюсь длиной, в 3–4 раза меньшей дли-

ны самих излучин и представляя собой своего рода “вставки” между нижним крылом одной и верхним крылом другой излучины, или они разделяют острова, образующие одиночные разветвления либо звенья сопряженных разветвлений. Если одиночные разветвления создают морфологически однородный участок, прямолинейные “вставки” между островами являются их неотъемлемой частью русла этого типа, создавая чередование по длине реки островов, разделяющих русло на рукава, и прямолинейных неразветвленных “вставок”. Протяженность таких “вставок” превышает иногда в несколько раз длину самих разветвлений, вследствие чего деформации их происходят автономно по отношению друг к другу, но зависят от переформирования русла в прямолинейных “вставках” и в то же время оказывают влияние на них. Прямолинейные очертания нередко имеют рукава в разветвлениях любого типа, определяя их развитие. При этом во всех подобных случаях их не относят к самостоятельному типу русла, включая их в тот, который определяет морфодинамический тип русла (излучины, разветвления). Принимая же во внимание все разнообразие проявлений прямолинейности русел, “вставок” между излучинами и островами и рукавов разветвлений, общее количество (доля) их существенно (в несколько раз) возрастает. Форма русла в целом (прямое, извилистое или разделенное на рукава) или рукавов разветвленных русел и их “внутрирусловой” рельеф обуславливают темпы и направленность горизонтальных (плановых) деформаций, размывы берегов, взаимодействие в многоводную фазу режима руслового и пойменного потоков и, как следствие, специфику инженерных, водохозяйственных и водотранспортных (путевых) мероприятий, осуществляемых на реках при освоении как водных и речных ресурсов, так и приречных территорий, прокладку коммуникаций через реки и т.д.

Задача настоящей статьи, во-первых, показать условия формирования прямолинейных неразветвленных русел, образующих морфологически однородные участки, определяющих морфологию рукавов на разветвленных реках и создающих относительно короткие “вставки” между смежными излучинами или островами; во-вторых, на основе материалов многолетних исследований дать географический анализ распространения прямолинейных русел во всех их проявлениях на реках России. Огромная территория России и множество рек позволяют выявить особенности формирования русел этого типа в различных природных условиях. Подобные исследования были выполнены для процессов разветвления (Чалов, Чалова, 2019) и меандрирования рек (Чалов, Чалова, 2023) и их

проявлений в руслах других типов (например, формирования излучин рукавов или извилистости меженного русла при развитии побочной в прямолинейном русле, образования островов на излучинах и т.д.). Таким образом, анализ условий формирования и распространения прямолинейных неразветвленных русел завершит на данном этапе рассмотрение географии речных русел и процессов формирования их основных морфодинамических типов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу статьи положены результаты многолетних (с 1957 г.) исследований русловых процессов на реках России и бывшего СССР — равнинных и горных, малых, больших и крупнейших, выполняемых по различным проектам (госзаданиям, грантам РФФИ и РНФ, программам, госконтрактам, хозяйственным договорам), имевшим как фундаментальный, так и прикладной характер (Северная Двина и ее основные притоки — Вычегда, Вага, Пинега, Сухона, Юг; Печора и Мезень; Обь, Иртыш, Томь, Чулым, Кеть, Бия, Катунь; Лена, Киренга, Витим, Алдан, Вилюй; Амур; Индигирка, Яна, Колыма; Дон и Хопер; Волга, Ока, Протва, Сура, Инсар, Кудьма, Озерка; Енисей и Селенга; Терек и реки Северного Кавказа и западного Закавказья; реки степного и горного Алтая; Амударья; Неман). На ряде рек исследования выполнялись с неоднократной повторностью, что дало возможность установить закономерности переформирования русел, в том числе прямолинейных, для которых выявлены их трансформации и взаимосвязи с развитием излучин и разветвлений. Были осуществлены рекогносцировочные обследования малых и средних рек по регионам России, а также в бассейнах Янцзы и Хуанхэ, Вислы, в польских и украинских Карпатах. Все реки в той или иной мере характеризуются наличием участков прямолинейных неразветвленных русел, рукавов разветвлений и “вставок” между излучинами или островами большей или меньшей протяженности.

В зависимости от поставленных задач русловые исследования выполнялись по полной или сокращенной программе, но всегда с применением современной (на время проведения работ) аппаратуры. Их результатом были многочисленные региональные публикации по конкретным рекам или их участкам; обобщение полученных материалов привело к созданию карт русловых процессов на реках СССР и европейской части, Алтайского региона, Ханты-Мансийского округа, на которых выделялись прямолинейные русла, образующие морфологически однородные участки.

Исследования включали в себя ретроспективный анализ русловых деформаций, который выполнялся по картографическим материалам (лоцманским картам и картам судоходных рек, издаваемых с конца XIX — начала XX в. и зафиксировали состояние речных русел на время их составления, топографических и других карт), а также аэро- и космическим снимкам. Они дополнялись крупномасштабными планами, получаемыми изыскательскими партиями службы водных путей в результате промеров и съемок русел судоходных рек. В итоге был получен обширный материал, обобщение и анализ которого позволяют создать представление об условиях формирования русел и русловом режиме рек, дать гидролого-морфологическое обоснование выделения каждого типа русла, установить их морфологическое разнообразие. Применительно к прямолинейным неразветвленным руслам и их развитию в рукавах разветвлений и на крыльях излучин была разработана их классификация, обоснованы структурные уровни развития (Чалов Р.С., Чалов С.Р., 2023), определены соотношения с процессами меандрирования и разветвления, составлена мелкомасштабная карта распространения прямолинейных неразветвленных русел, основывающаяся на методологии картографирования русловых процессов (Чалов и др., 1986; Чалов, 1988).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Прямолинейные неразветвленные русла и условия их формирования.* Одной из причин ограниченности распространения прямолинейных русел является неустойчивость прямолинейного движения потока (Гришанин, 1972; Гришанин, Замышляев, 1985), вследствие чего русло трансформируется в извилистое или разветвленное в зависимости от соотношения морфометрических параметров и гидравлических сопротивлений (Карасев, 1975). Неустойчивость прямолинейного движения потока и его разделение на ветви течения при большой ширине русла (согласно критерию И.Ф. Карасева<sup>1</sup>) характерно для больших и крупнейших рек; средние и малые реки при  $4.5 < \Theta < 9$  и  $\Theta < 4.5$  соответственно преимущественно меандрируют. Поэтому для сохранения прямолинейности русла нужны определенные дополнительные условия (Чалов, 2008).

Как тип русла, образующий морфологически однородные участки на реках, прямолинейные

<sup>1</sup>  $Q = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda} > 9$ , где  $\lambda = \frac{2g}{C}$  — коэффициент гидравлических сопротивлений,  $C$  — коэффициент Шези,  $g$  — ускорение силы тяжести,  $b_p$  — ширина русла,  $h$  — глубина потока.

русла образуют самостоятельный блок в морфодинамической классификации МГУ (Маккавеев, 1971; Чалов, 1979, 2008) или выделены отдельной строкой в классификациях К.В. Гришанина (1972) и китайских ученых (Линь Чэнкуань, 1963; Шэн Юйчен, Гун Гоюань, 1986; Цянь Нин, 1987). Д.Л. Росген (Rosgen, 1994) связал прямолинейность русел с большими уклонами ( $>0.4-2\%$ ), т.е. соотнес их с горными реками. В “гидроморфологической теории руслового процесса” ГГИ (Кондратьев и др., 1982) выделяемые ленточно-грядовый, побочневый и осередковый (без соответствия последнего русловой многоруканности) типы процесса можно трактовать как соответствующие прямолинейным руслам, получившим название по развитым в них формам внутрируслового рельефа, отражающего грядовое перемещение наносов. Близкий подход характерен для работ С. Шумма (Schumm, 1977), который выделяет слабоизвилистое или прямое (однорукавное) русло также с осередками при большом стоке наносов, а в более поздней работе (Shen et al., 1978) — прямолинейные стабильные (очевидно — плесовые) и прямые со смещающимися побочнями. К.В. Гришанин (1972), давая характеристику прямолинейным руслам, также рассматривает их с точки зрения формирования и смещения в них побочней. По существу, такой же подход был и в классификации К.И. Россинского и И.А. Кузьмина (1947, 1958), которые деформации прямолинейных русел оценили как “периодическое расширение”, которое наблюдается в каждом створе при смещении перекаатов (на перекаате между побочнями меженное русло расширяется, глубина уменьшается; когда створ проходит побочень, то в плесовой ложине между перекаатами русло сужается, глубина возрастает).

Специальное и наиболее полное исследование морфологии и динамики прямолинейных русел было выполнено В.В. Ивановым (1989), который обосновал критерии отнесения русел к прямолинейному типу:  $l/L < 1.10-1.15$  (здесь  $l$  — длина участка русла,  $L$  — шаг его пологого изгиба) и определения условий перехода от прямолинейности к извилистости (началу процесса меандрирования) русла и  $B_o/b_p < 0.35-0.40$  ( $B_o$  — ширина острова,  $b_p$  — ширина русла выше разветвления) — от прямолинейности к разветвленности. При нарушении последнего возникающие острова образуют разветвления второго порядка, влияние которых на структуру потока не охватывает всего русла, проявляясь только вблизи острова, а само русло и его берега сохраняют прямолинейные очертания; при  $B_o/b_p > 0.35-0.40$  размывы берегов напротив острова приводят к местному расширению русла, обуславливая дальнейшее развитие разветвления (Чалов и др., 1998; Чалов, 2009).

В.В. Иванов (1989) классифицировал прямолинейные русла по вероятности их преобразования в процессе саморазвития в другие типы русла: широкопойменное – трансформирующееся (с двусторонней поймой); адаптированное (с узкой поймой) и врезанное – нетрансформирующееся. Процесс преобразования (трансформации) типа русла в ходе его саморазвития и при неизменности факторов (водности, стока наносов и др.) занимает обычно многие десятилетия и даже столетия, и поэтому оценка таких трансформаций при прогнозировании деформаций имеет в основном фоновый характер (за исключением случаев, когда значения критериев  $l/L$  и  $B_o/b_p$  приближаются или уже стали критическими). Учитывая в известной мере представления К.И. Россинского и И.А. Кузьмина (1947, 1958), ГГИ (Кондратьев и др., 1982), К.В. Гришанина (1972), среди прямолинейных русел следует выделять врезанные и широкопойменные, а среди последних – плесовые и перекатные. Плесовый характер присущ обычно участкам русла, расположенным вдоль коренных берегов, имеющих выровненные в плане очертания; перекатные (с шахматным расположением побочной и извилистыми очертаниями в межень или осередковой разветвленностью) – также вдоль коренного берега, но с чередованием его выступов и выбоин (вогнутостей), отклоняющих поток от него, или при двусторонней пойме. Наличие коренного (ведущего) берега обуславливает во время паводков (высоких паводков) возникновение однонаправленных циркуляционных течений в сторону затопленной поймы, вследствие чего вдоль нее создается зона аккумуляции наносов, тогда как у коренного берега русло размывается, что приводит к стабилизации русла в целом (его нетрансформируемости), отступления коренного берега и медленного смещения прямолинейного русла параллельно самому себе в его сторону (Чалов, 1979, 2011). У возникающих ниже выступов и мысов коренного берега побочной обычно развивается побочная протока, по которой со временем происходит отторжение побочня, и даже при большом стоке руслообразующих наносов и развитии перекатов прямолинейность русла сохраняется.

Во врезанных руслах их прямолинейность поддерживается слабой размываемостью или неразмываемостью берегов, особенно сложных скальными породами, обуславливающих их стабильность.

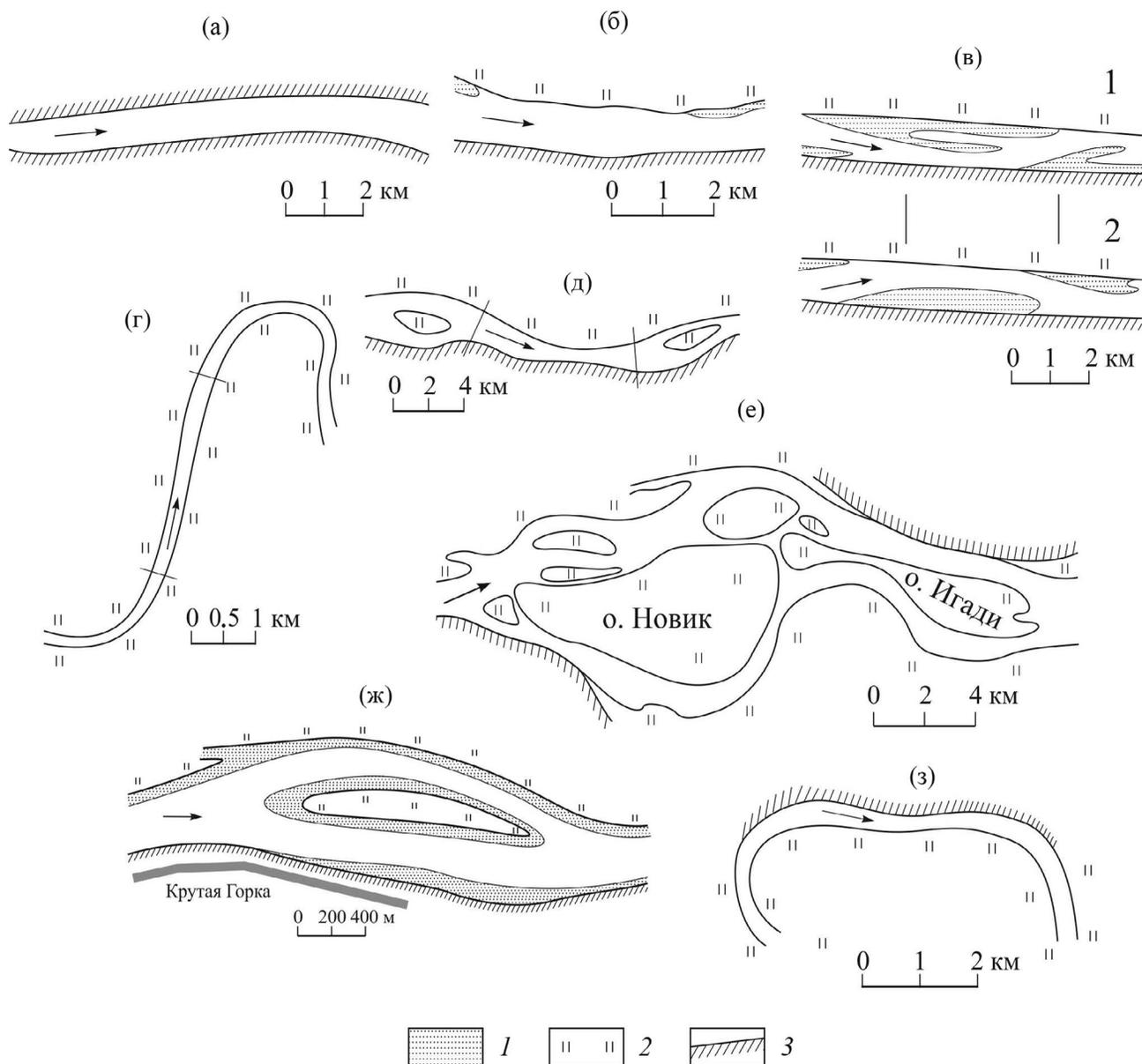
Врезанный характер русла или расположение широкопойменного русла вдоль коренного (ведущего) берега – наиболее распространенная причина формирования их прямолинейности и неразветвленности (рис. 1а, б). К этому добавляется слабая устойчивость (неустойчивость) русла, при

которой большая подвижность побочной и осередков не позволяет им закрепиться растительностью и превратиться в шпору излучины или остров (рис. 1в). Таково, например, русло р. Хуанхэ (Чалов и др., 2000), где полная перестройка руслового рельефа (побочной, осередков) происходит в каждую многоводную фазу режима, хотя в межень русло производит впечатление меандрирующего из-за быстрого появления травяного покрова. Само русло при этом остается прямолинейным, несмотря на интенсивные размывы берегов, фронт которых постоянно меняет свое положение. Такие русла в китайских классификациях часто называют блуждающими.

На горных реках прямолинейность русел связана с большими уклонами, вследствие чего роль тангенциальной составляющей силы тяжести превышает (как и циркуляционных течений при затоплении пойм равнинных рек) влияние неустойчивости прямолинейного движения потока.

На всех реках отклонение потока от коренного берега мысами и выступами (его неровностями) обуславливает незначительность доли этого типа русла и его распространение между формами русла другого типа (смежными излучинами, одиночными разветвлениями), имея вид отдельных коротких фрагментов (рис. 1г, д). На меандрирующих реках прямолинейные участки возникают как следствие остаточной циркуляции потока в нижнем крыле излучины, вследствие чего происходит удлинение места перегиба русла между смежными излучинами (Маккавеев, 1955; Розовский, 1957) вплоть до образования прямолинейной “вставки” между смежными излучинами. На малых реках фактором развития прямолинейности служит незначительность стока наносов, но в условиях их обмеления критерий  $\Theta$  из-за снижения глубины и роста гидравлических сопротивлений  $\lambda$ , в том числе вследствие развития водной растительности, возрастает, и русла начинают разветвляться.

Условия для формирования прямолинейных русел возникают у рукавов разветвлений, в первую очередь, тех из них, которые проходят вдоль коренных берегов. Они характерны для рукавов пойменно-русловых разветвлений, формирующихся обычно на перевале реки от одного борта долины к другому (рис. 1е): один из двух рукавов в верхней своей части проходит возле коренного берега и имеет здесь прямолинейное русло, второй – в нижней части, где русло подходит к противоположному коренному берегу (Чалов, 2023). В русловых [островных – этот термин применял К.В. Гришанин (1972)] разветвлениях один из рукавов может иметь прямолинейное русло по тем же причинам, но, в отличие от пойменно-русловых, оно охватывает рукав по всей его длине (рис. 1ж).

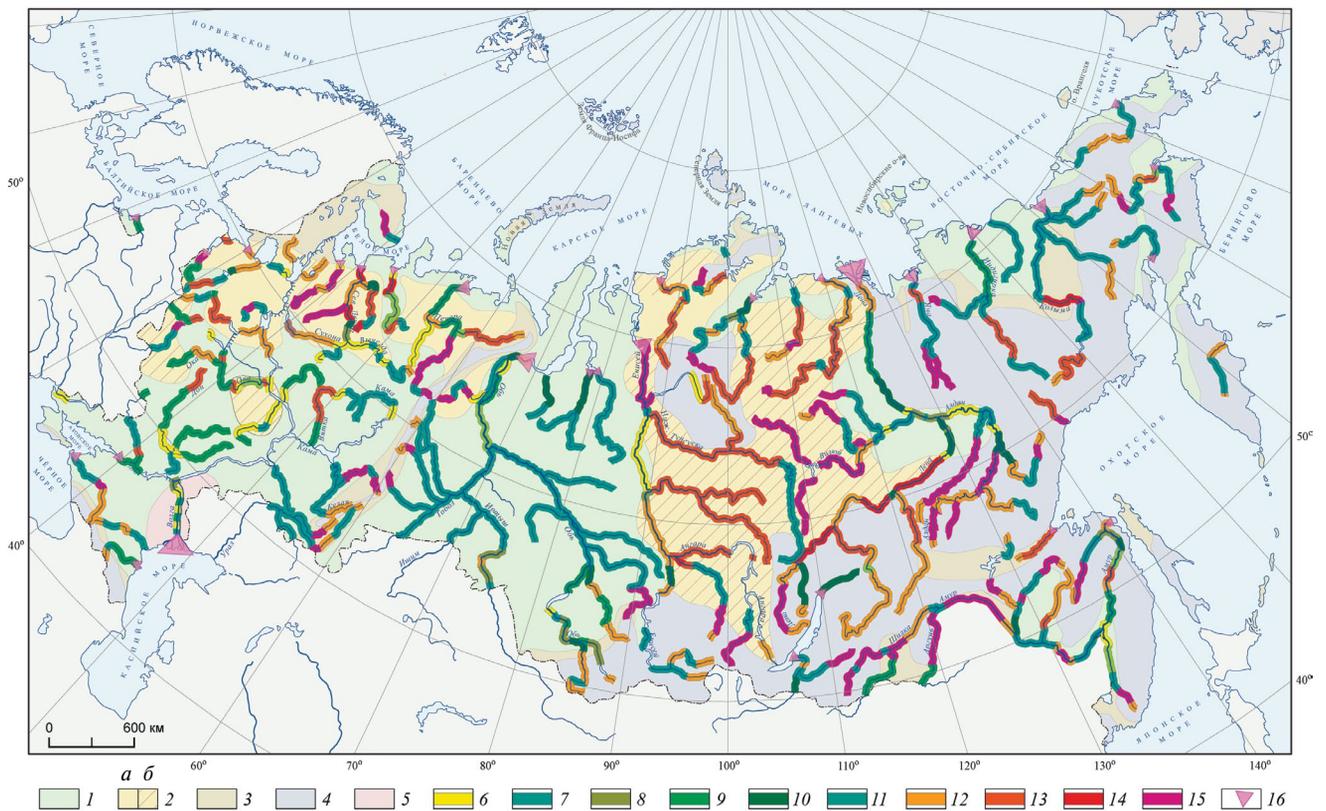


**Рис. 1.** Основные разновидности прямолинейных неразветвленных русел: (а) врезанное русло (р. Ангара, выше слияния с Енисеем); (б) широкопойменное русло вдоль коренного берега (плесовое) (р. Северная Двина, ниже устья р. Вычегды); (в) широкопойменное перекатное русло (р. Хуанхэ), 1, 2 – с изменением положения побочной при смещении перекатов; (г) “вставка” между смежными излучинами (средний Иртыш, ниже устья р. Тары); (д) между островами одиночных разветвлений (нижняя Обь, выше с. Перегрёбное); (е) в рукавах пойменно-русловых разветвлений (нижняя Печора); (ж) рукава руслового (островного) разветвления (р. Иртыш, ниже Омска); (з) на сундучной излучине вдоль коренного берега (средний Иртыш, выше устья Тобола). 1 – прирусловая отмель, 2 – пойма, 3 – коренной берег.

При подходе реки с широкопойменным меандрирующим руслом к коренному берегу возникают вынужденная излучина с нижним крылом вдоль него и адаптированная с верхним крылом возле коренного берега, между которыми в процессе смещения нижнего крыла последней формируется прямолинейный участок. В совокупности они образуют сундучную (или трапециевидную) излучину (Маккавеев, 1971), прямолинейная вставка между изгибами рус-

ла которой является ее неотъемлемой частью (рис. 1з). Прямолинейное русло возникает также при образовании прорванной излучины, соответствуя вновь возникшему спрямляющему рукаву.

*Распространение прямолинейных русел на реках России.* Для обобщения имеющихся и полученных в ходе исследований материалов и выявления закономерностей условий формирования и распространения прямолинейных



**Рис. 2.** Карта распространения прямолинейных неразветвленных русел на реках России. Районы распространения на малых и средних реках: 1 – равнинные реки с широкопойменным и адаптированным руслом, в основном меандрирующие, но с участками разной протяженности прямолинейных русел; 2 – равнинные реки с врезанным руслом (врезанные излучины, чередующиеся с участками прямолинейного русла): а – в пластичных грунтах, б – в скальных грунтах; 3 – горные реки с развитыми аллювиальными формами и полугорные с разбросанными и сложноразветвленными руслами в внутри- и межгорных котловинах в предгорных зонах; 4 – горные реки с врезанным руслом (порожисто-водопадные, с неразвитыми аллювиальными формами, селевые); 5 – территории с отсутствием речной сети. Большие и крупнейшие реки. Широкопойменные русла: 6 – прямолинейные неразветвленные русла; 7 – прямолинейные русла между одиночными разветвлениями, образующими морфологически однородные участки; 8 – прямолинейные русла основных рукавов в односторонних и двусторонних разветвлениях; 9 – прямолинейные участки (“вставки”) между излучинами и разветвлениями; 10 – прямолинейные рукава в русловых островных разветвлениях; 11 – единичные, эпизодически встречающиеся фрагменты прямолинейного русла на меандрирующих и разветвленных реках. Врезанные русла: 12 – прямолинейные неразветвленные; 13 – прямолинейные участки между врезанными излучинами и разветвлениями; 14 – прямолинейные рукава в разветвленных руслах; 15 – единичные фрагменты прямолинейного русла среди врезанных излучин и разветвлений; 16 – прямолинейные рукава в дельтовых разветвлениях.

русел была составлена мелкомасштабная карта (рис. 2). На малых и средних реках из-за масштаба и возможностей картографирования типы русел не показываются, как это было и на картах русел рек, разветвленных на рукава, и меандрирующих рек (Чалов, Чалова, 2019, 2023), и для их отражения применен метод районирования с выделением территорий, по которым протекают реки с однородными или близкими условиями формирования прямолинейных неразветвленных русел или проявлениями прямолинейности на меандрирующих и разветвленных реках. Большие и крупнейшие реки, а в регионах с отсутствием таковых – наиболее

крупные в них средние реки, показаны в масштабе полосами вдоль их топографического изображения, цвет которых соответствует тем или иным разновидностям прямолинейных врезанных или широкопойменных русел, образующих морфологически однородные участки, или особенностям распространения прямолинейности среди других морфодинамических типов либо рукавов разветвленных рек. Раздвоенные русла двух крупнейших рек – Оби и Волги – показаны двумя полосами вдоль основных рукавов – Малой (левого) и Горной – Большой (правого) Оби и собственно Волги (правый рукав) и Ахтубы (левый).

Районирование России по условиям развития прямолинейных русел или рукавов разветвлений выполнено цветовым фоном. Всего выделено четыре типа районов — по два для равнинных и горных территорий. На равнинах одна группа районов включает в себя реки в основном с широкопойменными и отчасти с адаптированными (в сужениях долин) руслами, на которых достаточно часто встречаются участки прямолинейных русел различной протяженности. На малых реках это — их верховья (1–3 порядков), где прямолинейность обусловлена малым стоком наносов (Чалов, 2008) и многочисленные участки, где русла проходят вдоль коренных берегов рек. Таковы большая часть Восточно-Европейской равнины (за исключением Среднерусской, Приволжской и других возвышенностей), вся Западная Сибирь, а также Центрально-Якутская, приморские и другие низменности на северо-востоке и Дальнем Востоке. Именно эти регионы (вместе с большими реками) дают в основном 7.4% распространения на реках России широкопойменных прямолинейных русел.

Вторая группа равнинных районов охватывает малые и средние реки с врезанным руслом, на которых лишь иногда встречаются прямолинейные участки. Здесь они характерны для верховьев малых рек или эпизодически образуют короткие “вставки” между врезанными излучинами. В меньшей мере прямолинейные русла встречаются на реках северо-запада и севера Европейской территории России (ЕТР) (кроме Карелии и Кольского полуострова) и чаще на реках Средне-Сибирского плоскогорья, Карелии и Кольского полуострова, восточных областей, где реки врезаны в основном в скальные грунты (на ЕТР — в пластичные и полускальные).

В горных областях выделяются две группы районов: первый охватывает горные реки с развитыми аллювиальными формами и полугорные, русла которых формируются во внутри- и межгорных котловинах (впадинах) или при выходе рек из гор в предгорные зоны, где резко расширяются днища долин (русла становятся широкопойменными или адаптированными) и снижаются уклоны; во вторую входят все горные реки с врезанным руслом, порожисто-водопадным или с неразвитыми аллювиальными формами. Среди последних преобладают прямолинейные русла, либо, на реках с селевой деятельностью или подверженных воздействию селевых выносов из притоков, — с осередковой разветвленностью на селевых отложениях. Таковы горные районы Северного Кавказа, Урала, Алтая, Саян, Восточной Сибири и Дальнего Востока.

На реках внутригорных котловин и предгорий прямолинейные русла встречаются очень редко, либо характерны для рукавов, разбросанных и других разветвлений, составляющих

морфологический облик этих рек. На карте из-за мелкого масштаба отражены только районы с полугорными реками предгорных зон; внутригорные котловины с эпизодически встречающимися небольшими участками или прямолинейными рукавами имеются во всех горных областях, но в них этот тип русла не является определяющим русловой режим рек.

На больших реках, которые на карте показаны немасштабными полосами, морфологически однородные участки, образованные прямолинейным неразветвленным руслом в свободных условиях развития русловых деформаций (реки с широкопойменным руслом), наиболее часто встречаются на Восточно-Европейской равнине, где они формируются в большинстве своем при расположении реки вдоль коренных берегов, имея, в зависимости от местных особенностей, плесовый или перекаточный характер. Таковы средний Дон и приустьевые участки Хопра и Медведицы, Волга ниже Городецкого гидроузла и на отдельных участках нижнего течения (от г. Волгограда до дельты), нижнее течение Ветлуги, Вычегды в низовьях, выше устья р. Выми и ниже Сыктывкара, Сухона в районе Великого Устюга, Юг в верхнем течении, Вятка в районе Кирова и Кама выше Камского водохранилища. Северная Двина от слияния Юга и Сухоны до с. Ягрыша, где у нее начинается врезанное русло, река, проходя вдоль выровненных в плане то правого (между слиянием рек и устьем Вычегды), то левого (от устья Вычегды до п. Красноборска) берегов имеет плесовое прямолинейное русло. Отходя от коренных берегов, русло разветвляется на рукава (на Малой Северной Двине образует большие излучины), и прямолинейные “вставки” между разветвлениями и излучинами приобретают перекаточный характер. Аналогичные условия формирования прямолинейных русел характерны для большей части Свияги (приток Волги), Цильмы (приток Печоры). Во всех случаях распространение прямолинейных русел (наверное, правильнее говорить об их встречаемости) носит фрагментарный характер на реках ЕТР. Значительно более закономерно образование прямолинейных русел в виде относительно коротких участков (“вставок”) между излучинами (или их сериями) и разветвлениями. Они характерны для многих, в основном меандрирующих, рек ЕТР, особенно ее южной части, встречаясь на всех реках региона и совпадая в этом отношении с распространением здесь этого типа русла на малых и средних реках. Таковы Дон и его основные притоки — Северский Донец, Хопер и Медведица, Ока в верхнем и среднем течении, верхний Днепр, Ветлуга, нижняя Вятка, на которых создается чередование излучин и прямолинейных участков или, реже, разветвлений и прямолинейного рус-

ла. Такие же особенности распространения прямолинейного русла характерны для нижней Печоры. Значительно реже на ЕТР прямолинейные русла лишь эпизодически прерывают их меандрирование, которое по всей длине рек определяет морфодинамический облик их русел. Такая эпизодичность в развитии прямолинейных русел характерна для рек восточных районов ЕТР (верхняя Кама, Белая, Уфа, Урал и другие, а также верховья Вычегды и Печоры).

Подобные условия характерны для большинства рек Западной Сибири за исключением ее юга, где на Иртыше, Оби выше устья Томи, Тазе, Томи и Би наблюдается чередование разветвлений русла и прямолинейных его участков. Морфологически однородные участки с этим типом русла среди больших рек отмечены только в нижнем течении Северной Сосьвы и на Оби непосредственно выше Новосибирского водохранилища: в обоих местах река проходит вдоль соответственно левого и правого коренных берегов. В нижнем течении Надыма и на Пуре прямолинейное русло создает регулярное чередование с извилистым (меандрирующим) руслом, а на нижней Оби от слияния с Иртышом до начала раздвоенного русла (п. Перегрёбное) является неотъемлемой частью протяженного участка одиночных разветвлений (их здесь 15, разделенных 10–20-километровыми прямолинейными участками вдоль правого коренного берега; общая протяженность участка 325 км). Такие же протяженные участки чередования одиночных разветвлений и прямолинейного русла характерны для большей части Мезени, имеются на нижнем Амуре и на Усури, в нижнем течении р. Усы (приток Печоры). Во всех случаях русла располагаются вдоль коренных берегов, имея одностороннюю пойму, и прямолинейный неразветвленный участок прерывается разветвлениями ниже его выступов и мысов в местных расширениях русла. Прямолинейное русло, образующее протяженный морфологически однородный участок имеется только на Енисее между устьями Подкаменной и Нижней Тунгуски; здесь река течет вдоль уступов Средне-Сибирского плоскогорья и имеет галечное плесовое русло.

На других больших реках с широкопойменным руслом (в пределах Центрально-Якутской, приморских на северо-востоке и приамурских низменностей) также наиболее характерным является эпизодическая встречаемость прямолинейных русел среди меандрирующих и разветвленных (Виллюй, Марха, Тюнг, Колыма, Буря и другие) и, реже, с периодическим их чередованием с разветвленным руслом (нижняя Лена, Индигирка, Амур). Но в этих районах на реках с разветвленным руслом прямолинейность характерна для основных рукавов.

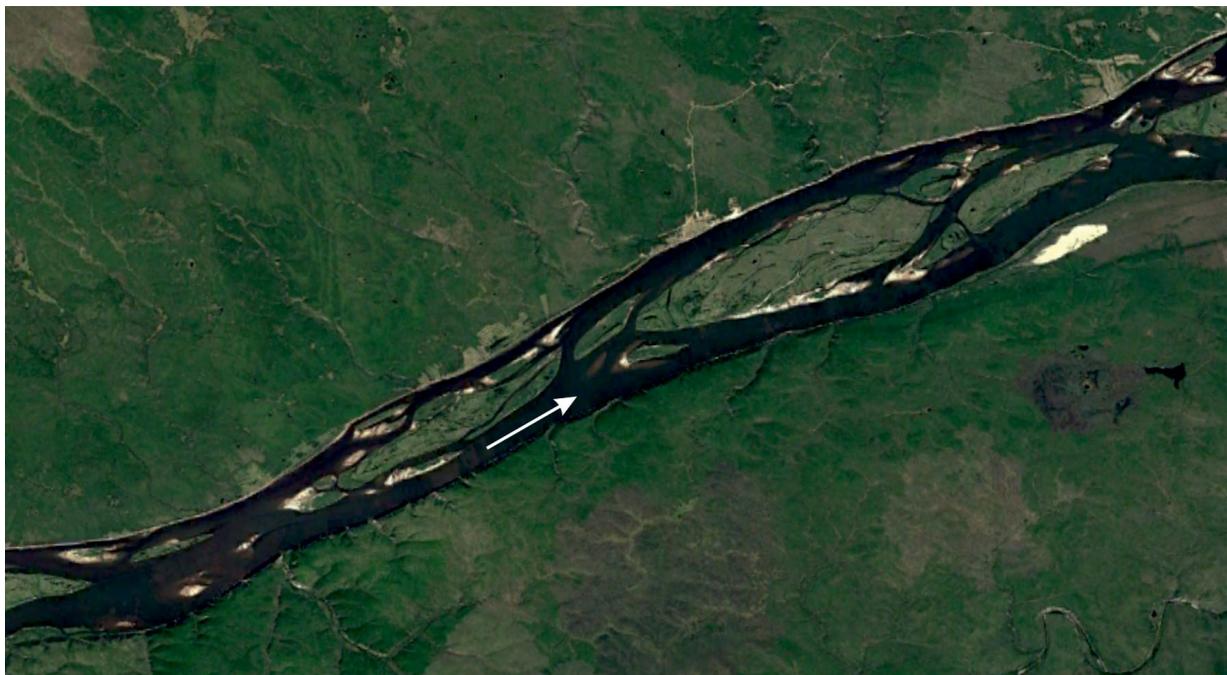
Во врезанном русле прямолинейное неразветвленное русло встречается чаще, особенно там, где прямолинейность формируется в скальных (осадочных или кристаллических) грунтах. Оно характерно для многих рек северо-запада ЕТР и особенно для больших равнинных рек Средней и Восточной Сибири, Дальнего Востока, где они образуют протяженные участки на Лене (между устьями Витима и Олекмы), Енисее (по границы Западно-Сибирской равнины), в низовьях Олекмы, на Зее и Бурее, в нижнем течении Шилки, на Анадыре и ряде других рек. Прямолинейность характерна также для верховьев больших рек, берущих начало в горах и имеющих врезанные горные, вплоть до порожи-сто-водопадных, русла.

На реках этих же регионов характерно чередование прямолинейного русла с врезанными излучинами (Подкаменная и Нижняя Тунгуски, Анабар, Оленек, Ангара, Олекма, Индигирка, Яна и др.). На многих реках с врезанными разветвленными руслами прямолинейность характерна для их рукавов, чему способствует относительная суженность долины. В восточных районах страны в этом отношении наиболее показательным является русло средней Лены, особенно ниже слияния с Олекмой, где на протяжении более 100 км на реке сформировались параллельно-рукавные разветвления, в которых между двумя рукавами с прямолинейными руслами вытянута цепочка длинных островов (рис. 3). Такие же прямолинейные рукава характерны для Лены выше по течению, вплоть до устья р. Киренги, но здесь разветвления представлены одиночными или сопряженными типами. На многих больших реках с врезанным руслом прямолинейность проявляется лишь эпизодически, прерывая изредка врезанные излучины и разветвления: верхняя Лена (выше г. Усть-Кута), Зeya выше устья Селемджи, верхний Амур и Аргунь, верхний Алдан и Тимптон, верхний и средний Виллюй, верхнее течение Анадыря и др.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прямолинейные неразветвленные русла – один из трех основных морфодинамических типов речных русел – сравнительно редко встречаются в виде протяженных морфологически однородных участков. Это следствие неустойчивости прямолинейного движения потока, и для образования таких участков необходимо воздействие внешних по отношению к потоку факторов. Таковыми являются:

– на реках с широкопойменным руслом (свободные условия развития русловых деформаций) – расположение реки вдоль коренного ведущего берега, выровненного в плане, при



**Рис. 3.** Параллельно-рукавное врезанное русло средней Лены с прямолинейными рукавами (космический снимок).

наличии которого в условиях затепленной поймы возникают направленные циркуляционные течения, обуславливающие размыв русла возле него и аккумуляцию наносов в припойменной части русла;

– на горных реках – большие уклоны, вследствие чего в движении потока доминирует тангенциальная составляющая силы тяжести;

– на реках с врезанным руслом (ограниченные условия развития русловых деформаций) – формирование русел в трудно- или неразмываемых грунтах; относительно малый сток руслообразующих наносов, в результате чего в русле отсутствуют побочни и осередки;

– слабая устойчивость/неустойчивость русел, обуславливающая повышенную интенсивность русловых деформаций, не позволяющую закрепиться растительностью формам руслового рельефа и трансформировать прямолинейное русло в извилистое или разветвленное.

Более распространены короткие прямолинейные отрезки русла (“вставки”) между излучинами и разветвлениями, образующими морфологически однородные участки. На излучинах это – следствие остаточной поперечной циркуляции в потоке в нижнем крыле верхней из двух смежных излучин; спрямление развитых или крутых излучин; развитие сундучных (трапециевидных) излучин, возникающих в процессе эволюции вынужденной и адаптированной возле ведущего берега. В разветвленных руслах “вставки” разной протяженности возникают между островами одиночных разветвлений и звеньями со-

пряженных. Прямолинейные русла характерны для рукавов разветвлений разных типов и структурных уровней (островных, пойменно-русловых и раздвоенных русел). Во врезанных руслах прямолинейность рукавов разветвлений является их наиболее отличительной чертой, особенно на реках, формирующих русло в скальных грунтах. Например, на средней Лене прямолинейными являются рукава параллельно-рукавных разветвлений, образующих морфологически однородный участок длиной более 100 км.

Выявленные условия формирования прямолинейных русел определяют особенности их географического распространения. На территории России при свободном развитии русловых деформаций (на реках с широкопойменным руслом) морфологически однородные участки, образованные этим типом русла, характерны для южной половины европейской части, Западной Сибири и низменностей Восточной Сибири, северо-востока и Дальнего Востока. В этих же регионах на реках с меандрирующим и разветвленным руслом встречаются прямолинейные “вставки” между излучинами и островами; прямолинейностью отличаются рукава разветвлений, особенно при расположении их возле коренных берегов. Более распространена прямолинейность русел, образующих морфологически однородные участки, и свойственная рукавам разветвлений на реках с врезанным руслом, особенно в скальных грунтах. Таковы реки Средне-Сибирского плоскогорья, Карелии, горных районов. В горных областях прямолиней-

ные русла наиболее характерны для рек с горными типами русла – порожисто-водопадными и с неразвитыми аллювиальными формами.

Выделение прямолинейных участков речных русел и особенно их трансформируемость (преобразование в извилистое или разветвленное русло) или относительная стабильность (нетрансформируемость) – важные условия при освоении рек и приречных территорий, использовании водных и других речных ресурсов, в частности, при выборе мест мостовых и подводных переходов, водозаборов и водовыпусков и т.д.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Выполнено по планам НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова (исходные фондовые материалы и их обобщение) при финансовой поддержке РФФИ – проект № 23-17-00065 (натурные исследования 2023 г., гидролого-морфологический анализ).

## FUNDING

The paper is prepared according to the plans of the research work of the Department of Land Hydrology and the N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes, Moscow State University (initial stock materials and their generalization) with financial support of the Russian Science Foundation (project no. 23-17-00065; field research 2023, hydrological and morphological analysis).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гришанин К.В.* Теория руслового процесса. М.: Транспорт, 1972. 216 с.
- Гришанин К.В., Замышляев В.И.* Возникновение меандрирования рек как проблема гидродинамической неустойчивости // Тр. ГГИ. 1985. Вып. 301. С. 5–12.
- Иванов В.В.* Условия формирования, гидролого-морфометрические зависимости и деформации относительно прямолинейных, неразветвленных русел. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1989. 23 с.
- Карасев И.Ф.* Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
- Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Смищенко Б.Ф.* Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
- Маккавеев Н.И.* Сток и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1971. 116 с.
- Розовский И.Л.* Движение воды на повороте открытого русла. Киев: Изд-во АН УССР, 1957. 188 с.
- Россинский К.И., Кузьмин И.А.* Некоторые вопросы прикладной теории формирования речных русел // Проблемы регулирования речного стока. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1947. С. 88–129.
- Россинский К.И., Кузьмин И.А.* Закономерности формирования речных русел // Русловые процессы. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 5–14.
- Русловые процессы на реках СССР, М-б 1 : 4000000. М.: ГУГК СССР, 1990. 4 л.
- Русловой режим рек Северной Евразии. М.: Изд-во МГУ, 1994. 336 с.
- Цянь Нин, Чжань Жэнь, Чжоу Цзыдэ.* Русловые процессы. Пекин: Наука, 1987. 584 с. (на китайском языке).
- Чалов Р.С.* Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
- Чалов Р.С.* Русловые процессы на реках СССР и методика их мелкомасштабного картографирования // Тр. V Всесоюз. Гидрол. Съезда. Т. 10. Русловые процессы и наносы. Л., 1988. С. 259–266.
- Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
- Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: Изд-во КРАСАНД, 2011. 960 с.
- Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В., Лодина Р.В., Панин А.В.* Морфодинамика русел равнинных рек. М.: Геос, 1998. 288 с.
- Чалов Р.С., Беркович К.М., Кирик О.М., Сваткова Т.Г.* Применение картографического метода при изучении русловых процессов // География и природные ресурсы. 1986. № 3. С. 10–16.
- Чалов Р.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И.* Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М.: Изд-во МГУ, 2000. 216 с.
- Чалов Р.С., Чалов С.Р.* Дискретные свойства русловых процессов и их отражение в морфодинамике речных русел // Водные ресурсы. 2023. Т. 87. № 2. С. 234–249.
- Чалов Р.С., Чалова Е.Р.* География русел рек, разветвленных на рукава, на территории России // Изв. РГО, 2019. Т. 151. Вып. 6. С. 28–34.
- Чалов Р.С., Чалова Е.Р.* География меандрирования русел рек России // География и природные ресурсы. 2023. № 4. (В печати).
- Чэнкуань Л.* Классификация речных русел // Вест. Нанкин. ун-та. 1963. № 1. (на китайском языке).
- Шэн Юйчан, Гун Гоюань.* Речная геоморфология. Пекин: Наука, 1986. (на китайском языке).
- Rosgen D.L.* A classification of natural rivers // Catena. 1994. № 22. P. 168–199.
- Schumm S.A.* The fluvial system. 1977. 338 p.
- Shen H.W., Schumm S.A., Doehring D.O.* Stability of stream channel patterns // Transp. Res. Rec. 1979. № 736. P. 22–38.

## Geography of Unbranched Channels and Conditions for Their Formation

R. S. Chalov<sup>a, \*</sup>, E. R. Chalova<sup>a, \*\*</sup>, and G. B. Golubtsov<sup>a, \*\*\*</sup>

<sup>a</sup>*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

\**e-mail: rschalov@mail.ru*

\*\**e-mail: ekar28@yandex.ru*

\*\*\**e-mail: georgy1995golubcov@yandex.ru*

A geographical analysis is given of the conditions for the development and distribution of rectilinear unbranched channels, forming morphologically homogeneous areas, “inserts” between bends and islands in meandering and braided rivers, as well as channel branches (island branches), floodplain channel branches, and bifurcated channels. It is shown that morphologically homogeneous areas with this type of channel are relatively rare on rivers, which is associated with the instability of rectilinear flow movement. The conditions under which the formation of straight channels is possible are identified: the location of wide floodplain channels along the bedrock banks, on rivers with an incised channel, etc. The developed small-scale map shows the zoning of the territory of Russia according to the distribution of straight, unbranched channels and their occurrence on small and medium-sized rivers with other types of channels. On large and large rivers, sections of straight channels are identified, as well as manifestations of straightness in the form of “inserts” between adjacent bends and branches of different types, in branches of branches of different morphodynamic types and structural levels. The reasons and conditions of transformation of straight channels into sinuous and branched (transforming) channels or their non-transformability in different regions of the country are considered.

*Keywords:* channel processes, straight unbranched channels, typification, morphodynamics of channels, branches, meanders, flow movement, transformation of channels, stability of channels

### REFERENCES

- Chalov R.S. *Geograficheskie issledovaniya ruslovykh protsessov* [Geographic Studies of Channel Processes]. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 1979. 232 p.
- Chalov R.S. Channel processes of the USSR rivers and their small-scale mapping. In *Trudy 5 Vsesoyuz. Gidrol. S'yezda. T. 10. Ruslovye protsessy i nanosy* [Proc. of the 5th All-Union. Hydrol. Congress. Vol. 10. Channel Processes and Sedimentation]. Leningrad, 1988, pp. 259–266. (In Russ.).
- Chalov R.S. *Ruslovedenie: Teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* [Theory, Geography, Practice. Vol. 1. Channel Processes: Factors, Mechanisms, Forms and Conditions of Channel Formation]. Moscow: LKI Publ., 2008. 608 p.
- Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 2. Morfodinamika rechnykh rusel* [Riverbed Science: Theory, Geography, Practice. Vol. 2: Morphodynamics of River Channels]. Moscow: KRASAND Publ., 2011. 960 p.
- Chalov R.S., Alabyan A.M., Ivanov V.V., Lodina R.V., Panin A.V. *Morfodinamika rusel ravninnykh rek* [Riverbed Morphodynamics of Plain Rivers]. Moscow: GEOS Publ., 1998. 288 p.
- Chalov R.S., Berkovich K.M., Kirik O.M., Svatkova T.G. Application of the cartographic method in the study of channel processes. *Geogr. Prir. Resur.*, 1986, no. 3, pp. 10–16. (In Russ.).
- Chalov R.S., Chalov S.R. Discrete properties of channel processes and their reflection in the morphodynamics of river channels. *Vodn. Resur.*, 2023, vol. 87, no. 2, pp. 234–249. (In Russ.).
- Chalov R.S., Chalova E.R. Geography of branched rivers on the territory of Russia. *Izv. RGO*, 2019, vol. 151, no. 6, pp. 28–34. (In Russ.).
- Chalov R.S., Chalova E.R. Geographical patterns of river channel meandering in Russia. *Geogr. Nat. Resour.*, 2023, vol. 44, pp. 198–207. <https://doi.org/10.1134/S1875372823030034>
- Chalov R.S., Shuguan L., Alekseevskii N.I. *Stok nanosov i ruslovye protsessy na bol'shikh rekakh Rossii i Kitaya* [Sediment Runoff and Channel Processes in Large Rivers in Russia and China]. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 2000. 216 p.
- Chenkuan L. *Riverbed classification*. Nankin Univ. Publ., 1963, no. 1, pp. i–i. (In Chinese).
- Grishanin K.V. *Teoriya ruslovogo protsessa* [Channel Process Theory]. Moscow: Transport Publ., 1972. 216 p.
- Grishanin K.V., Zamyshlyayev V.I. The emergence of river meandering as a problem of hydrodynamic instability. *Tr. GGI*, 1985, vol. 301, pp. 5–12. (In Russ.).
- Ivanov V.V. Formation conditions, hydrological-morphometric dependencies and deformations of relatively straight, unbranched channels. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 1989. 23 p.

- Karasev I.F. *Ruslovye protsessy pri perebroske stoka* [Channel Processes During Runoff Diversion]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1975. 288 p.
- Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. *Osnovy gidromorfologicheskoi teorii ruslovogo protsessa* [The Basics of Hydromorphological Theory of Channel Processes]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1982. 272 p.
- Makkaveev N.I. *Stok i ruslovye protsessy* [Runoff and Channel Processes]. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 1971. 116 p.
- Rosgen D.L. A classification of natural rivers. *Catena*, 1994, vol. 22, pp. 169–199.
- Rossinskii K.I., Kuz'min I.A. Some issues of the applied theory of river channel formation. In *Problemy regulirovaniya rechnogo stoka* [Problems of River Flow Regulation]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1947, pp. 88–129. (In Russ.).
- Rossinskii K.I., Kuz'min I.A. Patterns of formation of river channels. In *Ruslovye protsessy* [Channel Processes]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1958, pp. 5–14. (In Russ.).
- Rozovskii I.L. *Dvizhenie vody na povorote otkrytogo rusla* [Movement of Water at a Bend in an Open Channel]. Kiev: Izd-vo AN SSSR, 1957. 188 p.
- Ruslovoi rezhim rek severnoi Evrazii* [Channel Regime of North Eurasia Rivers]. Moscow: Izd-vo Mosk. Gos. Univ., 1994. 336 p.
- Ruslovye protsessy na rekakh SSSR, 1 : 4000000* [Channel Processes on the USSR Rivers, 1 : 4000000]. Moscow: GUGK SSSR, 1990. 4 p.
- Shen H.W., Schumm S.A., Doehring D.O. Stability of stream channel patterns. *Transp. Res. Rec.*, 1979, no. 736, pp. 22–38.
- Shen Yuichan, Gun Goyuan. *River Geomorphology*. Pekin: Nauka Publ. 1986.
- The fluvial system*. Schumm S.A., Ed. New York: Wiley, 1977. 338 p.
- Tsyan Nin, Chzhan Zhen, Chzhou Tszyde. *Channel Processes*. Pekin: Nauka Publ., 1987. 584 p.

УДК 631.433.3

## ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ КУЛЬТУР И УДОБРЕНИЙ НА ДЫХАНИЕ ПОЧВЫ (ДЛИТЕЛЬНЫЙ ОПЫТ ТИМИРЯЗЕВСКОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ)

© 2024 г. О. Э. Суховеева<sup>1,\*</sup>, А. В. Рыжов<sup>1</sup>, А. В. Почикалов<sup>1</sup>,  
Д. В. Карелин<sup>1</sup>, И. А. Заверткин<sup>2</sup>, В. А. Николаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

\*e-mail: olgasukhoveeva@gmail.com

Поступила в редакцию 29.04.2024 г.

После доработки 19.06.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Исследование посвящено оценке влияния возделываемых культур и вносимых удобрений на дыхание почвы – самый мощный поток  $\text{CO}_2$  из наземных экосистем в атмосферу. В качестве объекта выступал Длительный полевой опыт Тимирязевской сельскохозяйственной академии, где для проведения измерений были выбраны ключевые культуры Нечерноземья – озимая рожь, ячмень, картофель, а также чистый пар, которые включены в севооборот с известкованием и внесением различных вариантов удобрений. Измерения проводились методом закрытых динамических камер с помощью портативных инфракрасных газоанализаторов с мая 2023 по апрель 2024 г. Они были разделены на две серии: вегетационный период и период с оголенной почвой, границей между которыми служила вспашка. При сопоставлении дыхания почвы за вегетационный период по отдельным делянкам было получено, что для большинства из них характерен большой разброс значений, а скорости эмиссии  $\text{CO}_2$  статистически не отличаются. Выявленные для некоторых делянок зависимости дыхания почвы от температуры воздуха и влажности почвы не носят всеобщий характер. Двухфакторный дисперсионный анализ показал значимое влияние культуры и удобрений на дыхание почвы по отдельности, но несущественность их совместного воздействия. Скорость эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы закономерно возрастала по вариантам: без удобрений < NPK < NPK + навоз, а при осреднении по культурам увеличивалась в ряду картофель < чистый пар < ячмень < озимая рожь. Для содержания органического углерода и общего азота в почве выявленные последовательности повторялись для вариантов удобрений и не повторялись для культур, где более важными факторами были признаны предшественник в севообороте и положение участка в микрорельефе. В период с оголенной почвой осреднение проводилось по вариантам удобрений, значимых различий между которыми не было выявлено, а по количественным оценкам дыхание почвы под снежным покровом было ниже в 10–20 раз, чем в вегетационный период.

**Ключевые слова:** эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы, озимая рожь, ячмень, картофель, чистый пар, органический углерод, общий азот, критерий Манна-Уитни, PERMANOVA

DOI: 10.31857/S2587556624040041 EDN: RQFVAX

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Дыхание почвы, или эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы, – один из важнейших потоков в цикле углерода, направленных из экосистем в атмосферу, а также один из ключевых показателей здоровья и плодородия почвы (Ward et al., 2017). Этой теме посвящено множество исследований, но даже после двух десятилетий ее изучения, несмотря на несомненные успехи, остается много неопределенностей (Bond-Lamberty et al., 2024).

Дыхание почвы состоит преимущественно из дыхания корней (автотрофного) и дыхания микроорганизмов (гетеротрофного). Дыхание корней предопределяется корневой биомассой и скоростью переноса продуктов фотосинтеза из листьев. Дыхание микроорганизмов является результатом процессов разложения, которые зависят от количества и качества органических соединений, популяционной динамики различных групп микроорганизмов и физико-химиче-

ских свойств почвы, включая ее влажность, температуру, снабжение кислородом, кислотность и окислительно-восстановительный потенциал (Rochette and Hutchinson, 2005).

В агроценозах дыхание пахотных почв определяется как природными, так и антропогенными факторами. Среди ключевых факторов, помимо температуры почвы и воздуха, влажности почвы, исследователи называют содержание органического углерода в верхнем слое почвы, которое в некоторых случаях объясняет более 90% дисперсии ее дыхания (Li et al., 2019). К важным факторам, определяющим почвенное дыхание, также относятся содержание аммонийного и аммиачного азота (Sosulski et al., 2021), глубина почвенных горизонтов, крутизна склона, доля илистой фракции (Adhikari et al., 2023). Среди антропогенных факторов следует особенно отметить внесение удобрений; оно приводит к увеличению разнообразия состава почвенного бактериального сообщества и, как следствие, к усилению ее дыхания (Wang et al., 2022), но временной эффект продолжается не более двух недель, после чего уровень дыхания снижается до исходных значений (Kulachkova et al., 2023). Внутрисезонная динамика эмиссии  $\text{CO}_2$  из пахотных почв также зависит от стадии роста растений, ширины междурядий и обработки почвы, поскольку вспашка из-за перемешивания слоев почвы способствует усилению разложения растительных остатков и, соответственно, эмиссии диоксида углерода (Zapata et al., 2021).

Учесть все многообразие названных факторов в реальных производственных условиях и их влияние на почвенное дыхание – чрезвычайно трудоемкая задача, поэтому подобные идеи могут быть реализованы только в рамках длительных полевых опытов (Ward et al., 2017), которые могут воссоздать полнофакторный эксперимент. На сегодняшний день в мире насчитывается 14 длительных полевых опытов, возраст которых превышает 100 лет. Старейшему из них – Ротамстеду (Англия) – уже более 180 лет, а возраст Гриньона (Франция), Иллинойса (США) и Галле (Германия) приближается к 150 годам (Мазиров, Арефьева, 2012). Изначально они создавались для того, чтобы на компактной территории оценить влияние природных (погодные условия, характеристики почвенного покрова, водный режим) и антропогенных (внесения удобрений, мелиорации, севооборота, подбора сортов, агротехники) факторов на урожайность культур и сохранение почвенного плодородия. Сегодня в опытах изучают влияние таких факторов, как разные варианты удобрений (Serhanová et al., 2006), влияние севооборота и бессменных посевов (Завьялова и др., 2020; Sosulski et al., 2021), вспашка и система нулевой обработки (Gelybó et al., 2022).

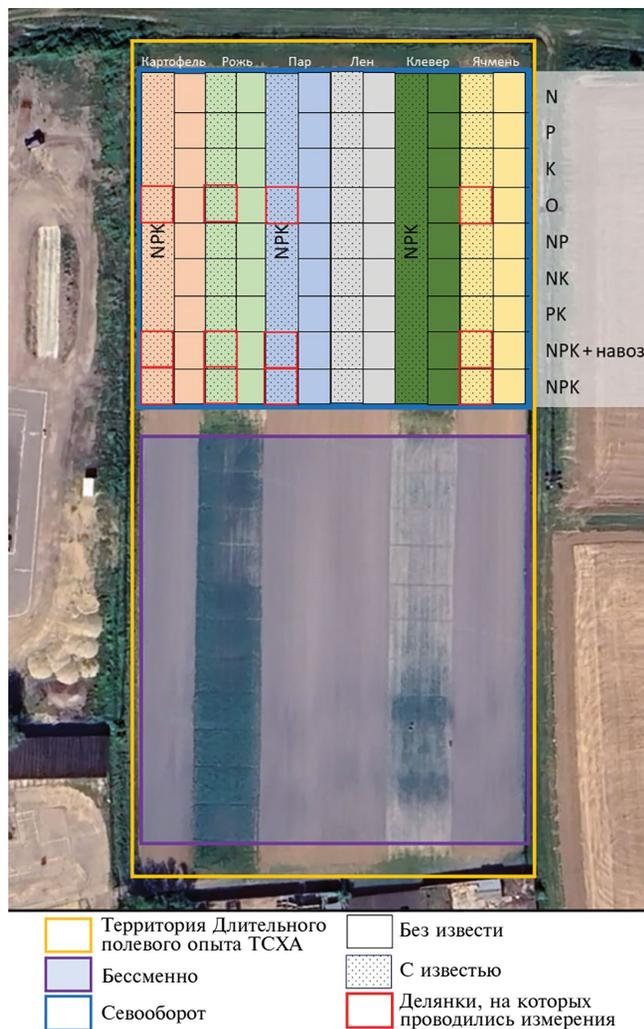
Длительные опыты дают возможность отбирать полевые образцы для оценки характеристик растений и почвы, особенно для изучения тех свойств, изменения которых происходят медленно и влияют на плодородие. Архивные материалы являются бесценным источником информации для будущих исследований, а также для построения моделей, описывающих процессы, происходящие в системе “почва–растение” (Johnston and Poulton, 2018). Несмотря на то, что длительные опыты достаточно дороги и требуют многолетней логистической поддержки, они, тем не менее, являются наиболее экономически эффективным методом исследования, поскольку полученные научные знания позволяют не только повысить урожайность и качество продукции, но и снизить негативное воздействие сельского хозяйства на окружающую среду, поддержать качество почвы и сохранить природные ресурсы (Körschens, 2006).

В рамках нашего исследования была поставлена цель определить влияние двух важнейших факторов – вида возделываемой культуры и типа вносимых удобрений – на дыхание пахотной почвы.

## ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования выступал Длительный полевой опыт Тимирязевской сельскохозяйственной академии (ТСХА). Он заложен в 1912 г. профессором А.Г. Дояренко с целью оценки влияния типа вносимых удобрений, наличия практики известкования и севооборота на урожайность сельскохозяйственных культур (Мазиров, Сафонов, 2010). Площадь участка составляет 1.5 га, площадь учетной делянки 50 м<sup>2</sup>. Опыт разделяется на две части – бессменные посева и севооборот. Схема чередования культур: черный пар–озимая рожь–картофель–ячмень–клевер–лен.

Поперек полей наложены варианты удобрений (9 вариантов в севообороте и 11 вариантов на бессменных посевах): N, P, K, 0 (без удобрений), NP, NK, PK, NPK + навоз, NPK и дополнительно на бессменных посевах навоз и 0. С 1973 г. на всех делянках четных полей севооборота вносят полное минеральное удобрение NPK (и учитывается последствие вносимых ранее вариантов удобрений), а варианты дифференцированного удобрения сохраняются только на нечетных полях. Дозы удобрений за более чем 100-летний период также неоднократно менялись, и на сегодняшний день они составляют 100 кг N/га в виде аммиачной селитры, 150 кг P/га в виде двойного суперфосфата, 120 кг K/га в виде хлористого калия, а также 20 т/га навоза. На продольной половине каждой делянки производится известкование



**Рис. 1.** Схема Длительного полевого опыта Тимирязевской сельскохозяйственной академии (ТСХА) с расположением исследуемых делянок в 2023 г.

почвы один раз за ротацию по величине гидrolитической кислотности (4.5 т/га), вносится доломитизированный известняк (Мазиров, Сафонов, 2010). Последний раз известкование проводилось осенью 2022 г.

Почвы участка старопашотные, находятся под пашней более 200 лет. Несмотря на небольшую площадь Опыта, его почвенный покров довольно пестрый и представлен тремя типами почв (Хитров, 2012): агродерново-подзолистыми Stagnic Cutanic Albeluvisol (Siltic, Eutric, Ruptic), агродерново-подзолами иллювиально-железистыми Stagnic Albic Podzol (Siltic, Eutric, Ruptic), агроземами Naplic Regosol (Siltic, Eutric). Причем первый тип преимущественно встречается на бессменных посевах, а второй и третий — на территории севооборота. Мощность антропогенно преобразованного поверхностного горизонта, который когда-либо подвергался механической обработке, варьирует от 25 до 55 см (Хитров, 2012).

Для проведения измерений была выбрана территория севооборота, как самая близкая к реальным производственным условиям, и подобраны наиболее значимые для Нечерноземья культуры — озимая рожь, ячмень и картофель, а также чистый пар. Следует отметить, что в 2023 г. картофель и чистый пар попали на четные поля, где нет разделения по вариантам удобрений, и на все делянки вносится полное минеральное удобрение  $N_{100}P_{150}K_{120}$ , а озимая рожь и ячмень попали на нечетные поля, где удобрения вносятся по девяти вариантам. Из них были выбраны три контрастных: полное минеральное удобрение (вариант  $N_{100}P_{150}K_{120}$ , далее по тексту NPK), сочетание минеральных и органических (вариант  $N_{100}P_{150}K_{120}$  + навоз 20 т/га, далее по тексту NPK + навоз) и вариант без удобрений. Таким образом, всего анализировалось 12 делянок, все с внесением извести (рис. 1).

Измерения проводились с мая 2023 г. по апрель 2024 г. с периодичностью раз в две недели в вегетационный период и раз в месяц в период оголенной почвы в пятикратной повторности на каждой делянке. Значимым рубежом между сезонами была признана вспашка: в вегетационный период (май–сентябрь) осреднение проводилось как по культурам, так и по вариантам удобрений; а после вспашки (октябрь–апрель) осреднение выполнялось только по вариантам удобрений, поскольку почва была перемешана между участками с разными культурами. Общий объем выборки составил 108 осредненных значений за вегетационный период и 24 осредненных значения за период с оголенной почвой.

Измерения эмиссии  $CO_2$  из почвы проводились по единой стандартизированной методике (Курганова и др., 2024). Применялся метод закрытых динамических камер, использовались портативные инфракрасные  $CO_2$ -анализаторы на основе датчика AZ 77535 (AZ Instruments, Тайвань), модифицированные для полевых работ (патент 174321 U1). На каждой делянке устанавливались пять непрозрачных цилиндрических ПВХ-камер площадью 90 см<sup>2</sup> и высотой 20 см: для озимой ржи и ячменя в междурядьях, для картофеля на вершинах гребней, на чистом пару в случайно выбранных точках. Одновременно оценивалась температура воздуха и температура почвы на глубинах 5 и 10 см (HI 98509, Hanna Instruments, США), а также объемная влажность почвы (SM 150 Kit, Delta-T, Великобритания).

В июле на каждой делянке отбирались смешанные пробы почвы из слоя 0–20 см. В них после высушивания, просеивания и обработки соляной кислотой определялось содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) и общего азота ( $N_{общ}$ ) с помощью элементного CHNS-анализатора Vario EL Cube (Elementar, Германия) на базе Центра коллективного пользования “Лаборатория

радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН". Дополнительно измерялся водный pH почвенных образцов (HI 98121, Hanna instruments, США).

Статистическая обработка результатов проводилась в программе PAST (Hammer et al., 2001). Использовались следующие методы:

- корреляционный анализ (коэффициент корреляции Пирсона, уровень значимости  $p = 0.05$ ) для оценки зависимости скорости дыхания почвы от гидротермических показателей среды (температура воздуха и почвы, объемная влажность почвы, pH);
- множественное сравнение с помощью критерия Манна-Уитни (с последовательной поправкой Бонферрони; уровень значимости  $p = 0.05$ ) для сопоставления скорости дыхания почвы под разными культурами и вариантами удобрений. Этот метод был применен ввиду того, что рассматривались небольшие выборки с разными групповыми дисперсиями;
- перестановочный двухфакторный дисперсионный анализ (two-way PERMANOVA) для разделения и оценки значимости влияния двух факторов на дыхание почвы – возделываемой культуры и вносимых удобрений (применен только для вегетационного сезона; уровень значимости  $p = 0.05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Анализ по делянкам.** Графический анализ дыхания почвы на 12 целевых делянках (рис. 2) показывает, что для каждой из них характерен достаточно большой разброс значений. Тем не менее дисперсии пересекаются, а уровни медиан расположены относительно близко друг к другу ( $0.063\text{--}0.178 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$ ), независимо от вариантов вносимых удобрений; средние значения чаще всего больше медиан ( $0.074\text{--}0.253 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$ ). Исключение составляет озимая рожь в варианте NPK + навоз (в среднем  $0.430 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$ ), где эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы существенно превышает значения в других ценозах.

Попарное непараметрическое сравнение показывает, что дыхание почвы в вегетационный период на большинстве делянок с различными культурами и удобрениями действительно не отличается друг от друга: из 66 сравниваемых пар значимая разница была отмечена только для 21 пары, т.е. менее, чем для трети (табл. 1). Наибольшее количество отличий, как и ожидалось, было получено для дыхания почвы под озимой рожью в варианте NPK + навоз. Немного меньшее количество отличающихся пар (по пять) отмечено для эмиссии  $\text{CO}_2$  в агроценозах ячменя в варианте NPK + навоз, а также для картофеля при сплошном внесении NPK с различным последствием. И наоборот, практически полное

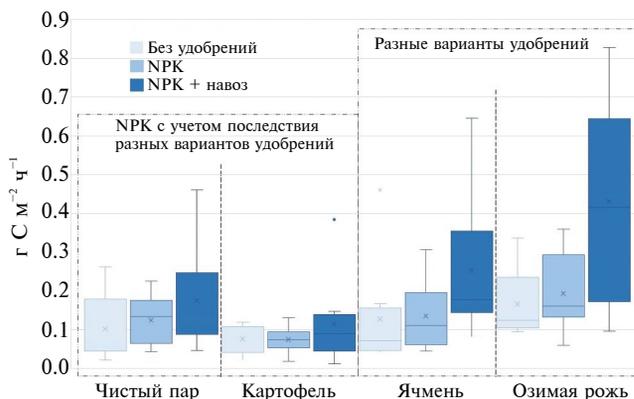


Рис. 2. Дыхание почвы в вегетационный период с разделением по делянкам.

совпадение эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы со всеми другими делянками наблюдалось для ячменя в вариантах NPK и без удобрений, а также для чистого пара при сплошном внесении NPK.

Получены сильные положительные корреляции эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы с гидротермическими характеристиками среды (табл. 2). Однако какую-то общую тенденцию влияния температуры и влажности на дыхание почвы выделить нельзя, поскольку разные культуры и разные варианты удобрений демонстрируют здесь существенные отличия. Для делянок со сплошным внесением NPK хорошо выражена зависимость эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы от температуры воздуха; а среди них, для ранее не удобрявшихся посевов значима связь с температурой почвы на разных глубинах. Для ржи и картофеля существенна зависимость дыхания почвы от ее влажности. В то же время для ячменя не было получено ни одной значимой корреляции. Также не отмечено зависимости дыхания почвы от величины pH. Это связано с тем, что этот показатель слабо меняется в пределах опыта, оставаясь в диапазоне 6.0–6.7 (реакция почвенного раствора слабкокислая и близкая к нейтральной), что является следствием известкования.

**Анализ по факторам.** Результаты двухфакторного дисперсионного анализа (табл. 3) показывают, что для делянок под чистым паром и картофелем, где применяется сплошное внесение NPK, дыхание почвы закономерно зависит только от возделываемой культуры. Тогда как для озимой пшеницы и ячменя, где есть разделение по вариантам вносимых удобрений, и культура, и удобрения имеют значимое влияние на поток  $\text{CO}_2$  из почвы, хотя их парное воздействие несущественно.

Сходный вывод можно сделать, если представить результаты сравнения графически (рис. 3). При осреднении по культурам эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы увеличивается в ряду картофель < пар < ячмень < рожь. Низкое дыхание почвы

Таблица 1. Результаты попарного сравнения дыхания почвы на исследуемых делянках в вегетационный период

Культура	Вариант удобрений	NPK с последствием разных вариантов удобрений						Разные варианты удобрений					
		Чистый пар			Картофель			Ячмень			Озимая рожь		
		NPK (без удобрений)	NPK (NPK)	NPK (NPK + навоз)	NPK (без удобрений)	NPK (NPK)	NPK (NPK + навоз)	Без удобрений	NPK	NPK + навоз	Без удобрений	NPK	NPK + навоз
Чистый пар	NPK (без удобрений)*	–	0.427	0.133	0.930	0.480	0.736	0.360	0.038	0.064	0.112	0.004	
	NPK (NPK)	–	–	0.566	0.085	0.480	0.336	0.962	0.061	0.427	0.233	0.010	
	NPK (NPK + навоз)	–	–	–	0.019	0.216	0.149	0.665	0.269	0.825	0.401	0.027	
Картофель	NPK (без удобрений)	–	–	–	0.724	0.330	0.885	0.163	0.003	0.004	0.002	0.001	
	NPK (NPK)	–	–	–	–	0.289	0.885	0.163	0.002	0.003	0.004	0.001	
	NPK (NPK + навоз)	–	–	–	–	–	0.596	0.665	0.024	0.093	0.052	0.003	
Ячмень	Без удобрений	–	–	–	–	–	–	0.344	0.031	0.092	0.075	0.006	
	NPK	–	–	–	–	–	–	–	0.128	0.361	0.163	0.011	
	NPK + навоз	–	–	–	–	–	–	–	–	0.248	0.413	0.178	
Озимая рожь	Без удобрений	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.331	0.022	
	NPK	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.034	
	NPK + навоз	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	

Примечания: 1) представлены величины уровня значимости  $p$  для критерия Манна-Уитни. Значимые отличия ( $p < 0.05$ ) выделены красным; 2) \* в скобках указаны варианты удобрений, которые были на этих делянках до 1973 г., последнее действие которых учитывается.

**Таблица 2.** Корреляции дыхания почвы с гидротермическими показателями в вегетационный сезон

Фактор	Варианты удобрений и культуры		NPK с последствием разных вариантов удобрений			Разные варианты удобрений						
			Чистый пар		Картофель		Ячмень			Озимая рожь		
	NPK (без удобрений)*	NPK (NPK)	NPK (NPK + навоз)	NPK (без удобрений)	NPK (NPK)	NPK (NPK + навоз)	Без удобрений	NPK	NPK + навоз	Без удобрений	NPK	NPK + навоз
Температура воздуха, °С	0.796 0.010	0.721 0.044	0.698 0.037	0.816 0.014	–	–	–	–	–	–	–	–
Температура почвы на глубине 5 см, °С	0.784 0.021	–	–	0.800 0.017	–	–	–	–	–	–	–	–
Температура почвы на глубине 10 см, °С	0.772 0.025	–	–	0.757 0.030	–	–	–	–	–	–	–	–
Объемная влажность почвы, %	–	–	–	–	–	0.793 0.019	–	–	–	0.816 0.013	0.716 0.045	–

Примечания: 1) представлены коэффициенты корреляции Пирсона  $r$  в числителе и уровни значимости  $p$  в знаменателе; 2) “–” значимые корреляции не были получены; 3) в скобках указаны варианты удобрений, которые были на этих делянках до 1973 г., последствие которых учитывается.

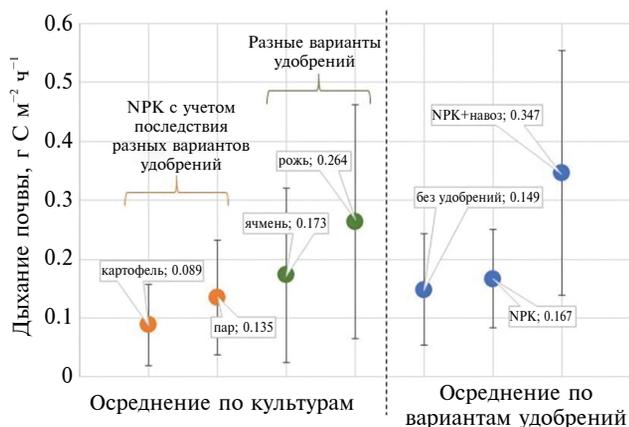
под картофелем обусловлено применяемым при его возделывании гребневанием, в результате которого в летний период существенно повышается температура почвы (в среднем 25.6°С по сравнению с 23.0°С под чистым паром) и резко падает ее влажность (в среднем 5.9% по сравнению с 9.3% под чистым паром). Активное дыхание почвы под озимой рожью возникает благодаря мощной растительной биомассе, развиваемой этой культурой, что позволяет в затененной почве сохранить влагу (в среднем 12.8% по сравнению с 9.0% под ячменем) и не допустить существенного повышения ее температуры (в среднем 22.7°С по сравнению с 23.3°С под ячменем). По вариантам удобрений дыхание почвы закономерно возрастает в ряду: без удобрений < NPK < NPK + навоз. При этом диапазон

изменений дыхания почвы при осреднении по вариантам удобрений (0.149–0.347 г С м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>) несколько шире, чем при осреднении по культурам (0.089–0.264 г С м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>).

Аналогично через осреднение по культурам и вариантам удобрений представлены результаты определения содержания органического углерода и общего азота в почве (рис. 4). При ранжировании содержания  $C_{орг}$  и  $N_{общ}$  по вариантам удобрений отмеченные выше закономерности подтверждаются, но для культур – не соответствует выделенной последовательности. Эти элементы содержатся в большем количестве на чистом пару и картофеле, чем на ячмене. Вероятно, здесь основную роль играет предшественник: ячмень в севообороте идет после картофеля, который оставляет после себя мало растительных остатков; кроме того, делянки ячменя в 2023 г. были расположены на вершине склона, откуда идет сток талых и дождевых вод и, соответственно, вынос элементов вниз по склону.

**Анализ периода с оголенной почвой.** Статистический анализ показывает, что в период, когда на полях отсутствуют культуры, дыхание почвы на разных вариантах удобрений значимо не отличается (табл. 3). Наблюдается сильная положительная корреляция с температурой воздуха для вариантов NPK ( $r = 0.826$ ;  $p = 0.011$ ) и NPK + навоз ( $r = 0.838$ ;  $p = 0.009$ ), но на делянках без удобрений такая связь не была выявлена.

Интересен графический анализ эмиссии  $CO_2$  в период с оголенной почвой (рис. 5). Его



**Рис. 3.** Средние скорости дыхания почвы и их стандартные отклонения за вегетационный период.

**Таблица 3.** Результаты попарного сравнения дыхания почвы по вариантам удобрений в период с оголенной почвой

Вариант удобрений	Без удобрений	НПК	НПК + навоз
Без удобрений	—	0.431	0.270
НПК	—	—	0.875
НПК + навоз	—	—	—

Примечания: представлены величины уровня значимости  $p$  для критерия Манна-Уитни. Значимых отличий нет.

**Таблица 4.** Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для дыхания почвы в вегетационный период

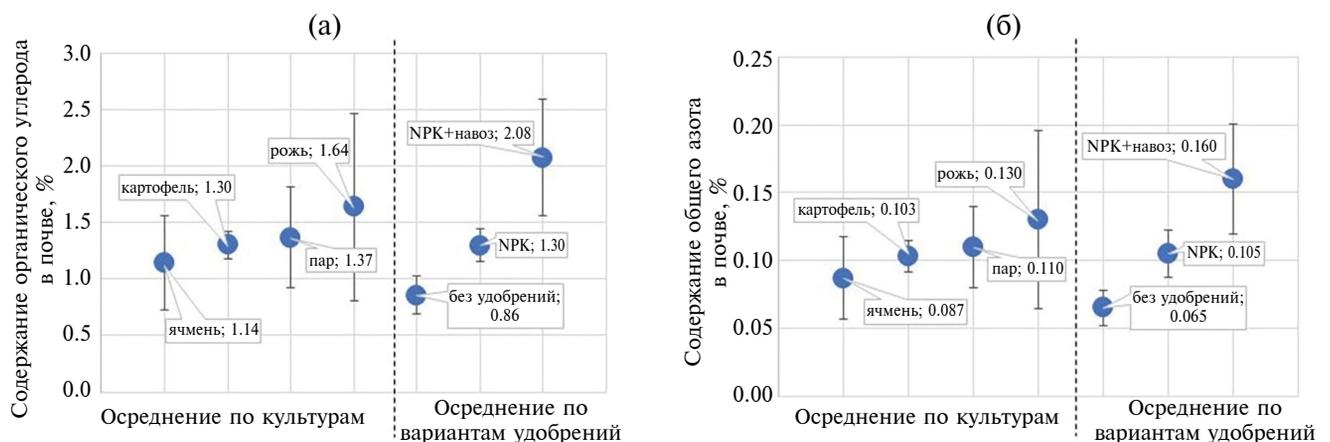
Источник дисперсии	$df$ (число степеней свободы)	$F$ (критерий Фишера) $F_{\text{табл}} = 3.18$	$p$ (уровень значимости)
Чистый пар и картофель – НПК с последствием			
Культура	1	4.062	0.047
Удобрения	2	2.266	0.108
Взаимодействие Культура * Удобрения	2	0.225	0.802
Озимая рожь и ячмень – разные варианты удобрений			
Культура	1	4.071	0.041
Удобрения	2	7.939	0.001
Взаимодействие Культура * Удобрения	2	0.635	0.479

Примечание: значимые факторы ( $F > F_{\text{табл}}$ ,  $p < 0.05$ ) выделены цветом.

можно разделить на подпериоды: зимний, с отрицательными температурами воздуха и снежным покровом, и граничащие с ним осенний и весенний отрезки с положительными температурами. Заметен довольно широкий разброс значений осенью и весной, тогда как под снежным покровом дыхание почвы резко падает и составляет 0.006–0.018 г С м<sup>-2</sup> ч<sup>-1</sup>, что почти в 10–20 раз ниже, чем в вегетационный период.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Несмотря на свою научную значимость, Длительный опыт ТСХА достаточно часто подвергается критике. Во-первых, из-за неоднородности рельефа: крутизна склона, на котором расположен опытный участок составляет 1.7° с уклоном на северо-запад (Хитров, 2012), что создает неодинаковые микроклиматические условия в верхней и нижней его частях. Обработка и посев ведутся вдоль склона; ливневые и талые воды пе-



**Рис. 4.** Содержание органического углерода (а) и общего азота (б) в почве при различных вариантах осреднения. Приведены средние и их стандартные отклонения.

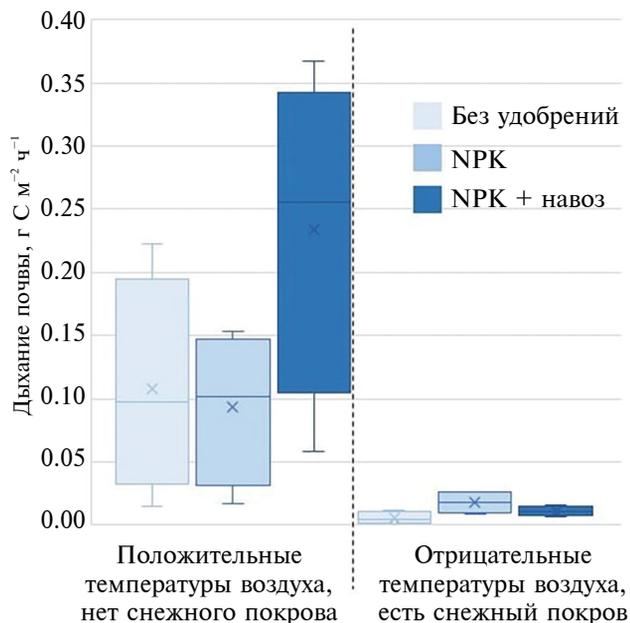


Рис. 5. Дыхание почвы в период с оголенной поверхностью.

реносят почву и удобрения, а также семена сорняков и возбудители болезней вдоль склона (Лошаков, 2013). Во-вторых, из-за разного размера частей Опыта: на бессменной части 11 вариантов удобрений, тогда как в севообороте их только 9. Более того, отсутствие повторностей затрудняет статистическую обработку полученных результатов (Лошаков, 2013). В-третьих, некоторую разнородность вносит уже упомянутая пестрота почвенного покрова и существенная неоднородность профиля по гранулометрическому составу (Хитров, 2012).

Выявленные нами положительные зависимости дыхания почвы от ее температуры и влажности многократно обсуждались. Стимулирующее влияние температуры на интенсивность эмиссии  $\text{CO}_2$  из почвы отмечалось как в производственных условиях (Anokye et al., 2021; Brito et al., 2015; Lei et al., 2022; Wang et al., 2023), так и в полевых опытах (Kong et al., 2019; Kulachkova et al., 2023). Причем эффект повышения температуры ярче проявляется в более влажных условиях, а также на участках с более низкими значениями рН и высоким содержанием органического углерода в почве (Yang et al., 2023).

Связь с характером увлажнения обычно нелинейная — почвенное дыхание снижается как при уменьшении количества осадков (Apostolakis et al., 2022), так и при избыточном увлажнении (Yilmaz, 2019). И только в аридных экосистемах, где влажность выступает лимитирующим фактором, выпадение осадков всегда приводит к значимому усилению дыхания почвы (Francioni et al., 2020; Morris et al., 2022).

Следует акцентировать внимание на полученной нами зависимости дыхания почвы от типа вносимых удобрений. Действительно, многие авторы отмечают, что органические удобрения значительно усиливают эмиссию  $\text{CO}_2$  из почвы. Так, по оценкам Шиловой (2014), минеральные удобрения увеличивают ее на 20%, тогда как внесение органоминерального удобрения усиливает эмиссию в 1.3–1.5 раза. Отсутствие минеральных удобрений существенно подавляет почвенное дыхание (Sosulski et al., 2021). В нашем случае (рис. 4) усиление дыхания составило 12% для варианта NPK и 133% (2.3 раза) для варианта NPK + навоз по сравнению с делянками без удобрений. В то же время важно отметить, что органические удобрения, помимо активизации эмиссии, усиливают нетто-поглощение углерода почвой (Yang et al., 2018), тем самым существенно увеличивая содержание в ней углерода и азота (Wang et al., 2023). Действительно, в нашем примере содержание  $\text{C}_{\text{орг}}$  и  $\text{N}_{\text{общ}}$  в вариантах NPK + навоз превышает контрольный уровень в 2.4 раза (см. рис. 4).

Важно сравнить наши результаты двухфакторного анализа, подтверждающие сходный вклад культуры и удобрений в эмиссию  $\text{CO}_2$  из почвы (табл. 4), с данными других исследователей. Аналогичные выводы были получены в длительном полевом опыте в Польше, где было признано, что дыхание легких по составу почв больше зависит от вида возделываемой культуры и типа вносимых удобрений, чем от системы севооборота (например, эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы под озимой рожью в варианте NPK + навоз с внесением извести на бессменных посевах не отличалась от таковой в севообороте) (Sosulski et al., 2021). Тогда как по результатам опыта в Чехии более сильное влияние на дыхание почвы оказывает культура, а не удобрения (Cerhanová et al., 2006).

До настоящего времени никто не измерял дыхание почвы в Длительном опыте ТСХА круглогодично; данные измерений есть только за вегетационный период. Тем не менее, интересно сопоставить некоторые показатели, полученные на тех же делянках. В более ранних исследованиях было сформулировано иное распределение культур по скорости дыхания почвы: рожь > > картофель > ячмень (Савоськина, Полин, 2015), тогда как полученные нами данные позволяют ранжировать культуры в порядке рожь > > ячмень > (пар) > картофель. Вероятная причина иного расположения участков с картофелем в этом ряду — отличия в методах измерения эмиссии, поскольку в упомянутом исследовании авторы применяли манометрический метод с использованием аппарата Варбурга, при котором почва изымается с поля. В методе закрытых динамических камер, который применялся в на-

шей работе, почва остается в характерных для нее условиях. Как мы отмечали ранее, на гребнях картофеля она существенно перегревается и пересыхает, что способствует снижению уровня дыхания.

Измеренная ранее другой группой исследователей на территории Длительного опыта ТСХА эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы на бессменном чистом пару была равна 0.009–0.035 г  $\text{C м}^{-2} \text{ч}^{-1}$ , а на бессменном ячмене составила 0.043–0.113 г  $\text{C м}^{-2} \text{ч}^{-1}$  (Чистотин, Сафонов, 2016). На расположенном рядом на том же типе почв Опыте точного земледелия дыхание почвы под картофелем в севообороте в течение года колебалось в интервале от 0.054 до 0.324 г  $\text{C м}^{-2} \text{ч}^{-1}$  (Мазиров и др., 2015). Наши измерения показали, что дыхание почвы в севообороте в среднем больше, как для чистого пара (0.135 г  $\text{C м}^{-2} \text{ч}^{-1}$ ), так и для ячменя (0.173 г  $\text{C м}^{-2} \text{ч}^{-1}$ ), тогда как для картофеля уровень эмиссии находился в том же интервале (0.089 г  $\text{C м}^{-2} \text{ч}^{-1}$ ).

Аналогичные варианты удобрений были применены на опытных полях ВНИИОУ во Владимирской области для того же типа дерново-подзолистых почв. Дыхание почвы закономерно возрастало в последовательности без удобрений < NPK < NPK + навоз и составило за вегетационный сезон для ячменя 1554, 2461 и 2792 кг  $\text{C/га}$ , а для картофеля 1902, 2471 и 2658 кг  $\text{C/га}$ , соответственно (Шилова, 2014). Если пересчитать полученные нами данные с учетом продолжительности вегетационного периода, то диапазоны изменения дыхания почвы будут больше и составят 2800–5500 кг  $\text{C/га}$  для ячменя и 2100–3300 кг  $\text{C/га}$  для картофеля. Во Владимирском опыте при осреднении по культурам в варианте без удобрений эмиссия  $\text{CO}_2$  составляла на чистом пару 1296, на картофеле 1753 и на озимой пшенице 1959 кг  $\text{C/га}$  за вегетационный период (Лукин, 2015; Шилова, 2014). Рассчитанные для Длительного опыта ТСХА аналогичные значения равны 2900, 2100 и 4800 кг  $\text{C/га}$  соответственно, т.е. в 1.2–2.4 раза выше. Наиболее вероятная причина – также разница в методах измерения эмиссии, поскольку во ВНИИОУ использовался менее точный метод поглощения щелочью.

Некоторые авторы сопоставляли и другие факторы в Опыте, которые не вошли в нашу работу: дыхание почвы в севообороте и бессменных посевах, а также с внесением и отсутствием извести. На севообороте эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы выше, чем на бессменных посевах из-за различного качества растительных остатков и более широкого видового состава микроорганизмов. При внесении извести интенсивность дыхания также уменьшается, поскольку она не только повышает реакцию среды от кислой до нейтральной, но и снижает содержание в почве подвижных форм органического вещества, а также

способствует его закреплению с минеральной частью (Савоськина, Полин, 2015).

Дополнительно можно сравнить некоторые характеристики почвенного покрова. Так, по данным Савоськиной и Полина (2015), кислотность на известкованной части севооборота слабая и нейтральная, в среднем 6.0. Наши измерения водного pH показывают довольно близкие значения, и в среднем он равен 6.3. Через 60 лет после закладки опыта углерод гумуса в среднем составлял 1.03%, общий азот 0.079%,  $\text{C/N} = 13$  (Мазиров, Сафонов, 2010). В пробах, отобранных в 2023 г., т.е. через 110 лет после закладки и через 50 лет после предыдущего определения,  $\text{C}_{\text{орг}}$  в среднем составлял 1.36%,  $\text{N}_{\text{общ}}$  был равен 0.108%,  $\text{C/N} = 12.6$ . Отсюда можно заключить, что применение удобрений способствует росту почвенного плодородия и увеличению содержания биогенных элементов; но с другой стороны, такое повышение значений может быть просто связано с усовершенствованием методов химического анализа. В любом случае, это требует более детального изучения. Для сравнения, в европейских длительных полевых опытах содержание  $\text{C}_{\text{орг}}$  колеблется от 0.15% на песчаных почвах до 2.29% на черноземах (чаще всего менее 1.0%); минеральные удобрения увеличивают его содержание на 0.06–0.08% по сравнению с неудобренными участками, а органические – на 0.24%  $\text{C}_{\text{орг}}$  ежегодно (Körschens, 2021).

## ВЫВОДЫ

1. Вносимые удобрения и возделываемая культура оказывают равное по силе влияние на дыхание почвы, тогда как их совместное воздействие, а также последствие удобрений незначимо.
2. В вегетационный период дыхание почвы отличается чрезвычайно высокой дисперсией и для большинства делянок статистически не отличается.
3. В период с оголенной почвой ее дыхание не отличается между вариантами удобрений, а под снежным покровом оно ниже в 10–20 раз, чем в вегетационный период.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет средств гранта РФФ № 23–26–00191.

## FUNDING

The study was funded by the Russian Science Foundation grant no. 23–26–00191.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Фомин Д.С.* Микробная биомасса, дыхательная активность и азотфиксация в дерново-подзолистой почве Предуралья при различном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2020. № 3. С. 372–378. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20030120>
- Курганова И.Н., Гончарова О.Ю., Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Лопес де Гереню В.О., Мошкина Е.В., Осипов А.Ф., Суховеева О.Э., Хорошаев Д.А.* Определение эмиссии CO<sub>2</sub> из почв камерным методом в различных типах экосистем. М.: Перо, 2024. 28 с.
- Лошаков В.Г.* Прошлое и настоящее Длительного опыта МСХА им. К.А. Тимирязева // Агрохимия. 2013. № 12. С. 75–80.
- Лукин С.М.* Эмиссия углекислого газа в агроценозах картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве // Владимирский земледелец. 2015. № 3–4 (74). С. 22–23.
- Мазиров И.М., Боротов Б.Н., Лакеев П.С., Щепелева А.С., Васенев И.И.* Почвенные потоки углекислого газа в агроэкосистемах в условиях Московского региона // Земледелие. 2015. № 8. С. 17–19.
- Мазиров М.А., Арефьева В.А.* Краткий обзор результатов научных исследований в мировых длительных полевых опытах // Теоретические и технологические основы воспроизводства плодородия почв и урожайность сельскохозяйственных культур: матер. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. С. 23–31.
- Мазиров М.А., Сафонов А.Ф.* Длительный полевой опыт РГАУ-МСХА: сущность и этапы развития // Изв. ТСХА. 2010. Вып. 2. С. 66–75.
- Савоськина О.А., Полин В.Д.* Влияние длительного применения удобрений и известкования на дыхание дерново-подзолистой почвы при возделывании полевых культур бесменно и в севообороте // Агрофизика. 2015. № 4. С. 26–30.
- Хитров Н.Б.* Почвы Длительного полевого опыта ТСХА // Изв. ТСХА. 2012. Вып. 3. С. 62–78.
- Чистотин М.В., Сафонов А.Ф.* Динамика дыхания агродерново-подзолистой почвы в зависимости от содержания органического вещества и метеорологических факторов // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. № 3. С. 52–58.
- Шилова Н.А.* Динамика выделения CO<sub>2</sub> в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах // Почвоведение и агрохимия. 2014. № 1. С. 104–112.
- Adhikari K., Anderson K.R., Smith D.R., Owens P.R., Moore Jr.P.A., Libohova Z.* Identifying key factors controlling potential soil respiration in agricultural fields // Agricultural & Environ. Let. 2023. Vol. 8. Art. e20117. <https://doi.org/0.1002/ael2.20117>
- Anokye J., Logah V., Opoku A.* Soil carbon stock and emission: estimates from three land-use systems in Ghana // Ecological Processes. 2021. Vol. 10. Art. 11. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00279-w>
- Apostolakis A., Schöning I., Michalzik B., Klaus V.H., Boeddinghaus R.S., Kandeler E., Marhan S., Bolliger R., Fischer M., Prati D., Hänsel F., Nauss T., Hölzel N., Kleinebecker T., Schruppf M.* Drivers of soil respiration across a management intensity gradient in temperate grasslands under drought // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2022. Vol. 124. P. 101–116. <https://doi.org/10.1007/s10705-022-10224-2>
- Bond-Lamberty B., Ballantyne A., Berryman E., Fluet-Chouinard E., Jian J., Morris K.A., Rey A., Vargas R.* Twenty years of progress, challenges, and opportunities in measuring and understanding soil respiration // J. of Geophysical Research: Biogeosciences. 2024. Vol. 129. Art. e2023JG007637. <https://doi.org/10.1029/2023JG007637>
- Brito L.F., Azenha M.V., Januszkiewicz E.R., Cardoso A.S., Morgado E.S., Malheiros E.B., La Scala N.Jr., Reis R.A., Ruggieri A.C.* Seasonal fluctuation of soil carbon dioxide emission in differently managed pastures // Agronomy J. 2015. Vol. 107. P. 957–962. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0480>
- Cerhanová D., Kubát J., Nováková J.* Respiration activity of the soil samples from the long-term field experiments in Prague // Plant, Soil and Environment. 2006. Vol. 52. P. 21–28.
- Francioni M., Trozzo L., Toderi M., Baldoni N., Allegrezza M., Tesei G., Kishimoto-Mo A.W., Foresi L., et al.* Soil respiration dynamics in Bromus erectus-dominated grasslands under different management intensities // Agriculture. 2020. Vol. 10. Art. 9. <https://doi.org/10.3390/agriculture10010009>
- Gelybó G., Barcza Z., Dencsó M., Potyó I., Kása I., Horel Á., Pokovai K., Birkás M., Kern A., Hollós R., Tóth E.* Effect of tillage and crop type on soil respiration in a long-term field experiment on chernozem soil under temperate climate // Soil and Tillage Res. 2022. Vol. 216. Art. 105239. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105239>
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D.* PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. Vol. 4 (1). 9 p.
- Johnston A.E., Poulton P.R.* The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience // European J. of Soil Sci. 2018. Vol. 69 (1). P. 113–125. <https://doi.org/10.1111/ejss.12521>
- Kong D., Liu N., Wang W., Akhtar K., Li N., Ren G., Feng Y., Yang G.* Soil respiration from fields under three crop rotation treatments and three straw retention treatments // PLoS One. 2019. Vol. 14 (9). Art. e0219253. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219253>
- Körschens M.* The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research – A review // Plant, Soil and Environment. 2006. Vol. 52. P. 1–8.

- Körschens M.* Long-Term Field Experiments (LTEs) – Importance, Overview, Soil Organic Matter. In: Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Innovations in Landscape Research / L. Mueller, V.G. Sychev, N.M. Dronin, F. Eulenstein (Eds.). Springer, 2021. P. 215–231.  
https://doi.org/10.1007/978-3-030-67448-9\_8
- Kulachkova S.A., Derevenets E.N., Korolev P.S., Pronina V.V.* The Effect of Mineral Fertilizers on Soil Respiration in Urban Lawns // Moscow Univ. Soil Sci. Bul. 2023. Vol. 78. P. 281–291.  
https://doi.org/10.3103/S0147687423030080
- Lei N., Wang H., Zhang Y., Chen T.* Components of respiration and their temperature sensitivity in four reconstructed soils // Scientific Reports. 2022. Vol. 12. Art. 6107.  
https://doi.org/10.1038/s41598-022-09918-y
- Li W., Wang J., Li X., Wang S., Liu W., Shi S., Cao W.* Nitrogen fertilizer regulates soil respiration by altering the organic carbon storage in root and topsoil in alpine meadow of the north-eastern Qinghai-Tibet Plateau // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. Art. 13735.  
https://doi.org/10.1038/s41598-019-50142-y
- Morris K.A., Hornum S., Crystal-Ornelas R., Pennington S.C., Bond-Lamberty B.* Soil respiration response to simulated precipitation change depends on ecosystem type and study duration // J. of Geophysical Research: Biogeosciences. 2022. Vol. 127. Art. e2022JG006887.  
https://doi.org/10.1029/2022JG006887
- Rochette P., Hutchinson G.L.* Measurement of Soil Respiration in situ: Chamber Techniques. In: Micrometeorology in Agricultural Systems / J.L. Hatfield, J.M. Baker (Eds.). ASA, 2005. P. 247–286.  
https://doi.org/10.2134/agronmonogr47.c12
- Sosulski T., Szymańska M., Szara E., Sulewski P.* Soil Respiration under 90 Year-Old Rye Monoculture and Crop Rotation in the Climate Conditions of Central Poland // Agronomy. 2021. Vol. 11. Art. 21.  
https://doi.org/10.3390/agronomy11010021
- Wang J., Xie J., Li L., Effah Z., Xie L., Luo Z., Zhou Y., Jiang Y.* Fertilization treatments affect soil CO<sub>2</sub> emission through regulating soil bacterial community composition in the semiarid Loess Plateau // Scientific Reports. 2022. Vol. 12. Art. 20123.  
https://doi.org/10.1038/s41598-022-21108-4
- Wang Y., Li Q., Li C.* Organic fertilizer has a greater effect on soil microbial community structure and carbon and nitrogen mineralization than planting pattern in rainfed farmland of the Loess Plateau // Frontiers in Envir. Sci. 2023. Vol. 11. Art. 1232527.  
https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1232527
- Ward D., Kirkman K., Hagenah N., Tsvuura Z.* Soil respiration declines with increasing nitrogen fertilization and is not related to productivity in long-term grassland experiments // Soil Biology and Biochemistry. 2017. Vol. 115. P. 415–422.  
https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.08.035
- Yang L., Pan J., Wang J., Tian D., Zhang C., Zhao X., Hu J., Yang W., Yan Y., Ma F., Chen W., Quan Q., Wang P., Niu S.* Soil microbial respiration adapts to higher and longer warming experiments at the global scale // Environ. Res. Lett. 2023. Vol. 18 (3). Art. 034044.  
https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbecb
- Yang S., Xiao Y., Xu J.* Organic fertilizer application increases the soil respiration and net ecosystem carbon dioxide absorption of paddy fields under water-saving irrigation // Environ. Sci. and Pollution Res. 2018. Vol. 25. P. 9958–9968.  
https://doi.org/10.1007/s11356-018-1285-y
- Yilmaz G.* Seasonal variations in soil CO<sub>2</sub> emissions under continuous field crop production in semi-arid southeastern Turkey // Appl. Ecology and Environ. Res. 2019. Vol. 17. P. 6563–6579.  
https://doi.org/10.15666/aeer/1703\_65636579
- Zapata D., Rajan N., Mowrer J., Casey K., Schnell R., Hons F.* Long-term tillage effect on within season variations in soil conditions and respiration from dryland winter wheat and soybean cropping systems // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Art. 2344.  
https://doi.org/10.1038/s41598-021-80979-1

## **Influence of Cultivated Crops and Fertilizers on Soil Respiration (Long-Term Field Experiment of Timiryazev Agricultural Academy)**

**O. E. Sukhoveeva<sup>a, \*</sup>, A. V. Ryzhov<sup>a</sup>, A. V. Pochikalov<sup>a</sup>, D. V. Karelin<sup>a</sup>,  
I. A. Zavertkin<sup>b</sup>, and V. A. Nikolaev<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>b</sup>*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*e-mail: olgasukhoveeva@gmail.com*

The study is devoted to assessing the impact of cultivated crops and applied fertilizers on soil respiration—the most intensive CO<sub>2</sub> flux from terrestrial ecosystems to the atmosphere. The object was the Long-term field experiment of the Russian State Agrarian University—Moscow Timiryazev Agricultural Academy, where the main crops of the Non-Chernozem zone—winter rye, barley, potato, and bare fallow, which are included in crop rotation with liming and application of different fertilizers variants—were selected for

measurements. They were carried out by the method of closed dynamic chambers with portable infrared gas analyzers from May 2023 to April 2024. They were divided into two series: vegetation period and period with bare soil, the boundary between which was plowing. Comparing soil respiration during the growing season for individual plots, it was found that most of them were characterized by a wide range of values, and the CO<sub>2</sub> emission rates were not statistically different. The dependence of soil respiration on air temperature and soil moisture revealed for some plots is not universal. Two-way analysis of variance showed a significant effect of crop and fertilizer on soil respiration separately, but insignificance of their cumulative effect. The rate of CO<sub>2</sub> emission from the soil naturally increased in the variants: no fertilizer < NPK < NPK + manure, and when averaged over crops increased in the sequence potato < fallow < barley < winter rye. For soil organic carbon and total nitrogen content, the identified sequences were repeated for fertilizer variants and were not repeated for crops where the predecessor in the crop rotation and the position of the plot in the microrelief were found to be more important factors. During the period with bare soil, averaging was carried out for fertilizer variants, no significant differences were found between them, and quantitative estimates of soil respiration under snow cover were 10–20 times lower than in the vegetation period.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> emission from soil, winter rye, barley, potato, fallow, soil organic carbon, total nitrogen, Mann-Whitney criterion, PERMANOVA

## REFERENCES

- Adhikari K., Anderson K.R., Smith D.R., Owens P.R., Moore Jr.P.A., Libohova Z. Identifying key factors controlling potential soil respiration in agricultural fields. *Agricult. Environ. Lett.*, 2023, vol. 8, art. e20117. <https://doi.org/10.1002/ael2.20117>
- Anokye J., Logah V., Opoku A. Soil carbon stock and emission: estimates from three land-use systems in Ghana. *Ecol. Proc.*, 2021, vol. 10, art. 11. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00279-w>
- Apostolakis A., Schöning I., Michalzik B., Klaus V.H., Boeddinghaus R.S., Kandeler E., Marhan S., Bolliger R., Fischer M., Prati D., Hänsel F., Nauss T., Hölzel N., Kleinebecker T., Schrumph M. Drivers of soil respiration across a management intensity gradient in temperate grasslands under drought. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 2022, vol. 124, pp. 101–116. <https://doi.org/10.1007/s10705-022-10224-2>
- Bond-Lamberty B., Ballantyne A., Berryman E., Fluet-Chouinard E., Jian J., Morris K.A., Rey A., Vargas R. Twenty years of progress, challenges, and opportunities in measuring and understanding soil respiration. *J. Geophysic. Res. Biogeosci.*, 2024, vol. 129, art. e2023JG007637. <https://doi.org/10.1029/2023JG007637>
- Brito L.F., Azenha M.V., Januskiewicz E.R., Cardoso A.S., Morgado E.S., Malheiros E.B., la Scala N.Jr., Reis R.A., Ruggieri A.C. Seasonal fluctuation of soil carbon dioxide emission in differently managed pastures. *Agronomy J.*, 2015, vol. 107, pp. 957–962. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0480>
- Cerhanová D., Kubát J., Nováková J. Respiration activity of the soil samples from the long-term field experiments in Prague. *Plant Soil Environ.*, 2006, vol. 52, pp. 21–28.
- Chistotin M.V., Safonov A.F. Respiration dynamics of agrodermovo-podzolic soil depending on the content of organic matter and meteorological factors. *Probl. Agrokhim. Ekol.*, 2016, no. 3, pp. 52–58. (In Russ.).
- Francioni M., Trozzo L., Toderi M., Baldoni N., Allegranza M., Tesei G., Kishimoto-Mo A.W., Foresi L., et al. Soil respiration dynamics in Bromus erectus-dominated grasslands under different management intensities. *Agriculture*, 2020, vol. 10, art. 9. <https://doi.org/10.3390/agriculture10010009>
- Gelybó G., Barcza Z., Dencső M., Potyó I., Kása I., Horel Á., Pokovai K., Birkás M., Kern A., Hollós R., Tóth E. Effect of tillage and crop type on soil respiration in a long-term field experiment on chernozem soil under temperate climate. *Soil Till. Res.*, 2022, vol. 216, art. 105239. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105239>
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron.*, 2001, vol. 4, no. 1, pp. 1–9.
- Johnston A.E., Poulton P.R. The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. *Europ. J. Soil Sci.*, 2018, vol. 69, no. 1, pp. 113–125. <https://doi.org/10.1111/ejss.12521>
- Khitrov N.B. Soils of the Long-term field experience of the MTAA. *Izv. Timiryazev. Sel'skokhoz. Akad.*, 2012, no. 3, pp. 62–78. (In Russ.).
- Kong D., Liu N., Wang W., Akhtar K., Li N., Ren G., Feng Y., Yang G. Soil respiration from fields under three crop rotation treatments and three straw retention treatments. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 9, art. e0219253. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219253>
- Körschens M. Long-Term Field Experiments (LTEs) – Importance, Overview, Soil Organic Matter. In *Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Innovations in Landscape Research*. Mueller L., Sychev V.G., Dronin N.M., Eulenstein F., Eds. Springer, 2021, pp. 215–231. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67448-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67448-9_8)
- Körschens M. The importance of long-term field experiments for soil science and environmental research – A review. *Plant Soil Environ.*, 2006, vol. 52, pp. 1–8.

- Kulachkova S.A., Derevenets E.N., Korolev P.S., Pronina V.V. The effect of mineral fertilizers on soil respiration in urban lawns. *Mosc. Univ. Soil Sci. Bull.*, 2023, vol. 78, pp. 281–291. <https://doi.org/10.3103/S0147687423030080>
- Kurganova I.N., Goncharova O.Yu., Zamolodchikov D.G., Karelin D.V., Lopes de Gerenu V.O., Moshkina E.V., Osipov A.F., Sukhoveeva O.E., Khoroshaev D.A. *Opredelenie emissii CO<sub>2</sub> iz pochv kamernym metodom v razlichnykh tipakh ekosistem* [Determination of CO<sub>2</sub> Emission from Soils by Chamber Method in Different Types of Ecosystems]. Moscow: Pero Publ., 2024. 28 p.
- Lei N., Wang H., Zhang Y., Chen T. Components of respiration and their temperature sensitivity in four reconstructed soils. *Sci. Rep.*, 2022, vol. 12, art. 6107. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09918-y>
- Li W., Wang J., Li X., Wang S., Liu W., Shi S., Cao W. Nitrogen fertilizer regulates soil respiration by altering the organic carbon storage in root and topsoil in alpine meadow of the north-eastern Qinghai-Tibet Plateau. *Sci. Rep.*, 2019, vol. 9, art. 13735. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50142-y>
- Loshakov V.G. Past and present of the Long-term experiment of K.A. Timiryazev MAA. *Agrokhimiya*, 2013, no. 12, pp. 75–80. (In Russ.)
- Lukin S.M. Carbon dioxide emission in potato agrocenoses on sod-podzolic sandy loam soil. *Vladimir. Zemledel.*, 2015, no. 3–4, pp. 22–23. (In Russ.)
- Mazirov M.A., Arefieva V.A. A brief review of the results of scientific research in global long-term field experiments. In *Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy vosproizvodstva plodorodiya pochv i urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Theoretical and Technological Foundations of Soil Fertility Reproduction and Crop Yields]. Moscow: RGAU-MTAA, 2012, pp. 23–31. (In Russ.)
- Mazirov I.M., Borotov B.N., Lakeev P.S., Shchepeleva A.S., Vasenev I.I. Soil carbon dioxide fluxes in agroecosystems in the conditions of the Moscow region. *Zemledel.*, 2015, no. 8, pp. 17–19. (In Russ.)
- Mazirov M.A., Safonov A.F. Long-term field experience RGAU-MTAA: essence and stages of development. *Izv. Timiryazev. Sel'skokhoz. Akad.*, 2010, no. 2, pp. 66–75. (In Russ.)
- Morris K.A., Hornum S., Crystal-Ornelas R., Pennington S.C., Bond-Lamberty B. Soil respiration response to simulated precipitation change depends on ecosystem type and study duration. *J. Geophysic. Res.: Biogeosci.*, 2022, vol. 127, art. e2022JG006887. <https://doi.org/10.1029/2022JG006887>
- Rochette P., Hutchinson G.L. Measurement of Soil Respiration in situ: Chamber Techniques. In *Micrometeorology in Agricultural Systems*. Hatfield J.L., Baker J.M., Eds. ASA, 2005, pp. 247–286. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr47.c12>
- Savoskina O.A., Polin V.D. Influence of long-term application of fertilizers and liming on respiration of sod-podzolic soil under cultivation of field crops without shifts and in crop rotation. *Agrofizika*, 2015, no. 4, pp. 26–30. (In Russ.)
- Shilova N.A. Dynamics of CO<sub>2</sub> release in field crops on sod-podzolic and peat soils. *Pochboved. Agrokhim.*, 2014, no. 1, pp. 104–112. (In Russ.)
- Sosulski T., Szymańska M., Szara E., Sulewski P. Soil Respiration under 90 Year-Old Rye Monoculture and Crop Rotation in the Climate Conditions of Central Poland. *Agronomy*, 2021, vol. 11, art. 21. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010021>
- Wang J., Xie J., Li L., Effah Z., Xie L., Luo Z., Zhou Y., Jiang Y. Fertilization treatments affect soil CO<sub>2</sub> emission through regulating soil bacterial community composition in the semiarid Loess Plateau. *Sci. Rep.*, 2022, vol. 12, art. 20123. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-21108-4>
- Wang Y., Li Q., Li C. Organic fertilizer has a greater effect on soil microbial community structure and carbon and nitrogen mineralization than planting pattern in rainfed farmland of the Loess Plateau. *Front. Environ. Sci.*, 2023, vol. 11, art. 1232527. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1232527>
- Ward D., Kirkman K., Hagenah N., Tsvuura Z. Soil respiration declines with increasing nitrogen fertilization and is not related to productivity in long-term grassland experiments. *Soil Biol. Biochem.*, 2017, vol. 115, pp. 415–422. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.08.035>
- Yang L., Pan J., Wang J., Tian D., Zhang C., Zhao X., Hu J., Yang W., Yan Y., Ma F., Chen W., Quan Q., Wang P., Niu S. Soil microbial respiration adapts to higher and longer warming experiments at the global scale. *Environ. Res. Lett.*, 2023, vol. 18, no. 3, art. 034044. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbecb>
- Yang S., Xiao Y., Xu J. Organic fertilizer application increases the soil respiration and net ecosystem carbon dioxide absorption of paddy fields under water-saving irrigation. *Environ. Sci. Poll. Res.*, 2018, vol. 25, pp. 9958–9968. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1285-y>
- Yilmaz G. Seasonal variations in soil CO<sub>2</sub> emissions under continuous field crop production in semi-arid southeastern Turkey. *Appl. Eco. Env. Res.*, 2019, vol. 17, pp. 6563–6579. [https://doi.org/10.15666/aeer/1703\\_65636579](https://doi.org/10.15666/aeer/1703_65636579)
- Zapata D., Rajan N., Mowrer J., Casey K., Schnell R., Hons F. Long-term tillage effect on within season variations in soil conditions and respiration from dryland winter wheat and soybean cropping systems. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, art. 2344. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-80979-1>
- Zavyalova N.E., Vasbieva M.T., Fomin D.S. Microbial biomass, respiratory activity and nitrogen fixation in soddy-podzolic soils of the Pre-Urals area under various agricultural uses. *Eurasian Soil Sci.*, 2020, vol. 53, no. 3, pp. 383–388. <https://doi.org/10.1134/S1064229320030126>

УДК 504.45+550.4

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

© 2024 г. Г. С. Шилькрот<sup>1</sup>\*, Т. М. Кудерина<sup>1</sup>, С. Б. Сулова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

\*e-mail: gal-shilkrot@yandex.ru

Поступила в редакцию 10.08.2023 г.

После доработки 09.04.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Обсуждаются результаты проведенного многолетнего (с 2002 г.) геохимического мониторинга озерных, речных и грунтовых (подземных) вод в бассейне оз. Селигер и выполненных летом 2021–2022 гг. съемок (пространственного сканирования) эколого-геохимических показателей вод акваторий Верхней Волги (от оз. Селигер до Горьковского водохранилища (г. Чкаловск)). Исследования позволили выявить две серьезные для региона Верхней Волги экологические проблемы как следствие неотрегулированного природопользования на речном водосборе. Это – гиперэвтрофирование волжских вод около Ярославля и Мышкина. Здесь содержание фосфора в воде достигало 400–500 мкг/л, что вдвое выше верхнего предела для эвтрофных рыбохозяйственных водоемов. Источниками фосфора для прибрежных акваторий являются городские и другие селитебные территории, объекты рекреации в береговой зоне. Высокое содержание фосфора отмечается в грунтовых водах селитьбы на побережье Селижаровского плёса оз. Селигер и в родниках близ поселений в долине Волги между Тверью и Дубной, что подтверждает вывод о влиянии антропогенной деятельности на состояние вод акваторий Верхней Волги. Обнаружено также химическое загрязнение вод Волги вблизи Костромы и в ее притоке – р. Шексне выше Череповца. Индикаторы этого загрязнения – повышенное в 2–10 раз в сравнении с фоном содержание в воде железа и сопутствующих ему в металлургии редкоземельных элементов церия и неодима. Предложено создавать в прибрежной зоне водотоков и акваторий защитные лесные пояса для перехвата поступающих с водосборов загрязнений.

*Ключевые слова:* экологические проблемы, геохимические показатели вод, микроэлементы, фосфор, эвтрофирование, загрязнение, Верхняя Волга

DOI: 10.31857/S2587556624040052 EDN: RPWFJ

### ВВЕДЕНИЕ

Акватории суши, или водные ландшафты в районах интенсивной хозяйственной деятельности человека, испытывают изменения эколого-геохимических характеристик вод и отложений в результате поступления загрязняющих веществ с водосборов рек и водоемов и с атмосферными осадками. Поступающие загрязнения участвуют в формировании новых эколого-геохимических свойств акваторий. Их роль в этом процессе можно оценить только при сравнительном изучении нескольких, различающихся степенью и характером антропогенного воздействия, акваторий в одном климатическом поясе или географическом регионе. Такой подход реализован при геохимических исследованиях вод акваторий Верхней Волги.

Бассейн Волги – главной реки Восточно-Европейской равнины – представляет собой арену хозяйственной и культурной деятельности для 60 млн человек. Волжские воды испытывают негативное воздействие антропогенного фактора из-за недостаточно отрегулированного использования природных ресурсов, ведущего к загрязнению окружающей среды. Особенное место здесь занимают прибрежные города, являющиеся непосредственными источниками загрязняющих веществ для волжских вод. Загрязнения с городских территорий, как и с любой селитьбы, поступают в Волгу с поверхностными и грунтовыми водами и со сбросами недостаточно очищенных коммунальных и промышленных стоков. Однако для прибрежных городов, включая Москву, Волга является основным источником питьевого и промышленного водоснабжения. К тому же река и ее водохранилища имеют ры-

бохозяйственное и рекреационное назначение. Поэтому требуется выявление негативных гидроэкологических явлений и процессов, установление их причин с целью улучшения экологического состояния Волги.

Цель исследования — оценить роль прибрежных городов и другой селитбы в формировании эколого-геохимических свойств акваторий Верхней Волги. Для этого привлечены результаты проведенных нами многолетних (с 2002 г.) эколого-геохимических исследований в бассейне оз. Селигер — второго истока Волги (Кудерина, Шилькрот, 2007; Структура ..., 2004; Сулова и др., 2015) и выполненных летом 2021–2022 гг. съемок (пространственного сканирования) эколого-геохимических показателей воды акваторий Верхней Волги — от оз. Селигер до Горьковского водохранилища (г. Чкаловска) (Шилькрот, 2023; Шилькрот и др., 2022).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Бассейн Верхней Волги расположен в центре Восточно-Европейской равнины, рельеф здесь представляет собой чередование низменных равнин и возвышенностей с колебанием абсолютных отметок в пределах 100–300 м. Основная доля речной сети приходится на малые реки (длиной менее 25 км), представляющие собой типичные равнинные водотоки с широкими пойменными долинами и спокойным течением. В регионе много озер (более 25 тыс.), средняя озерность 1.5%, широко распространены болота (средняя заболоченность около 4%), создано большое количество водохранилищ с водным объемом от 1 до 10 млн м<sup>3</sup> (Научно-прикладной ..., 2015).

Объектами наших исследований являлись речные и грунтовые (подземные) воды водосборов и собственно водоемы бассейна Верхней Волги. Исследования велись двумя дополняющими друг друга путями. Первый путь — долговременный локальный мониторинг. Он включает проведение многолетних наблюдений за изменчивостью-стабильностью во времени эколого-геохимических характеристик ключевых объектов в одной местности. Такой мониторинг с начала 2000-х годов осуществляется в бассейне оз. Селигер с целью оценки притока веществ в озеро с природных и освоенных частей водосбора.

Озеро Селигер, по существу, представляет собой второй исток Волги. Оно занимает водораздельное положение в пределах Валдайской возвышенности. Площадь водосбора озера — 2312 км<sup>2</sup>, акватории — 212 км<sup>2</sup>, средняя глубина составляет 5.8 м, максимальная — 24 м. Озеро ледникового происхождения, расчленено на несколько плёсов, отличающихся разной степенью и характером освоенности водосборов.

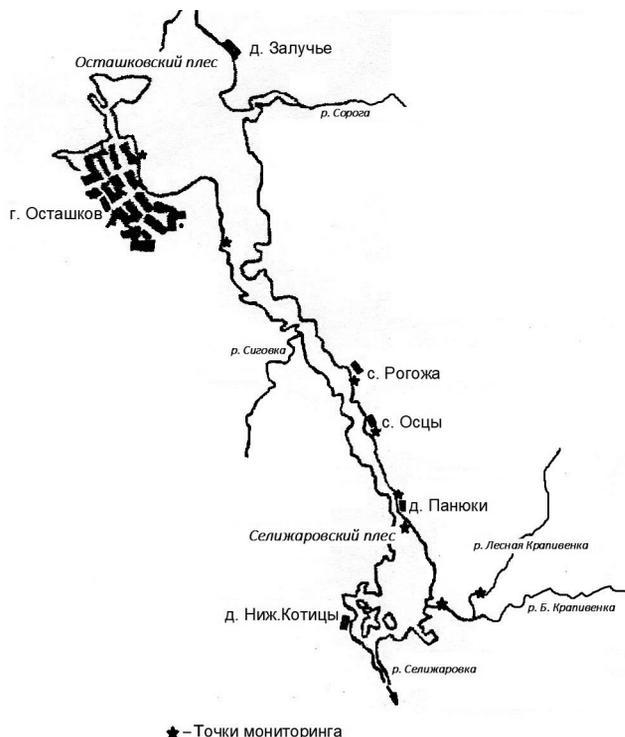


Рис. 1. Карта-схема объектов мониторинга в бассейне оз. Селигер.

Объекты исследования — акватории Осташковского (Городского) и замыкающего Селижаровского плёсов, небольшие реки с лесным водосбором, родники и колодцы в прибрежной селитебной части Селижаровского плёса (рис. 1). На этих объектах пробы воды отбирались в разные сезоны года. Основное внимание уделялось анализу содержания в притоке биогенного элемента — фосфора и микроэлементов.

Второй путь как направление исследований — проведение почти одновременных геохимических съемок воды нескольких акваторий в регионе. Отбор проб воды для химического анализа производится при этом в определенных ключевых пунктах.

Исследования состояния вод Верхней Волги были выполнены в августе 2021 г. — от Мышкина до Чкаловска (Шилькрот и др., 2022); в июне 2022 г. — около Углича и на р. Шексна (левый приток Волги) — с. Горицы (Шилькрот, 2023); в сентябре 2022 г. — на оз. Селигер. В акваториях городов (рис. 2) пробы воды отбирались в основном в прибрежной зоне (при глубинах более 1 м) из поверхностного слоя, в местах вне прямого влияния стоков с побережий и портовых сооружений. Только в акватории Ярославля пробы были отобраны в середине реки.

Пробы воды при мониторинговых и единовременных эколого-геохимических исследованиях анализировались одинаковыми методами. Химический анализ проб начинался на месте наблюдений (определение величины рН и мине-



Рис. 2. Карта-схема акваторий Верхней Волги – района проведения единовременных эколого-геохимических наблюдений.

рализации воды с помощью портативных приборов) и продолжался в лабораториях. В Институте географии РАН определялось содержание минерального и общего растворенного фосфора (метод колориметрии) и анионов (объемными методами). Катионы и микроэлементы анализировались методом плазменной масс-спектрометрии. Ранее анализы выполнялись в лаборатории Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных и благородных металлов, в последние годы – в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Бассейн оз. Селигер*

В 1960–1970-х годах оз. Селигер, как и многие другие водоемы в средней части Европейской России, стало эвтрофироваться вследствие деятельности человека в его бассейне (Покровская, Россолимо, 1967).

Проведенные в 2000 г. несколькими академическими институтами исследования озера имели цель оценить его состояние в связи с изменениями в природопользовании после произошедших в стране экономических реформ (Структура..., 2004). Результаты исследования показали существенные различия экологического состояния разных плёсов. Сохранял черты эвтрофикации и значительного загрязнения вод и донных отложений Осташковский плёс. Большое воздействие на его экологическое состояние оказывали сброс с очистных сооружений промышленных предприятий и коммунальные стоки г. Осташкова (несмотря на их сокращение). Воды в поверхностном слое имели повышенные, относительно ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов, концентрации Fe, Cu, Mn, Ni, Zn (Leonov et al., 2002).

С конца 2000-х годов по настоящее время наблюдается заметная смена направленности природопользования в бассейне Селигера. Все большее влияние на экологическое состояние озера стали оказывать массовый туризм, застройка побережий и вырубка лесов.

Проведенные нами многолетние геохимические мониторинговые исследования на оз. Селигер и его водосборе в районе Осташковского и Селижаровского плёсов позволили оценить изменчивость-стабильность во времени основных показателей химического состава озерных, речных и грунтовых (подземных) вод в новых условиях природопользования.

Воды оз. Селигер маломинерализованные, характеризуются относительно стабильной величиной минерализации в течение года, в отличие от вод его притоков. Минерализация речных вод сильно меняется по сезонам года в соответствии с условиями водного питания рек: она минимальна в периоды весеннего снеготаяния и максимальна в меженные периоды при питании рек минерализованными грунтовыми водами. Наиболее минерализованными оказались воды родников. Ионный состав всех природных вод – гидрокарбонатно-кальциевый.

Микроэлементный состав озерных и речных вод близок, в сравнении с кларками для речной воды (Справочник ..., 1990) они обогащены Fe, Ti, Cr, V, W, Sn. Воды родников отличаются повышенными концентрациями относительно поверхностных вод Sr, Mn, Co.

Данные о минерализации воды, содержании фосфора и преобладающих микроэлементов в озерных, речных (с лесного водосбора) водах и в водах родников и колодцев приведены в табл. 1 и 2.

Из табл. 1 видно высокое содержание фосфора в колодезных водах сел и деревень, что свидетельствует о загрязнении грунтовых вод на селитебной части водосбора. Вполне вероятно, что это может быть связано с активизацией вымывания фосфора из накопленных запасов этого элемента в почвах и торфяной залежи водосбора. Однако, несомненно, импульс процессу задает антропогенный фактор. Об этом свидетельствуют экспериментальные исследования по удобрению лесных почв (Saura et al., 2000), в ходе которых было установлено усиленное вымывание из них биогенных элементов, оказавшееся выше внесенного с удобрениями количества. Наши данные по содержанию фосфора в водах бассейна Селигера подтверждаются результатами многолетних наблюдений других исследователей за родниками в долине р. Волги – от Твери до Дубны (Лапина и др., 2014). Согласно их данным, на селитебной части долины Волги концентрации фосфора в родниковых водах составляют от 20 до 330 мг P<sub>общ/л</sub> и более.

**Таблица 1.** Минерализация воды и содержание минерального фосфора в природных водах бассейна Селигера, 2002–2015 гг.

Объект	Сумма ионов, мг/л	Фосфор ( $P_{\text{мин}}$ ), мкг/л
Озеро Селигер	110–128	8–46 (до 210)**
Река Б. Крапивенка*	50–350/30–220	4–90/2–43
Родники	200–410	1–94
Колодцы	115–390	<b>51–420</b>
Колодец – д. Панюки	64–170	<b>2900–11200</b>

*Примечания:* \* в знаменателе – данные для р. Лесная Крапивенка; \*\* в скобках – данные для узкой части Селижаровского плёса, близ д. Ниж. Котицы. Предельное содержание  $P_{\text{общ}}$  в воде эвтрофных водоемов рыбохозяйственного назначения составляет 200 мкг/л (Перечень ..., 1999).

Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

*Источник:* Кудерина, Шилькрот, 2007; Сулова и др., 2015.

**Таблица 2.** Растворенные микроэлементы в озерных, речных и грунтовых (подземных) водах бассейна оз. Селигер, мкг/л

Объект \ Элемент	Fe	Cr	V	Sr	Co	Zn	Cu	As
Озеро Селигер	196/193	3.5/1,1	1.3/0.5	66/76	0.13/0.2	1.8/2.4	1.8/2.7	0.8/0.7
Река Б. Крапивенка	471/941	7.3/<0.6	1.2/0.2	94/108	0.21/<0.1	1.8/10.3	1.6/4.2	1.0/1.2
Родник – пос. Осцы	638	8.7	0.9	185	0.34	1.3	0.9	0.8
Колодец – д. Панюки	193	2.0	1.6	72	0.16	<b>60</b>	<b>4.7</b>	<b>1.8</b>

*Примечания:* в числителе указаны средние значения за 2006–2013 гг. (Сулова и др., 2015), в знаменателе – данные, полученные в 2022 г.

Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

Данные табл. 1, 2 показывают, что содержание микроэлементов в речном притоке и в воде Селижаровского плёса во многом обусловлено влиянием более минерализованных грунтовых (подземных) вод. Выделяющийся высоким содержанием в воде  $P_{\text{мин}}$ , Zn и Cu колодец в д. Панюки – свидетельство антропогенного влияния на локальное накопление фосфора в почвах и грунтах указанного поселения с последующим выщелачиванием его вместе с Zn и Cu (главных загрязнителей атмосферных осадков) в грунтовые воды.

По сравнению с началом 2000-х годов (Структура ..., 2004; Leonov et al., 2002) в поверхностных водах оз. Селигер заметно снизилось содержание Mn, Pb, Cr, Cd, V. Как правило, оно не превышает ПДК для вод рыбохозяйственного назначения. В то же время концентрации Fe, Cu, Zn, As остаются высокими.

#### *Акватории бассейна Верхней Волги*

Единовременные эколого-геохимические исследования состояния вод акваторий Верхней Волги (от оз. Селигер до Горьковского водохранилища) выявили прежде всего особенности формирования химического состава этих вод в определенных природных условиях для бассейна Верхней Волги, а также изменений состава вод из-за воздействия антропогенного фактора.

Как показали исследования, минерализация воды и концентрации основных ионов и микроэлементов в воде акваторий Верхней Волги мало меняются по течению реки (табл. 3). Нарушается это однообразие высоким содержанием Fe и Mn в водах близ Костромы. Подобный пик содержания Fe был отмечен и для р. Шексны, испытывающей влияние промышленного Череповца (Шилькрот, 2023). Концентрации Fe в водах около Костромы в 2–4 раза, а в р. Шексне – с. Горицы в 10–20 раз выше в сравнении с его содержанием в верхневолжских водах. Следует отметить, что для вод Верхней Волги, как и бассейна Селигера, характерно повышенное содержание Fe. В большинстве случаев это связано с природными условиями водосборов – их высокой заболоченностью, обуславливающей поступление в речную воду большого количества Fe вместе с гуминовыми кислотами. Однако очень высокие концентрации Fe в воде вышеуказанных двух акваторий, несомненно, – следствие влияния промышленных предприятий.

Повышенное содержание в волжской воде Mn характерно не только для акватории Костромы (см. табл. 3). Именно для Mn, как и для главных ионов – гидрокарбонатов и кальция, превышены их кларковые величины (см. табл. 3). Содержание Fe и Mn в воде акваторий Верхней Волги оказывается выше нормативов для ры-

**Таблица 3.** Минерализация воды, содержание главных ионов и растворенных химических элементов в водах акваторий бассейна Верхней Волги, лето 2021 и 2022 гг., мг/л

Объект	Селигер	Волга – Углич	Волга – Мышкин	Шексна – Горицы	Волга – Ярославль	Волга – Кострома	Волга – Чкаловск
Сумма ионов	130	144	154	81	151	123	137
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> (58)*	76	85	92	43	–	73	79
Ca (13)	22	31	34	18	28	27	27
Fe (0.67)	0.19	0.20	0.11	<b>1.00</b>	0.16	<b>0.44</b>	0.09
Mn (0.01)	0.05	0.05	<b>0.20</b>	<b>0.15</b>	0.08	<b>0.18</b>	<b>0.17</b>
Sr (0.08)	0.08	0.09	0.11	0.04	0.08	0.08	0.09

Примечания: \* в скобках даны кларки ионов и химических элементов в речных водах мира (Добровольский, 2003).

Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

**Таблица 4.** Содержание растворенных форм фосфора и редкоземельных элементов в поверхностных водах акваторий бассейна Верхней Волги, 2021–2022 гг., мкг/л

Объект	Селигер*	Волга – Углич	Волга – Мышкин	Шексна – Горицы	Волга – Ярославль	Волга – Кострома	Волга – Чкаловск
P <sub>общ</sub>	35	60	<b>400</b>	29	<b>500</b>	150	70
Церий, Ce	0.31	0.43	0.26	<b>1.23</b>	0.21	<b>2.0</b>	0.13
Неодим, Nd	0.20	0.21	0.09	<b>0.60</b>	0.09	<b>1.0</b>	0.06

Примечания: \* Селижаровский плёс; в речном притоке (лесной водосбор) этого плёса содержание P<sub>общ</sub> составило 24 мкг/л, Ce – 0.09, Nd – 0.06 мкг/л.

Жирным шрифтом выделены максимальные значения.

бохозяйственных водоемов. Повышенные концентрации Mn в водах Верхней Волги вблизи городов, помимо природного происхождения, обусловленного геологическими характеристиками территории, может быть связано с поступлением его со сточными водами промышленных предприятий и коммунального хозяйства.

В табл. 4 представлено пространственное распределение в водах акваторий Верхней Волги фосфора – основного биогенного элемента, ответственного за эвтрофирование водных систем, а также двух индикаторов промышленного загрязнения – редкоземельных элементов Ce и Nd, сопутствующих Fe.

Из табл. 4 видно, что в водах Волги в акваториях городов Мышкин и Ярославль очень высоки концентрации фосфора. Они вдвое выше верхнего предела (0.2 мг/л) содержания этого элемента в эвтрофных водоемах рыбохозяйственного назначения. Источниками фосфора могут быть не только сбросы в Волгу недостаточно очищенных сточных бытовых вод, но также поверхностный и грунтовый сток с территории прибрежных городов, так называемое диффузное загрязнение. Последнее подтверждают наблюдения за стоком ручья с территории Мышкина в августе 2021 г. При впадении в Волгу его поверхность была покрыта ковром сине-зеленых водорослей. О площадном загрязнении вод вблизи селитебной территории свидетельствуют

также наши многолетние исследования в бассейне оз. Селигер и исследования химического состава родниковых вод долины Волги (Лапина и др., 2014).

Оказалось также, что в водах Волги у Костромы, как и в р. Шексне выше Череповца, повышено в 2–10 раз в сравнении с фоном содержание Fe, Ce, Nd. Последние два элемента являются спутниками Fe в стоках с предприятий металлургии и их можно считать индикаторами имеющегося здесь загрязнения акваторий промышленными стоками.

Полученная нами оценка современного экологического состояния акваторий Верхней Волги и выявленные проблемы эвтрофирования и загрязнения ее вод подтверждаются данными других исследователей. Ранее (Шилькрот и др., 2022) обсуждалось сравнение наших результатов с данными, полученными волжской экспедицией Института водных проблем РАН (Дебольский и др., 2010, 2011) в летнюю межень 2009 г. В этот сезон максимум P<sub>общ</sub> отмечался в водах Угличского и Чебоксарского водохранилищ, составляя 0.11–0.12 мг/л. Согласно исследованиям (Минева и др., 2021), в 2015–2018 гг. содержание P<sub>общ</sub> составляло похожие величины: 76–95 мкг/л в водах Ивановского водохранилища, 85–106 мкг/л – Угличского, 51–146 мкг/л – Рыбинского. По данным мониторинга, осуществляемого Гидрометеослужбой (Обзор ..., 2023, с. 107), основными

загрязнителями вод Верхней Волги в 2022 г. оказались органическое вещество (по ХПК), соединения Cu, Fe, реже Zn. Отмечается также, что в Рыбинском водохранилище, ниже Череповца, возросло загрязнение вод Mn (до 10 и 30 ПДК), что свидетельствует о загрязнении вод этого водохранилища промышленными стоками Череповецкого металлургического комбината.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты наших многолетних наблюдений за изменчивостью-стабильностью геохимических показателей речных и грунтовых (подземных) вод в бассейне оз. Селигер и вод самого озера и кратковременных пространственных съемок геохимических показателей воды нескольких акваторий Верхней Волги позволили выявить негативную роль антропогенного фактора, проявившего себя в изменении химического состава грунтовых и речных вод. Обозначились очень важные экологические проблемы для волжских вод, возникшие как следствие неотрегулированного природопользования на водосборах.

Многолетний мониторинг в бассейне оз. Селигер показал серьезные изменения химического состава грунтовых вод на территории прибрежных поселений. Здесь в воде некоторых сельских колодцев наблюдаются высокие концентрации  $P_{\text{мин}}$ , Cu, Zn, As. Очень высокое содержание фосфора в воде одного из колодцев можно рассматривать как следствие зафосфачивания почв и грунтов селитебной территории [как при избыточном внесении удобрений (Титова и др., 2011)], и последующего выщелачивания этого элемента наряду с другими в грунтовые воды. Эти результаты подтверждаются исследованиями других авторов (Лапина и др., 2014). Было обнаружено повышенное содержание  $P_{\text{общ}}$  в родниковых водах в прибрежной части Волги – от Твери до Дубны.

Химические показатели воды акваторий Верхней Волги в основном (кроме повышенного содержания Fe и Mn, обусловленного в большинстве случаев природными особенностями региона) соответствуют нормативам для рыбохозяйственных водоемов и нормам для питьевых вод. Исключения выявились для акваторий у Мышкина, Ярославля и Костромы.

Для акваторий у Мышкина и Ярославля был отмечен высокий уровень эвтрофирования. Он подтвержден повышенными здесь вдвое относительно допустимого верхнего предела для эвтрофных водоемов рыбохозяйственного назначения концентрациями фосфора в волжской воде. Источник его – поверхностные и грунтовые воды с городских территорий наряду со сбросами недостаточно очищенных коммунальных стоков.

Для акватории Волги у Костромы выявлено загрязнение вод промышленными стоками, подобное загрязнению вод р. Шексны – выше Череповца (Шилькрот, 2023). Его индикаторы – высокое, в 2–10 раз выше фоновых концентраций, содержание в воде этих акваторий Fe, Ce и Nd.

Решение выявленных гидроэкологических проблем возможно только посредством контроля и управления в природно-антропогенных ландшафтах потоками веществ и энергии, имеющих антропогенное происхождение. Для городских ландшафтов на первом месте должно быть совершенствование методов очистки коммунальных и промышленных стоков, сбрасываемых в водотоки и водоемы. Для всех природно-антропогенных ландшафтов целесообразно создание в прибрежной зоне рек и водоемов лесных защитных барьеров для перехвата поступающих с водосборов загрязнений.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 “Биотические, географо-гидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования”.

## FUNDING

The research was carried out within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography of RAS FMWS-2024-0007 “Biotic, geographical-hydrological and landscape environmental assessments to create the foundations of rational nature management.”

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дебольский В.К., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Корчагина Я.П., Хрусталева Л.И., Чекмарева Е.А. Современная гидрохимическая характеристика реки Волга и ее водохранилищ // Вода. Химия и экология. 2010. № 11. С. 2–12.
- Дебольский В.К., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. Изменение химического состава воды в Волге от истока к устью в летнюю межень 2009 г. // Охрана окружающей среды и природопользование. Центр экологического контроля. 2011. № 3. С. 68–73.
- Добровольский В.В. Основы биогеохимии: Учеб. для студ. ВУЗов. М.: Изд. Центр “Академия”, 2003. 400 с.
- Кудерина Т.М., Шилькрот Г.С. Мониторинг состояния озера Селигер в новых условиях природопользования // Теория и практика восстановления внутренних водоемов: Тр. междунар. науч.-практич. конф. / отв. ред. В.А. Румянцев, С.А. Кондратьев. СПб.: Изд-во “Лема”, 2007. С. 224–230.

- Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В. Родники долины Верхней Волги и ее притоков: условия формирования, режим, охрана. Тверь: Изд-во ООО "Купол", 2014. 256 с.
- Минеева Н.М., Степанова И.Э., Семадени И.В. Биогенные элементы и их роль в развитии фитопланктона // Биология внутренних вод. 2021. № 1. С. 24–34. <https://doi.org/10.31857/S0320965221010095>
- Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги / под ред. В.Ю. Георгиевского. Ливны, 2015. 129 с.
- Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет, 2023. 215 с. <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/> (дата обращения 27.12.2023).
- Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное назначение. Утвержден Министром сельского хозяйства РФ. М.: Изд-во ВНИРО, 2016. 304 с.
- Покровская Т.Н., Россолимо Л.Л. Черты евтрофирования озера Селигер / Типология озер. М., 1967. С. 27–52.
- Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. 335 с.
- Структура и функционирование геосистемы озера Селигер в современных условиях. СПб.: Недра, 2004. 106 с.
- Суслова С.Б., Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М. Многолетняя динамика химического состава поверхностных и грунтовых вод бассейна оз. Селигер // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Тр. IV Всерос. науч. конф. с международ. уч. / отв. ред. М.В. Болгов. 2015. С. 451–453.
- Титова В.И., Варламова Л.Д., Дабахова Е.В., Бахарев А.В. Изучение фосфорных удобрений и фосфатного состояния почв // Агрохимический вестн. 2011. № 2. С. 3–6.
- Шилькрот Г.С. Волго-Балтийский водный путь: эколого – геохимическая оценка акваторий // Проблемы региональной экологии. 2023. № 1. С. 38–43. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-1-38-43>
- Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М., Кудиков А.В. Экология Верхней и Средней Волги: пространственный и временной аспект // Проблемы региональной экологии. 2022. № 2. С. 43–48. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2022-2-43-48>
- Leonov A.V., Shaporenko S.I., Shilkrot G.S., Yasinsky S.V. Geoecological characteristics of lake Seliger // Water Res. 2002. Vol. 29 (2). P. 133–148. <https://doi.org/10.1023/A:1014992918741>
- Saura M., Frisk T., Sallantausta T., Bilalerdin A. The effects of forest fertilization on the small polyhumic lake // SIL Proceedings. 1922–2010. Vol. 27. № 5. P. 3029–3033. <https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898233>

## Ecological and Geochemical Assessment of the Upper Volga Water Bodies

G. S. Shilkrot<sup>a,\*</sup>, T. M. Kuderina<sup>a</sup>, and S. B. Suslova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*\*e-mail: gal-shilkrot@yandex.ru*

The results of the survey (spatial scanning) in the summer of 2021–2022 of the ecological and geochemical state of the waters of the Upper Volga from Lake Seliger to the Gorky Reservoir (city of Chkalovsk) and the long-term (since 2002) geochemical monitoring of the lake, river and ground waters of the Lake Seliger basin are discussed. They made it possible to reasonably identify two serious environmental problems for the water areas of the Volga River as a result of unregulated nature management. These are the eutrophication of waters near the cities of Myshkin and Yaroslavl. Here the phosphorus content in the water is 400–500 mcg P/l. Sources of phosphorus are urban areas, settlements, recreation. This is confirmed by the high content of phosphorus in the groundwater of the coastal settlements of the Selizarovsky part of Lake Seliger. Similarity is for the spring waters of the Volga River valley between the cities of Tver and Dubna. Pollution of the Volga River near the city of Kostroma with industrial waste has been detected. The same is observed in the waters of the Sheksna River above the city of Cherepovets. Indicators of pollution are Fe, Ce, Nd. Solution of environmental problems: for cities and industries it is improvement of waste water treatment methods; for all natural-anthropogenic landscapes it is creation of forest barriers in the coastal part of rivers and reservoirs from incoming pollution.

*Keywords:* ecology, geochemical state, microelements, phosphorus, eutrophication, pollution

## REFERENCES

- Debol'skii V.K., Grigor'eva I.L., Komissarov A.B. The change in the chemical composition of water in the Volga from the source to the mouth in the summer of 2009. *Okhr. Okruzh. Sredy Prirodopol'. Tsentr Ekol. Kontrol.*, 2011, no. 3, pp. 68–73. (In Russ.).
- Debol'skii V.K., Grigor'eva I.L., Komissarov A.B., Korchagina Ya.P., Hrustaleva L.I., Chekmareva E.A. Current hydrochemical description of Volga River and its reservoirs. *Voda. Khim. Ekol.*, 2010, no. 11, pp. 2–12.
- Dobrovolskii V.V. *Osnovy biogeokhimii: Uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenii.* [Fundamentals of Biogeochemistry: Manual for High. Educ. Inst.]. Moscow: Izd. Tsentr "Akademiya", 2003. 400 p.
- Kuderina T.M., Shilkrot G.S. Monitoring of the state of Lake Seliger in the new condition of nature management. In *Teoriya i praktika vosstanovleniya vnutrennikh vodoemov: Tr. mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Theory and Practice of Restoration of Internal Waters. Proc. of the Int. Sci.-Pract. Conf.]. Rumayntsev V.A., Kondrat'ev S.A., Eds. St. Petersburg: Lema Publ., 2007, pp. 224–230. (In Russ.).
- Lapina E.E., Akhmet'eva N.P., Kudrayshova V.V. *Rodniki doliny Verkhnei Volgi i ee pritokov: usloviya formirovaniya, rezhim, okhrana* [Springs of Upper Volga Valley and Its Tributaries: Formation, Conditions, Regime, Protection]. Tver. Kupol Publ., 2014. 256 p.
- Leonov A.V., Shaporenko S.I., Shil'krot G.S., Yasinskii S.V. Geoecological characteristics of Lake Seliger. *Water Resour.*, 2002, vol. 29, pp. 133–148. <https://doi.org/10.1023/A:1014992918741>
- Mineeva N.M., Stepanova I.E., Semadeni I.V. Biogenic elements and their significance in the development of phytoplankton in reservoirs of the Upper Volga. *Inland Water Biol.*, 2021, vol. 14, pp. 32–42. <https://doi.org/10.1134/S1995082921010089>
- Nauchno-prikladnoi spravochnik: Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki rek basseina Verkhnei Volgi* [Scientific and Applied Reference: The Main Hydrological Characteristics River Basins of the Upper Volga River]. Georgievskii V.Yu., Ed. Livny, 2015. 129 p.
- Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2022 god* [Review of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2022]. Moscow: Rosgidromet, 2023. 215 p.
- Perechen' rybokhozyaistvennykh normativov predel'no-dopustimyykh kontsentratsii (PDK valley) i orientirovochno bezopasnykh urovnei vozdeistviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody, vodnykh ob'ektov, imeyushchikh rybokhozyaistvennoe znachenie* [List of Fishery Standards for Maximum Permissible Concentrations (MPC) and Indicative Safe Levels of Exposure (SLI) of Harmful Substances for Water in the Water Bodies that Have a Fishery Purpose]. Moscow: VNIRO Publ., 1999. 304 p.
- Pokrovskaya T.N., Rossolimo L.L. Features of eutrophication of Lake Seliger. In *Tipologiya ozer* [Typology of Lakes]. Moscow, 1967, pp. 27–52. (In Russ.).
- Spravochnik po geokhimicheskim poiskam poleznykh iskopaemykh* [Handbook of Geochemical Mineral Prospecting]. Moscow: Nedra Publ., 1990. 335 p.
- Struktura i funktsionirovanie geosistemy ozera Seliger v sovremennykh usloviyakh* [Structure and Functioning of the Geosystem of Lake Seliger in Modern Conditions]. St. Petersburg: Nedra Publ., 2004. 106 p.
- Suslova S.B., Shilkrot G.S., Kuderina T.M. Long-term dynamic of the chemical composition of surface and ground waters of the Lake Seliger basin. In *Fundamental'nyye problemy vody i vodnykh resursov: Trudy IV Vseross. konf. s mezhd. uchastiem* [Fundamental Problems of Water and Water Resources. Proc. of 4th All-Russian Conf. with Intern. Participation]. Bolgov M.V., Ed. 2015, pp. 451–453. (In Russ.).
- Shilkrot G.S. The Volgo-Baltic Waterway: ecological and geochemical estimation of the water areas. *Probl. Reg. Ekol.*, 2023, no. 1, pp. 38–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-1-38-43>
- Shilkrot G.S., Kuderina T.M., Kudikov A.V. Ecology of the Upper and Middle Volga: spatial and temporal aspects. *Probl. Reg. Ekol.*, 2022, no. 2, pp. 43–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2022-2-43-48>
- Saura M., Frisk T., Sallantaus T., Bilalerdin A. The effects of forest fertilization on the small polihumic lake. *SIL Proc.*, 2010, vol. 27, no. 5, pp. 3029–3033. <https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898233>
- Titova V.I., Varlamov L.D., Dabahova E.V., Baharev A.V. Study of phosphate fertilizers and phosphate status of soils. *Agrokhim. Vestn.*, 2011, no. 2, pp. 3–6. (In Russ.).

УДК 502.4

## АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ООПТ ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ СЕВАСТОПОЛЯ)

© 2024 г. И. Ф. Петрова\*

*Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия**\*e-mail: shushkovo@mail.ru*

Поступила в редакцию 09.11.2023 г.

После доработки 16.05.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Предметом изучения являются две особо охраняемые природные территории (ООПТ), расположенные в центральной, наиболее урбанизированной части Севастополя, – “Ушакова балка” и “Максимова дача”, на которые оказывается значительное антропогенное влияние. Его оценка базируется на результатах полевых работ и обобщении литературных, картографических источников, космических снимков, которые положены в основу картографирования источников воздействия и сформированной в пределах ООПТ дорожно-тропиночной сети. Проанализированы следующие виды загрязнения территории: химическое, физическое (радиационное, электромагнитное, шумовое, световое), биологическое, визуальное. Химическое загрязнение атмосферы происходит в основном из-за автотранспорта, а поверхностных вод – главным образом с ливневыми стоками. Из всех источников электромагнитного загрязнения преобладают ЛЭП; шумовое загрязнение исходит преимущественно от транспортных магистралей; световое – возникает в ночное время и суммируется от многочисленных источников по периферии с учетом светового купола над городом; радиационное загрязнение фактически отсутствует. Биологическое загрязнение, в том числе видами-трансформерами, приводит к сокращению биоразнообразия и изменению естественных сообществ. Видеозагрязнение рассматривается на двух уровнях: искажение общей панорамы природного ландшафта и отдельных локальных участков. Значительное негативное экологическое воздействие оказывает стихийная рекреация. Она приводит к появлению густой хаотично расположенной дорожно-тропиночной сети, многочисленных кострищ, вытоптанных площадок, замусоренности, уничтожению деревьев и кустарников, цветов; усиливается фактор беспокойства, что негативно влияет на животное население. Возрастающее влияние человека в значительной степени продолжает изменять природные комплексы, а местами приводит к их деградации. Ставится вопрос о разрешении конфликтов между природоохранным и рекреационным природопользованием.

*Ключевые слова:* ООПТ, биологическое загрязнение, визуальное загрязнение, световое загрязнение, химическое загрязнение, шумовое загрязнение, электромагнитное загрязнение, рекреационная нагрузка, Севастополь

DOI: 10.31857/S2587556624040064 EDN: RPRMNU

### ВВЕДЕНИЕ

Первыми ООПТ Севастополя были созданные в 1947 г. памятники природы “Роцца Пизундской сосны и древовидного можжевельника на мысе Айя” (в 1982 г. вошел в состав ландшафтного заказника “Мыс Айя”), “Скельская пещера” и “Каньон реки Чёрной” (в 1990 г. они вошли в состав ландшафтного заказника общегосударственного значения “Байдарский”).

В настоящее время ООПТ Севастополя представлены 19 объектами регионального значения: 1 природный парк, 6 заказников (в том числе 5 ландшафтных и 1 общезоологический), 12 памят-

ников природы (в том числе 4 гидрологических, 1 комплексный, 1 ботанический)<sup>1</sup>, и их число постоянно растет. Например, в 2022 г. были созданы три памятника природы (“Фисташки у бухты Круглая”, “Платан Палласа”, “Фисташки у села Камышлы”); в 2023 г. – два (“Озерные дубы”, «Дубы “Стражи Бельбека»»). В списке перспек-

<sup>1</sup> Приказ Департамента природных ресурсов и экологии города Севастополя от 16.01.2024 № ПР/7 “Об утверждении Перечня особо охраняемых природных территорий регионального значения города Севастополя на 2024 год”. <https://spn.sev.gov.ru/deyatelnost/osobo-okhranyaemye-prirodnye-territorii-sevastopolya/normativnye-pravovye-i-inye-akty/> (дата обращения 15.04.2024).

тивных – более 30 ООПТ<sup>2,3</sup> (Каширина, Новиков, 2017; Мильчакова и др., 2022).

Общая площадь ООПТ Севастополя – 25027.78 га, из них суша – 24310.15 га, акватория – 717.63 га. Однако, несмотря на значительную долю площадей, занимаемых ООПТ (доля охраняемых земель приближается к 30%), в городе отмечается ряд проблем, которые не позволяют оценить природоохранную ситуацию как благополучную. К числу основных проблем можно отнести низкий статус ООПТ (отсутствие режимов полного заповедания), невысокую ландшафтно-экологическую и биологическую репрезентативность большинства охраняемых территорий, неравномерность их распределения, небольшие размеры ряда существующих и перспективных ООПТ, отсутствие экологических коридоров между ними, отсутствие в большинстве случаев буферных охранных зон, длительную историю освоения и высокую современную антропогенную нагрузку. Помимо этого, много проблем связано с расположением некоторых ООПТ в пределах урбанизированных территорий или рядом с ними.

В государственной программе “Экология и охрана окружающей среды города Севастополя”<sup>4</sup> указано, что основными приоритетами в сфере сохранения биологического разнообразия являются, в том числе, обеспечение долговременного сохранения природных экологических систем, видового разнообразия в естественной среде обитания с особым вниманием к редким и находящимся под угрозой исчезновения объектам животного и растительного мира и местам их обитания; в сфере регулирования качества окружающей среды – снижение антропогенного воздействия на окружающую среду. Это требует подробной инвентаризации антропогенного воздействия, в том числе на ООПТ города.

Целью настоящей работы является оценка всех типов антропогенного воздействия на городские ООПТ на примере двух ООПТ: “Ушакова балка” и “Максимова дача”. Они в отличие от прочих ООПТ находятся в центре города в пределах городской застройки и в наибольшей степени испытывают на себе антропогенное влия-

ние. Их выбор также обусловлен природными особенностями: это единственные ООПТ, расположенные в ландшафтной зоне предгорных разнотравных степей, шибляковых зарослей, лесостепи и дубовых лесов, в ландшафтном поясе шибляково-разнотравных степей и лесостепей на возвышенных аккумулятивных и денудационных равнинах и мелкогогорье; они занимают 0.4% площади этого пояса (Каширина, Голубева, 2018; Особо ..., 2020; Позаченюк и др., 2020).

Исследователями накоплен большой материал по мониторингу “Ушаковой балки” и “Максимовой дачи”, но большая часть работ связана с изучением их биологического разнообразия (Красная ..., 2018; Кукушкин и др., 2019; Особо ..., 2020; Панкеева и др., 2020; Ребриев, Соколова, 2020; Савицкий, 2020; Шиловская, Гончаренко, 2016 и др.). При этом мало исследований, касающихся оценки состояния других компонентов природной среды, они носят фрагментарный характер и не дают полной картины результатов антропогенного влияния на “Ушакову балку” и “Максимову дачу”. Для “Максимовой дачи” некоторые параметры загрязнения атмосферного воздуха изучались в 2018–2019 гг. (Косовская и др., 2019; Косовская и др., 2020), загрязнения подземных вод – в 2013 г. (Сигора и др., 2018); в 2013–2015 гг. (Косинова и др., 2016); в 2013–2018 гг. (Сигора и др., 2019); загрязнения почв – в 2018–2019 гг. (Косовская и др., 2019).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки антропогенного влияния на ООПТ были проанализированы литературные источники (включая интернет-источники), современные и старинные карты, архивные материалы дистанционного зондирования, нормативные документы, собственные наблюдения автора (полевые работы были проведены в сентябре 2021 г.). В ходе полевых работ проводились маршрутные описания ландшафтов и их нарушенности, на снимках высокого разрешения фиксировались встреченные инвазионные виды, записывались GPS-треки дорог и троп. При оценке изменений растительного покрова “Ушаковой балки” использовались редкие сохранившиеся фотографии<sup>5, 6, 7</sup>. Для ООПТ были созданы карты источников антропогенного воздействия (масштаб 1 : 5000) и дорожно-тропичной сети (масштаб 1 : 1000). В качестве основы использовались имеющиеся в общем доступе

<sup>2</sup> Закон города Севастополя от 09.09.2019 № 544-ЗС “Об утверждении перечня перспективных особо охраняемых природных территорий регионального значения города Севастополя”. [https://sevzakon.ru/view/laws/bank/2019/zakon\\_n\\_544\\_zs\\_ot\\_09\\_09\\_2019/opublikovanie/](https://sevzakon.ru/view/laws/bank/2019/zakon_n_544_zs_ot_09_09_2019/opublikovanie/) (дата обращения 15.04.2024).

<sup>3</sup> Концепция пространственного развития города федерального значения Севастополь. Т. 1. ГУП НИИПИ Генплана Москвы. 24.04.2015. 179 с. <https://issuu.com/yelbayev/docs/> (дата обращения 15.04.2024).

<sup>4</sup> Государственная программа города Севастополя “Экология и охрана окружающей среды города Севастополя” (в ред. Постановлений Правительства Севастополя от 29.12.2023 № 678-ПП, от 21.03.2024 № 88-ПП). <https://docs.cntd.ru/document/578052599?ysclid=lvxl3orb4976922150> (дата обращения 15.04.2024).

<sup>5</sup> Ретро-фотографии стран и городов. №№ 1262269, 692315, 332988. <https://pastvu.com/> (дата обращения 10.04.2024).

<sup>6</sup> История России в фотографиях. <https://m.russiainphoto.ru/map/> (дата обращения 10.04.2024).

<sup>7</sup> Севастопольский городской Форум. <https://forum.sevastopol.info/viewtopic.php?style=6&t=1213024&start=1100> (дата обращения 10.04.2024).

данные дистанционного зондирования, включая снимки высокого разрешения, данные интернет-ресурса OpenStreetMap, документы территориального планирования и градостроительного зонирования Севастополя, материалы полевых исследований. Геоинформационная обработка осуществлялась в программе MapInfo Professional 15.0. Картографические материалы представлены в проекции UTM (зона 36). Границы ООПТ взяты из кадастров ООПТ.

### УШАКОВА БАЛКА

Ботанический памятник природы регионального значения “Ушакова балка” создан в 1979 г. на площади 11,92 га с целью сохранения реликтовой рощи фисташки туполистной (*Pistacia mutica* Fisch. et C.A. Mey.) (кевовое дерево) в пределах урбанизированной территории<sup>8</sup>. Памятник природы находится в Нахимовском муниципальном округе на берегу Севастопольской бухты, между Корабельной бухтой и Килен-бухтой в одноименной балке, названной в честь русского флотоводца Ф.Ф. Ушакова. От Севастопольской бухты устье балки отделено насыпью железной дороги высотой 15,6 м. Охранная зона памятника природы не установлена.

Растительный покров представлен формациями *Pistacia mutica* и *Fraxinus oxycarpa* Willd. *Pistacia mutica* занесена в Красную книгу России; она растет на ровном выположенном дне балки и среднекрутых (до 35°–20°) склонах, небольшие участки отмечены на прилегающем к балке водоразделе. Фауна изучена не полностью. В подобных урбанизированных биотопах встречаются домашние животные, в том числе одичавшие, а также синантропные виды. В Красную книгу Севастополя занесены обитающие здесь улитка крымская (*Helix lucorum taurica* Krynicky, 1833); геккон средиземноморский [*Mediodactylus kotschy* (Steindachner, 1870) ssp.: *M. k. danilewskii* (Strauch, 1887)]; полоз леопардовый [*Zamenis situla* (Linnaeus, 1758)]; ящерица прыткая [*Lacerta agilis* (Linnaeus, 1758) ssp.: *Lacerta agilis tauridica* Suchow, 1926]; желтопузик безногий (*Pseudopus apodus* (Pallas, 1775)] (Красная ..., 2018).

#### Антропогенное влияние в прошлом

По приказу Ф.Ф. Ушакова приблизительно в 1790 г. в балке на окраине строящегося города была заложена дубовая роща, разбит сад для гуляний, построены беседки, проложены дорожки между деревьями. В период первой обороны

Севастополя в 1854–1855 гг. роща была в значительной мере вырублена для создания оборонительных укреплений, потом на этом месте было кладбище, до нашего времени не сохранившееся.

Анализ старинных карт и планов города показал, что уже в первые десятилетия после основания города Ушакова балка стала полноправным городским элементом, наряду с жилыми кварталами, промышленными территориями, военными укреплениями и пр. (рис. 1) (Петрова, 2021).

После окончания Крымской войны Ушакова балка оставалось глухим и безлюдным местом вплоть до начала XX в., когда командование Черноморского флота вновь организовало здесь зону отдыха для матросов и рабочих Лазаревского Адмиралтейства (впоследствии Севастопольский Морской завод). В советское время в середине 1950-х годов моряки и рабочие Морского завода восстановили парк, в том числе высадили *Pistacia mutica*, построили летний кинотеатр и танцевальную площадку, карусели (от этих построек до нашего времени сохранились только развалины). Ушакова балка вновь стала популярной в городе зоной отдыха<sup>9</sup>.

Таким образом, ландшафты “Ушаковой балки” неоднократно видоизменялись. Литогенная основа, рельеф и почвенный покров регулярно нарушались при создании оборонительных сооружений, в ходе боевых действий, при создании во второй половине XIX в. кладбища, при строительстве в советское время и прокладке дорог и тропинок. Растительность уничтожалась и вновь воссоздавалась, причем высаживались не только аборигенные виды, но и экзоты. Негативное влияние на растительность оказывал выпас коз и рекреация.

#### Антропогенное влияние в настоящее время

Территория “Ушаковой балки” подвергается значительному антропогенному влиянию в связи с ее местоположением в одном из самых плотно застроенных районов Севастополя. С запада, востока и юга Ушакова балка непосредственно граничит с городскими кварталами. Основная нагрузка – рекреационная. Вблизи “Ушаковой балки” сохранился ряд объектов культурного наследия, которые вместе с ООПТ привлекают в этот район города, который называется Корабельная сторона (бывшая Корабельная слобода), многочисленных туристов и отдыхающих. Непосредственно у границ балки расположены исторически ценные объекты: жилые дома 1930 г., 1949–1958 гг. на улице Адмирала Макарова, склады середины XIX в. на улице Хрулева, памятник защитникам первого

<sup>8</sup> Кадастровое дело № 005. Ботанический памятник природы регионального значения “Ушакова балка”. <https://spn.sev.gov.ru/deyatelnost/osobo-okhranyaemye-prirodnye-territorii-sevastopolya/gosudarstvennyu-kadastr-oopt-regionalnogo-i-mestnogo-znacheniya-goroda-sevastopolya/kadastr-oopt-2022-god/> (дата обращения 03.03.2024).

<sup>9</sup> Хрулева И. Ушакову балку в 2020 году благоустроить не будут. Севастопольская газета. 06.02.2020. <https://sevastopol.press/2020/02/06/ushakovu-balku-v-2020-godu-blagoustrivat-nebudut/> (дата обращения 10.04.2024).

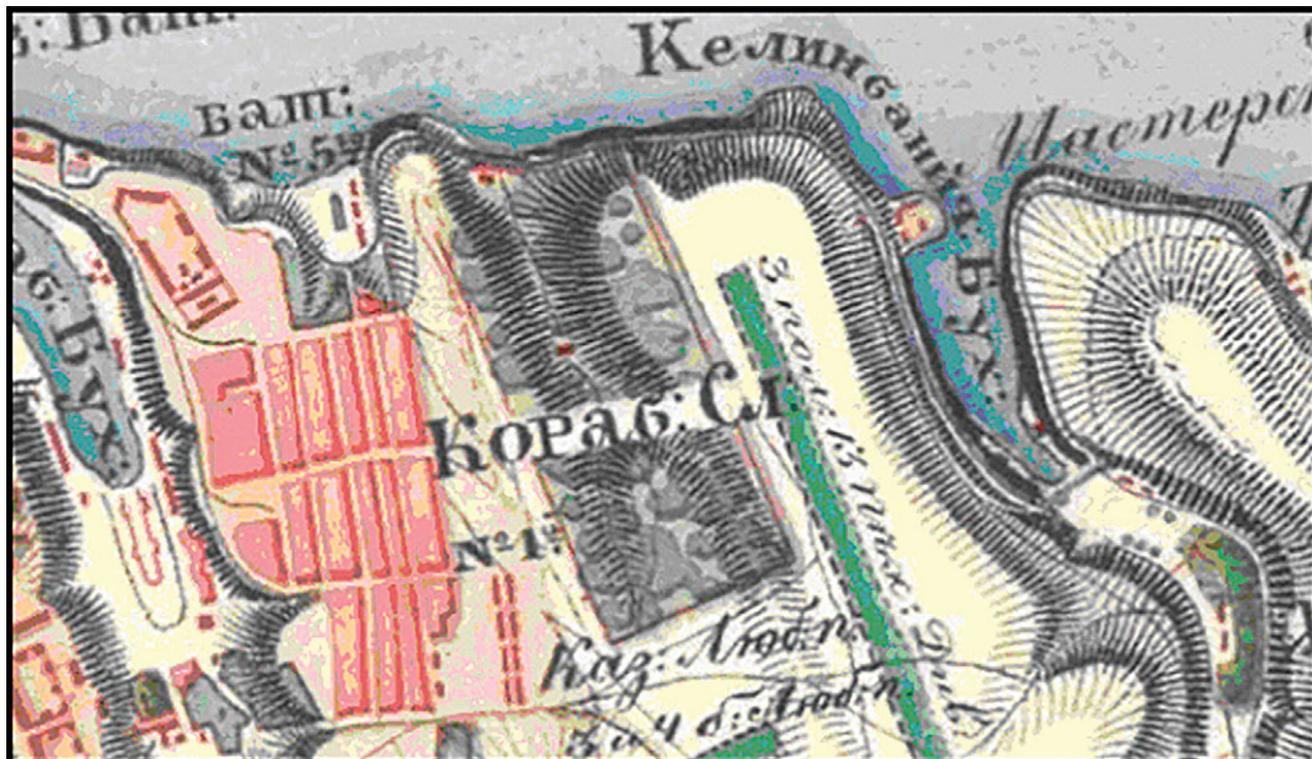


Рис. 1. Фрагмент карты окрестностей г. Севастополя, 1836 г.  
Источник: (Карта ..., 1836).

бастиона в сквере на улице 1-й Бастионная, памятник защитникам второго бастиона на улице Адмирала Макарова и др.<sup>10</sup>

Стихийная нерегулируемая рекреация приводит к появлению густой хаотично расположенной тропиной сети, многочисленных кострищ, следов от установки палаток, замусоренности твердыми коммунальными отходами с отдельными микросвалками. По днищу балки проложена асфальтированная дорога, по которой машины заезжают на территорию и часто паркуются под пологом деревьев. Местами продолжается выпас коз. Все это наносит ущерб флоре и фауне, ландшафту в целом. Именно чрезмерная рекреация препятствует возобновлению *Pistacia mutica*, вызывает ослабление и гибель деревьев, что впоследствии может привести к ее замене такими породами, как *Fraxinus oxycarpa*, *Robinia pseudoacacia* L. (Шиловская, Гончаренко, 2016).

Некоторые авторы отмечают, что на территории «Ушаковой балки» проводят мероприятия, приводящие не к улучшению, а к ухудшению экологической ситуации: очистка территории, сопровождающаяся выкашиванием травы и подроста,

необдуманная посадка деревьев в 2015 г.; обрезка деревьев без учета их природоохранной и мемориальной ценности (Шиловская, Гончаренко, 2016).

## МАКСИМОВА ДАЧА

Природный парк регионального значения «Максимова дача» создан в 2013 г. на площади 83,9 га (до 2015 г. имел статус регионального ландшафтного парка местного значения). Его основная задача – сохранение биологического разнообразия редких и исчезающих видов животных и растений, занесенных в Красные книги России и г. Севастополя, и охраны среды их обитания, а также культурного наследия города<sup>11</sup>. Природный парк находится в Ленинском муниципальном округе в Хомутовой балке.

На территории природного парка выделены 3 зоны: природоохранная, рекреационная и хозяйственная, в каждой из которых установлен свой режим охраны<sup>12</sup>. В 2018 г. для предотвращения неблагоприятных антропогенных воздей-

<sup>10</sup> Приказ Министерства культуры РФ от 11 января 2016 г. № 2 «О включении города Севастополя в перечень исторических поселений федерального значения, утверждении границ территории и предмета охраны исторического поселения город Севастополь». <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201603040013> (дата обращения 03.04.2024).

<sup>11</sup> Кадастровое дело № 001. Природный парк регионального значения «Максимова дача». <https://spn.sev.gov.ru/deyatelnost/osob-okhranyaemye-prirodnye-territorii-sevastopolya/gosudarstvennyy-kadastr-oort-regionalnogo-i-mestnogo-znacheniya-goroda-sevastopolya/kadastr-oort-2022-god/> (дата обращения 03.03.2024).

<sup>12</sup> Постановление Правительства Севастополя от 29.04.2016 № 407-ПП «Об утверждении Положения о природном парке регионального значения «Максимова дача»». <https://sev.gov.ru/docs/253/21063/> (дата обращения 10.04.2024).

ствий на природные комплексы была создана охранная зона на площади 83.1 га<sup>13</sup>.

Растительный покров представлен как участками видоизмененной естественной растительности (гемиксерофильными лесами и шибляком с участием *Pistacia mutica*, *Paliurus spina-christi* Mill. и разнотравными степями), так и искусственными насаждениями. Флора парка включает 524 вида высших сосудистых растений, 38 из них имеют региональный, национальный или международный природоохранный статус (Панкеева и др., 2020). Фауна разнообразна, 21 вид животных занесен в Красную книгу Севастополя, из них 6 занесены в Красную книгу России (Красная ..., 2018).

В границах природного парка и на прилегающей к нему территории находятся объекты культурного наследия разных исторических периодов, воинские и прочие захоронения.

#### *Антропогенное влияние в прошлом*

Интенсивное освоение Хомутовой балки началось еще в античное время, о чем свидетельствуют обнаруженные руины построек античного г. Херсонес, предположительно алтари для жертвоприношений. Во время первой обороны Севастополя в районе Хомутовой балки располагались английский войска (Чикин, 2005). В балке были выкопаны многочисленные рвы, выравнивались площадки для установки палаток и барачков.

В конце XIX в. на склонах балки производилась добыча известняка, площадь карьера составляла несколько десятков гектаров. Затем была проведена рекультивация карьера, разбит парк, посажены виноградники. В 1893 г. началось строительство усадьбы, хозяйственных построек и малых архитектурных форм парка. До наших дней сохранились остатки усадебного комплекса с ландшафтным парком, созданным по проекту архитектора и художника В.А. Фельдмана. Строительные работы сопровождалась прокладкой дорог, в том числе мощеных брусчаткой, и временной узкоколейной железной дороги для подвоза земли из низовий близлежащих балок для рекультивации карьера. Строительство на территории балки продолжалось и позже. В 1935–1937 гг. на территории “Максимовой дачи” было построено здание санатория кораблестроителей в стиле конструктивизма.

Во время Великой Отечественной войны линия фронта проходила в нескольких сотнях метров от “Максимовой дачи”. В результате бомбардировок были разрушены почти все постройки на территории парка, склоны и днище балки были в

воронках от снарядов. В природном парке находится братская могила более 200 защитников Севастополя второй обороны города (1941–1942 гг.), умерших от ран в медицинских учреждениях, базировавшихся на “Максимовой даче”. В последние годы найдена братская могила жителей, казненных фашистами во время войны<sup>14</sup>.

В 1950-х годах рядом с усадебным комплексом построены завод виноградных соков и небольшой жилой массив для рабочих завода. В 1980-е годы проложен канализационный коллектор. Помимо нарушений в результате военных действий, добычи полезных ископаемых и строительства, окрестные жители активно использовали балку для выпаса скота. Например, в начале 1960-х годов выпасом были уничтожены 42 гектара молодых насаждений, заложенных для восстановления парка (Чикин, 2005). Уже в 1930-е годы Хомутовая балка была популярным местом отдыха. По воспоминаниям очевидца, отдыхающие оставляли после себя горы мусора, поломанные кусты и цветы, вытопанную траву<sup>15</sup>.

#### *Антропогенное влияние в настоящее время*

С запада, востока и юга “Максимова дача” граничит с жилой застройкой, садоводческими хозяйствами и промышленными объектами. Основная современная антропогенная нагрузка – рекреационная. Как и в “Ушаковой балке”, рекреация сопровождается появлением густой дорожно-тропиночной сети и замусоренности. По периферии территории местами наблюдается перевыпас, коммунально-бытовые стоки загрязняют подземные и поверхностные воды. Нередки стихийные пожары от незатухнувших костров. Помимо фактора беспокойства, негативное влияние на фауну оказывает хищничество домашних кошек и собак.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современные антропогенные воздействия на ООПТ, расположенные внутри урбанизированных территорий, связаны, в первую очередь, с их загрязнением, а также с интенсивной рекреационной нагрузкой. В пределах рассматриваемых ООПТ отмечен широкий спектр загрязнения: химическое, физическое (радиационное, электромагнитное, шумовое, световое), биологическое, визуальное (видеозагрязнение).

<sup>14</sup> Колесникова О., Козловский В. В деталях массового расстрела мирных жителей в Севастополе разбираются следователи СК. “Вести. Севастополь”. 27.11.2020 15:31. <https://vesti92.ru/news/novosti/v-detalyakh-massovogo-rasstrela-mirnykh-zhiteley-v/> (дата обращения 10.03.2024).

<sup>15</sup> Касаткин А.А. 2008. Судьба Максимовой дачи в Севастополе. КРЫМ.NET. 19 февраля 2008 11:56. [http://ikrim.net/news/?altname=sudba\\_maksimovoi\\_dachi\\_v\\_sevastopole&category=sevastopol-iz\\_zhizni](http://ikrim.net/news/?altname=sudba_maksimovoi_dachi_v_sevastopole&category=sevastopol-iz_zhizni) (дата обращения 28.04.2024).

<sup>13</sup> Указ Губернатора города Севастополя от 16.08.2018 № 52-УГ «О создании охранной зоны природного парка регионального значения “Максимова дача”». <https://sev.gov.ru/docs/257/57319/> (дата обращения 13.04.2024).



Рис. 2. Источники антропогенного воздействия на ботанический памятник природы “Ушакова балка”.

**Химическое загрязнение атмосферного воздуха.** Поскольку режимных наблюдений на рассматриваемых ООПТ не проводится, загрязнение атмосферного воздуха в них можно оценивать на основе данных о загрязнении атмосферного воздуха города. В наибольшей степени эти данные соответствуют состоянию атмосферного воздуха в “Ушаковой балке”, поскольку стационарный пост ФГБУ “Крымское УГМС” расположен в 600 м к северо-западу от границ ООПТ.

Суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников и от автотранспорта в последние годы постоянно растут<sup>16</sup>. Наиболее мощные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух дает автотранспорт, количество которого за последние годы увеличивается. Только собственных легковых автомобилей у жителей города (без учета туристов) увеличилось с 89.2 на 1000 чел. в 2014 г. до 261.9 в 2022 г.<sup>17</sup>. Негативное воздействие на атмосферу автотранспорта связано также с

эксплуатацией технически устаревшего автомобильного парка; низким качеством горюче-смазочных материалов; недостаточной пропускной способностью дорожно-транспортной сети; неудовлетворительным состоянием дорожного покрытия; несовершенством законодательной базы для эффективного управления и контроля автотранспорта.

Среди стационарных источников наибольший вклад в общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух города вносят объекты теплоэнергетического комплекса: Севастопольская ТЭЦ, более 120 котельных, мобильные газотурбинные электростанции.

В целом для города отмечаются небольшие превышения ПДК. Например, в 2022 г. среднегодовые концентрации взвешенных веществ составили 1.89 ПДК; диоксида серы – 1.21 ПДК; уровень загрязнения атмосферы за 2022 г. оценивался как низкий (ИЗА = 4.60)<sup>18</sup>. Оценка потенциального загрязнения атмосферы в ООПТ базировалась на анализе расположения источ-

<sup>16</sup> Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2022 год. <https://spn.sev.gov.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchey-sredy-goroda-sevastopolya/?ysclid=lnsnkzv3mn33759611> (дата обращения 15.04.2024).

<sup>17</sup> Число собственных легковых автомобилей по субъектам Российской Федерации. Федеральная служба государственной статистики. <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 19.04.2024).

<sup>18</sup> Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2022 год. <https://spn.sev.gov.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchey-sredy-goroda-sevastopolya/?ysclid=lnsnkzv3mn33759611> (дата обращения 15.04.2024).

ников загрязнения и розы ветров. Преобладающее направление ветра в холодный период года (декабрь—февраль) — северо-восточное; в теплый период (июнь—август) — восточное (Свод ..., 2020).

Ближайшими к “Ушаковой балке” стационарными источниками загрязнения являются 4 котельные: одна непосредственно вблизи северо-западной границы ООПТ, две в 50 м и одна в 180 м юго-западнее<sup>19</sup>. Транспортные источники загрязнения: юго-восточная граница “Ушаковой балки” непосредственно примыкает к оживленной трассе (Ул. Героев Севастополя), северная — к железной дороге, восточная идет вдоль улицы Адмирала Макарова (рис. 2). Преобладающие направления ветров, а также близость к акватории улучшает состояние атмосферного воздуха.

Ближайшими стационарными источниками загрязнения к “Максимовой даче” являются три котельные (в 140 м к юго-востоку, в 500 м к западу, в 750 м к юго-западу)<sup>20</sup> и три АЗС. Транспортные источники загрязнения: к югу вблизи границ проходит оживленная трасса, по которой проведена граница охранной зоны (Екатерининская ул.). Восточные, южные и юго-западные границы проходят по небольшим улицам (Каштановая, Мельникова, Абазы и др.) или по границе застройки (рис. 3).

Контроль состояния атмосферного воздуха в Хомутовой балке в 2018–2019 гг. показал, что за время исследования не выявлены превышения показателей по CO, NO<sub>2</sub>, NO, SO<sub>2</sub>, и атмосферный воздух соответствует санитарно-гигиеническим требованиям. В отдельных случаях наблюдалось кратковременное превышение показателя ПДК взвешенных веществ. После оценки суммарного уровня загрязнения с учетом эффекта суммации выявлено, что только один раз в одной точке наблюдалось превышение нормативных показателей (Косовская и др., 2019).

**Химическое загрязнение почв и поверхностных вод.** Обе ООПТ представляют собой балки, куда идет ливневой сток с прилегающих территорий, сбрасываются коммунально-бытовые стоки. Северной границей “Ушаковой балки” является железнодорожная насыпь с транспортно-пешеходным тоннелем, который был сооружен в 1874–1875 гг. для спуска именно дождевых и талых вод.

<sup>19</sup> Схема теплоснабжения города Севастополя на период до 2033 г. Актуализированная версия. <https://sev.gov.ru/docs/250/61590/> (дата обращения 10.05.2024).

<sup>20</sup> Схема теплоснабжения города Севастополя на период до 2033 г. Актуализированная версия. <https://sev.gov.ru/docs/250/61590/> (дата обращения 10.05.2024).

Смесь городских сточных вод и поверхностных вод, образованных в результате выпадения осадков, загрязняет почвы охраняемых территорий. Атмосферные осадки смывают с улиц, тротуаров, придомовых территорий, гаражей, промышленных и строительных площадок многочисленные загрязняющие вещества. Специальных исследований на этих территориях не проводилось, изучалось лишь загрязнение акваторий. Было установлено, что ливневые стоки в городе содержат большой спектр загрязняющих веществ: нефть и нефтепродукты, хлор- и фосфорорганические пестициды, полициклические ароматические углеводороды, полихлорбифенилы, поверхностно-активные вещества, биогенные соединения, ионы тяжелых металлов и др. (Беляева, 2012). Помимо этого источника загрязнения, можно указать непосредственно атмосферные осадки и ветровой перенос взвешенных веществ. Загрязнение почв не повсеместно и зависит от особенностей рельефа и литологических особенностей горных пород.

**Химическое загрязнение подземных вод.** В “Ушаковой балке” родники в настоящее время отсутствуют. В Хомутовой балке есть родник, воду из которого пьют жители не только близлежащего жилого массива, но и других районов города, поскольку родник является постоянно действующим: не пересыхает летом и не замерзает зимой. Интенсивное дачное строительство вокруг “Максимовой дачи” без создания соответствующей канализации (большинство туалетов представляют собой выгребные ямы) и оборудования ливневых стоков, замусоривание территории, мойка машин в неполюженных местах приводят к сильному загрязнению родниковой воды, особенно нитрат-ионами (среднее значение концентрации нитрат-ионов превышает предельно допустимое в 3–4 раза, в отдельных случаях — в 9 раз). За последние годы выявлена тенденция к увеличению этого загрязнения<sup>21</sup> (Косинова и др., 2016; Сигора и др., 2018; Сигора и др., 2019).

**Физические загрязнения.** К физическим загрязнениям относятся радиационное, электромагнитное, шумовое (акустическое), световое. В пределах ООПТ целенаправленная оценка этих загрязнений не проводилась, поэтому их можно оценить опосредованно через фиксацию их источников.

**Радиационное загрязнение.** Радиационная обстановка на территории Севастополя в последние годы соответствовала санитарным тре-

<sup>21</sup> Карта родников Севастополя. <https://sevrodnik.ru/> (дата обращения 15.04.2024).



Рис. 3. Источники антропогенного воздействия на природный парк регионального значения “Максимова дача”.

бованиям, соответственно, радиационное загрязнение отсутствует<sup>22, 23</sup>.

**Электромагнитное загрязнение.** Наиболее значительными источниками электромагнитного поля промышленной частоты являются электростанции, оборудование и устройства передачи, распределения и использования электроэнергии (в первую очередь ЛЭП), городской электротранспорт, железные дороги, а также базовые станции сотовой связи (местоположение последних в данной работе не рассматривается).

Вдоль восточных и юго-восточных границ “Ушаковой балки” проходит троллейбусный маршрут, а вдоль северной границы – железная дорога (см. рис. 2). Близ территории “Максимова дачи” (к югу и юго-востоку от нее) также проходит троллейбусный маршрут (см. рис. 3).

Электромагнитное загрязнение исследуемых объектов невелико и носит локальный характер. Однако исключить его из факторов загрязнений нельзя из-за отсутствия данных по базовым станциям сотовой связи и анализа их влияния на биоту.

<sup>22</sup> Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2022 год. <https://spn.sev.gov.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchey-sredy-goroda-sevastopolya/?ysclid=lnsnkv3mn33759611> (дата обращения 15.04.2024).

<sup>23</sup> Севастопольский городской метеосайт. <http://www.sevmeteo.info/radiation/> (дата обращения 10.05.2024).

**Шумовое (акустическое) загрязнение** – это любой звук, несвойственный природе. Для животного населения ООПТ этот показатель не нормирован.

Источником наибольшего шумового загрязнения рассматриваемых ООПТ являются городские транспортные магистрали. Измеренные эквивалентные и максимальные уровни звука в большинстве контрольных точек в центре Севастополя значительно превышали санитарные нормы шума на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Например, уровень постоянного шума на улице Героев Севастополя (ее продолжение проходит у границы “Ушаковой Балки”) на пересечении с улицей Николая Островского (на расстоянии 700 м от “Ушаковой Балки”) и в районе Малахова Кургана (на расстоянии 550 м от “Ушаковой Балки”) в среднем достигает 79–92 дБ, транспортная нагрузка в районе Малахова Кургана – около 510 авто/час, из них 16% – это общественный транспорт<sup>24</sup> (Косовская и др., 2019).

Для “Ушаковой балки” основной источник шума от автотранспорта – расположенная к

<sup>24</sup> Зорина В.В. Шумовое загрязнение как экологическая проблема на примере города Севастополя: Матер. Междунар. молодежного научного форума “Ломоносов-2017” / отв. ред. И.А. Алешковский, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов. М.: МАКС Пресс, 2017. [http://conf.timacad.ru/archive/Lomonosov\\_2017/data/section\\_38.htm](http://conf.timacad.ru/archive/Lomonosov_2017/data/section_38.htm) (дата обращения 10.05.2024).

юго-востоку улица Героев Севастополя. Также источниками шума являются с севера – железная дорога, с востока – улица Адмирала Макарова и проходящая по центру балки асфальтированная дорога (см. рис. 2).

Для “Максимовой дачи” основной источник шума – расположенная к югу и юго-востоку Екатерининская улица. Значительно меньше вклад от улиц Каштановая, Мельникова, Абазы и многочисленных грунтовых автодорог (см. рис. 3).

Помимо этого, источниками шума могут быть речь и смех, плач детей, музыка – все то, что часто сопровождает организованный и неорганизованный отдых. Эти привычно сопровождающие человека звуки являются раздражающим фактором для многих обитателей природных территорий. Эти шумовые источники представлены повсеместно и отличаются непредсказуемостью уровня звука и продолжительности воздействия.

**Световое загрязнение** вызывается превышением уровня естественной освещенности местности и/или изменением периода освещенности, обычного для данной территории. Избыточное и несвоевременное искусственное освещение не только изменяет условия жизни городской фауны и флоры, но и представляет серьезную угрозу для существования многих видов растительных и животных организмов (особенно ведущих ночной образ жизни), влияя на их поведение и физиологию, нарушая процессы фотопериодизма, затрудняя ориентацию животных в пространстве, вызывая и другие негативные изменения, вплоть до физической гибели организмов (например, летящих на свет насекомых).

Источники светового загрязнения ООПТ расположены преимущественно по их периферии. Это уличное освещение, наружная реклама, фары проезжающих автомобилей. Помимо этого, ночная освещенность увеличивается из-за наличия светового купола над городом<sup>25</sup>. Планируемое освещение дорожек может усугубить имеющиеся проблемы.

**Биологическое загрязнение** – это вселение чужеродных видов животных, растений и микроорганизмов в природные сообщества в результате деятельности человека (интродукции) или непреднамеренно. Оно может привести не только к сокращению биологического разнообразия, в том числе и к утрате краснокнижных видов, но и к изменениям существующих естественных сообществ вплоть до их уничтожения. По последним данным, не менее 10.2% флоры Севастополя является адвентивной (Багрикова,

Скурлатова, 2021; Скурлатова, Багрикова, 2019). Особо опасными вселившимися (инвазионными) видами являются виды-трансформеры, которые внедряются не только в измененные человеком, но и в коренные сообщества, разрушают сложившиеся взаимосвязи, замещают аборигенные виды. Многие из них могут образовать моновидовые заросли, становиться доминантами и эдификаторами. На сегодняшний день наиболее опасны следующие инвазионные виды: *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf., *Ailanthus altissima* (Mill) Swingle, *Elaeagnus angustifolia* L., *Lycium barbarum* L. (Багрикова и др., 2014; Багрикова, Скурлатова, 2021; Скурлатова, Багрикова, 2019).

Локализация изучаемых ООПТ в городе нередко приводит к тому, что домашние и одичавшие кошки и собаки уничтожают аборигенных зверей и птиц, что также является проявлением биологического загрязнения территории, наряду с выпасом скота, главным образом, коз.

Из растений-интродуцентов на территории памятника природы “Ушакова балка” произрастают *Styphnolobium japonicum* (L.) Schott, *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev., *Gleditsia triacanthos* L., *Armeniaca vulgaris* Lam. На ровной приводораздельной террасе восточного отрога встречаются мощные деревья *Cedrus atlantica* (Endl.) G. Manetti ex Carrière и *Platanus orientalis* L. Единичны *Cupressus sempervirens* L., *Pinus pallasiana* D. Don, *Morus alba* L., *Vitex agnuscatus* L. и др. Особую ценность представляет старовозрастный экземпляр *Styphnolobium japonicum*, который, по архивным документам, посажен Ф.Ф. Ушаковым<sup>26</sup>.

Опасным видом-трансформером, угрожающим биоразнообразию памятника природы, является *Ailanthus altissima*. Этот вид, ранее отмечавшийся только вблизи северо-восточной границы ООПТ, в настоящее время широко распространен на всей охраняемой территории, вдоль окрестных улиц и во дворах. Местами он доминирует, вытесняя аборигенные виды. Потенциально опасны растущие в 1 км к юго-западу экземпляры *Lycium barbarum*.

Из наиболее распространенных растений-интродуцентов на территории парка “Максимова дача” произрастают *Pinus pallasiana*, *Laburnum anagyroides* Medik., *Aesculus hippocastanum* L., *Cedrus deodara*, *Celtis occidentalis* L., *Acer platanoides* L., *Styphnolobium japonicum* и др.

<sup>25</sup> The night sky in the World. Satellite monitoring of the artificial night sky brightness and the stellar visibility. Light Pollution Science and Technology Institute. <http://www.inquinamentoluminoso.it/worldatlas/pages/> (дата обращения 10.03.2024).

<sup>26</sup> Решение исполкома Горсовета г. Севастополя от 25.12.1978 г. <http://oopt.aari.ru/doc/%D0%A0%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE-%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B0-%D0%BE%D1%82-25121978-%E2%84%9624902> (дата обращения 10.03.2024).

*Ailanthus altissima* встречается не только в пределах ООПТ, но и на прилегающих территориях, в том числе в пределах охранной зоны. Его внедрение началось с периферии и вдоль дорог. В настоящее время местами он образует густые заросли высотой 2–3 м. На южном выходящем склоне в восточной части Хомутовой балки обнаружены угрожающие биоразнообразию ООПТ заросли *Opuntia humifusa*. Потенциально опасны растущие в 1600 м к юго-востоку (в 1400 м от границ охранной зоны) заросли *Lyctium barbarum*.

Среди инвазивных видов животных для Севастополя был отмечен ряд фитофагов [*Cameraria ohridella* (Deschka and Dimic, 1986), *Corythucha ciliata* (Say, 1832), *Acizzia jamatonica* (Kuwayama, 1908), *Hyphantria cunea* (Drury, 1773) и др.]<sup>27, 28</sup>, исследование влияния которых на растительность ООПТ не проводилось, поэтому данный аспект биологического загрязнения нами не рассматривается.

**Визуальное загрязнение (видеозагрязнение)** связано с искажением визуального восприятия природного или культурного объекта и может рассматриваться на двух уровнях. На первом уровне мы имеем дело с искажением общей панорамы города. В Севастополе на законодательном уровне подлежат охране 30 панорам и пейзажных видов исторического поселения города, композиция и силуэт застройки ряда районов<sup>29</sup>. В перечень включены формы и габариты “Ушаковой балки”, ее терраса вдоль улицы Адмирала Макарова. Тем не менее регулярно предпринимаются попытки незаконного строительства. Например, в 2018 г. власти Севастополя выиграли спор в Верховном суде с застройщиком, который хотел возвести два 12-этажных дома впритык к ООПТ “Ушакова балка”<sup>30</sup>.

На втором уровне видеозагрязнение локальных участков представлено кучами мусора, автомобильными колеями, поломанными и испанскими стендами и указателями, надписями на

<sup>27</sup> Ежегодный доклад о состоянии и об охране окружающей среды города Севастополя за 2022 год. <https://spn.sev.gov.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya/doklad-o-sostoyanii-i-ob-okhrane-okruzhayushchey-sredy-goroda-sevastopolya/?ysclid=lnsnkzv3mn33759611> (дата обращения 05.05.2024).

<sup>28</sup> Чужеродные виды на территории России. [http://www.sevin.ru/invasive/invasion/insects/settled/american\\_white\\_moth.html](http://www.sevin.ru/invasive/invasion/insects/settled/american_white_moth.html) (дата обращения 06.05.2024).

<sup>29</sup> Приказ Министерства культуры РФ от 11 января 2016 г. № 2 “О включении города Севастополя в перечень исторических поселений федерального значения, утверждении границ территории и предмета охраны исторического поселения город Севастополь”. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201603040013> (дата обращения 06.04.2024).

<sup>30</sup> Абрамов С. 2018. Верховный суд запретил высотки рядом с Ушаковой балкой в Севастополе // ForPost. Новости Севастополя. 28 марта 2018 19:08. <https://sevastopol.su/news/verhovnyy-sud-zapretil-vysotki-ryadom-s-ushakovoy-balkoy-v-sevastopole> (дата обращения 06.05.2024).

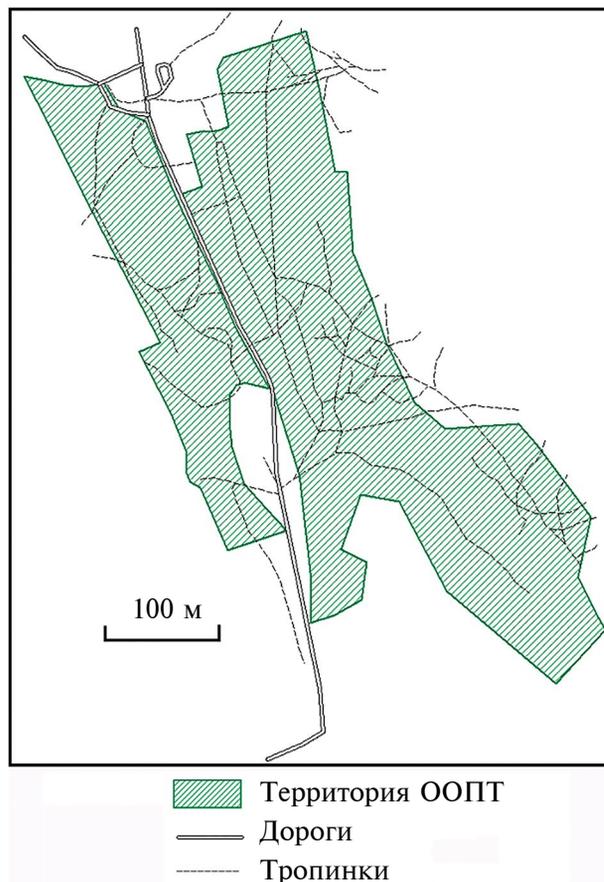


Рис. 4. Дорожно-тропиночная сеть ботанического памятника природы “Ушакова балка”.

сохранившихся памятниках архитектуры и руинах, поломанными деревьями и кустарниками и т.п. Этот вид загрязнения в наибольшей степени связан с рекреацией.

**Влияние рекреации.** Исследуемые ООПТ подвергаются значительной рекреационной нагрузке, которая наносит ущерб не только флоре и фауне, но и ландшафту в целом. Избыточная нагрузка объясняется популярностью ООПТ у горожан и многочисленных отдыхающих и туристов, а также отсутствием необходимых охраняемых мероприятий. В перспективе эта нагрузка будет возрастать в связи с увеличением городского населения и количества туристов. Рекреацию в этих ООПТ стихийная. Она приводит к появлению густой хаотично расположенной дорожно-тропиночной сети, многочисленных кустриц, следов от установки палаток, отдельных вытопанных площадок, замусоренности, возникновению пожаров, уничтожению деревьев и кустарников, цветов (сбор букетов). Усиливается фактор беспокойства, что негативно влияет на животное население.

Одним из способов оценки уровня рекреационной нагрузки является измерение густоты дорожно-тропиночной сети (Каширина, Новиков, 2016). При расчетах нами учитывались

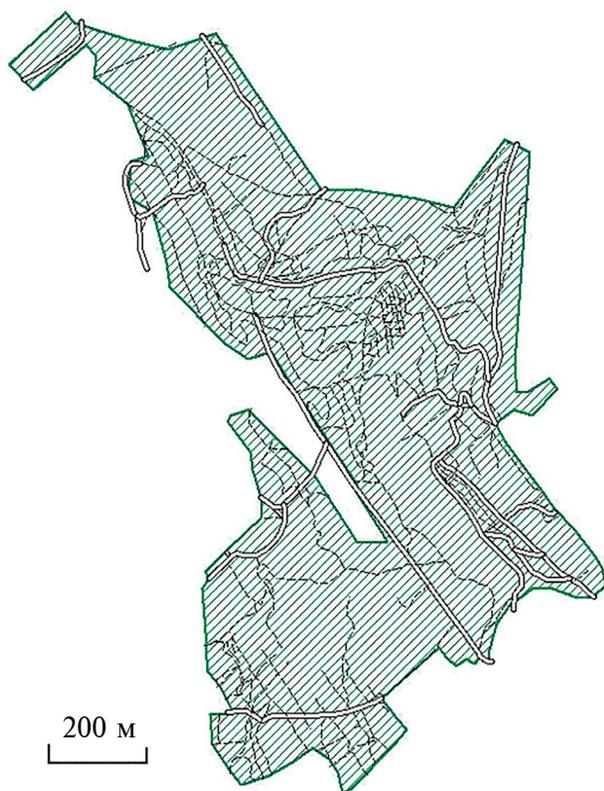


Рис. 5. Дорожно-тропиночная сеть природного парка регионального значения «Максимова дача». Условные обозначения см. на рис. 4.

дороги с покрытием и тропы шириной более 0.5 м. В «Ушаковой балке» их общая длина составила 5.5 км, что дает показатель средней густоты в 46.22 км/км<sup>2</sup> (рис. 4). Это почти в 20 раз выше, чем в заказнике «Мыс Айя», который также расположен в черте города, но в менее урбанизированной его части (Каширина, 2018). На территории «Максимова дачи» их общая длина составила 27.46 км, а средняя густота – 32.73 км/км<sup>2</sup> (рис. 5).

**Прочие виды антропогенного воздействия.** На территории исследуемых ООПТ регулярно проводится акарицидная и ларвицидная обработка, фитосанитарное карантинное обеззараживание растений и уничтожение вредителей растений (в том числе *Nurphantria cunea*), скашивание травы, санитарные рубки<sup>31</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные ландшафты природного парка «Максимова дача» и ботанического памятника природы «Ушакова балка» постоянно испыты-

вают антропогенное воздействие и являются модификациями природных геосистем.

Можно выделить следующие особенности, объединяющие эти ООПТ: расположение внутри урбанизированных территорий; небольшие размеры и изрезанные границы, что приводит к снижению эффективности охраны ландшафтов и их компонентов в пределах этих территорий; на момент заповедания их ландшафты были в значительной степени изменены человеком; с этими ООПТ тесно связаны ряд объектов культурного наследия города, которые совмещены с ними территориально или располагаются вблизи их границ; они являются популярными объектами туристской и рекреационной аттракции; в настоящее время наблюдается интенсивная антропогенная нагрузка на все компоненты заповедных ландшафтов.

Современное влияние человека многопланово и проявляется в химическом, физическом (радиационное, электромагнитное, шумовое, световое), биологическом и визуальном загрязнении, рекреационной нагрузке. Постоянно возрастающая антропогенная нагрузка значительно изменяет природные комплексы, а местами приводит к их деградации. Это служит причиной конфликтов между природоохранным и рекреационным природопользованием.

Можно выделить объективные и субъективные причины усиления антропогенной нагрузки. Основные объективные причины: расположение «Ушаковой балки» и «Максимова дачи» в пределах урбанизированной территории; постоянное увеличение населения города, особенно в летний период; наличие на ООПТ и рядом с ними объектов культурного наследия, что увеличивает количество посещений. Основная субъективная причина – менталитет местных жителей, отдыхающих и туристов, которые не соблюдают правила посещения ООПТ, используют их территорию для торговли, развлекательной и прочей деятельности, не соответствующей статусу ООПТ и т.д. Однако потенциал восстановления ландшафтов «Ушаковой балки» и «Максимова дачи» не исчерпан. Несмотря на то что их ландшафты в значительной степени преобразованы человеком, в них пока еще можно встретить виды, занесенные в Красные книги разного статуса. По данным Т.В. Панкеевой с соавторами (2020), естественная растительность днища Хомутовой балки сильно преобразована, почвы нередко погребены или перекрыты насыпными отложениями, но и в этих условиях сохранились три охраняемых вида. На прибалочных склонах на смытых коричневых почвах и насыпных грунтах обнаружены 28 охраняемых видов, на ступенчатых прибалочных склонах с садово-парковыми насаждениями и дубово-кленовым редколесьем – 10 видов. Это свидетельствует о том, что еще возможно изме-

<sup>31</sup> ГБУ г. Севастополя «Дирекция особо охраняемых природных территорий регионального значения города Севастополя и лесного хозяйства». <https://sev-oopt.ru/news/?id=1454> (дата обращения 06.05.2024).

нить существующую тенденцию и найти компромисс между природоохранным и рекреационным природопользованием на территории “Ушаковой балки” и “Максимовой дачи”.

Представленные в статье антропогенные воздействия на охраняемые территории в настоящее время инструментально не исследуются. Проводится только мониторинг редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений и грибов, занесенных в Красную книгу Севастополя. Следует предусмотреть создание соответствующей системы мониторинга антропогенного воздействия на ООПТ.

Предложенные подходы покомпонентной оценки антропогенного воздействия целесообразно использовать при изучении и других ООПТ, расположенных в пределах городской застройки. В крупных городах юга России подобных ООПТ немного. Например, в Симферополе, Ростове-на-Дону и Волгограде таковые отсутствуют; в Краснодаре и Ставрополе они представлены единично.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено по Госзаданию FMWS-2024-0009 № 1023032700199-9.

## FUNDING

The study was carried out according to the State Task FMWS-2024-0009 no. 1023032700199-9.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багрикова Н.А., Бондарева Л.В., Рыф Л.Э.* Особенности распространения *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. на территории г. Севастополя // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2014. № 139. С. 32–46.
- Багрикова Н.А., Скурлатова М.В.* Материалы к “Чёрной книге” флоры Крымского полуострова // Российский журн. биологических инвазий. 2021. № 2. С. 16–31.  
<https://doi.org/10.35885/1996-1499-2021-14-2-16-31>
- Беляева О.И.* О загрязнении ливневых стоков, поступающих в прибрежную зону Черного моря (обзор) // Уч. зап. Крымского фед. ун-та им. В.И. Вернадского. География. 2012. Т. 25 (64). № 2. С. 20–27.
- Карта окрестностей Севастополя. Снята инструментально в 1836 г. / снимали Топографы 2-го класса Унтер-Офицеры: Осипов, Иванов и Краснояров; чертил Топограф 2-го класса Унтер-Офицер Осипов — Б. м., 1836. [В англ. дюйме 1 верста; 1 : 42 000].
- Каширина Е.С.* Рекреационная дигрессия полусубтропических ландшафтов Крыма (на примере заказника “Мыс Айя”) // Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана. Сб. тезисов научно-практич. школы-конференции. Севастополь: Институт природно-технических систем, 2018. С. 58–59.
- Каширина Е.С., Голубева Е.И.* Ландшафтная репрезентативность особо охраняемых природных территорий Севастополя // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. География. 2018. № 1. С. 108–111.
- Каширина Е.С., Новиков А.А.* Использование ГИС для расчета рекреационных нагрузок на особо охраняемых природных территориях: Матер. Международ. конф. “ИнтерКарто. ИнтерГИС”. 2016. Т. 22. № 2. С. 174–181.  
<https://doi.org/10.24057/2414-9179-2016-2-22-174-181>
- Каширина Е.С., Новиков А.А.* Концептуальные подходы к формированию перспективной схемы особо охраняемых природных территорий г. Севастополя // Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами: матер. IV-ой научно-практич. молодежной конф. Севастополь: Колорит, 2017. С. 100–103.
- Косинова И.И., Сигора Г.А., Ничкова Л.А., Добровольская Е.В., Симонова Е.С.* Мониторинг загрязненности нитрат-ионами подземных вод территории городов Севастополь и Бахчисарай // Вестн. ВГУ. Серия: Геология. 2016. № 3. С. 123–127.
- Косовская М.А., Ленивенко Н.Н., Лямина Н.В.* Оценка степени защиты от акустического загрязнения примыкающих районов г. Севастополя // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2019. Сб. статей по материалам международ. научно-практич. конф. / ред. Л.И. Лукина, Н.В. Лямина. Севастополь: Севастопольский гос. ун-т, 2019. С. 829–833.
- Косовская М.А., Лямина Н.В.* Анализ состояния атмосферного воздуха ООПТ, на примере природного парка регионального значения “Максимова дача” // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 165–171.
- Косовская М.А., Лямина Н.В., Ленивенко Н.Н., Савранский Ю.П.* Контроль состояния атмосферного воздуха природного парка регионального значения “Максимова Дача” // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2019. Сб. статей по материалам международ. научно-практич. конф. / ред. Л.И. Лукина, Н.В. Лямина. Севастополь: Севастопольский гос. ун-т, 2019. С. 840–845.
- Косовская М.А., Лямина Н.В., Хренова Т.К., Раджабов В.Н.* Оценка экологического состояния почвы природного парка регионального значения “Максимова дача” // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность — 2019. Сб. статей по материалам международ. научно-практич. конф. / ред. Л.И. Лукина, Н.В. Лямина. Севастополь: Севастопольский гос. ун-т, 2019. С. 846–851.
- Красная книга города Севастополя / Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя. Калининград; Севастополь: ИД “РОСТ-ДООФК”. 2018. 432 с.

- Кукушкин О.В., Трофимов А.Г., Турбанов И.С., Слодкович В.Я. Герпетофауна города Севастополя (юго-западный Крым): видовой состав, зоогеографическая характеристика, ландшафтно-зональное распределение, современное состояние и охрана. // Трансформация экосистем. 2019. Т. 2. № 4. С. 72–129.  
<https://doi.org/10.23859/estr-190530>
- Милякова Н.А., Бондарева Л.В., Александров В.В. Природные ядра регионального экологического каркаса г. Севастополя // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 2. С. 102–114.  
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-2-102-114>
- Особо охраняемые природные территории Севастополя / под ред. Е.И. Голубевой, Е.А. Позаченюк. Симферополь: ИТ АРИАЛ, 2020. 140 с.
- Панкеева Т.В., Каширина Е.С., Свириной С.А., Миронова Н.В., Голубева Е.И. Пространственная взаимосвязь охраняемых видов растений с ландшафтной структурой природного парка “Максимова дача” // Экосистемы. 2020. № 22. С. 39–52.  
<https://doi.org/10.37279/2414-4738-2020-22-39-52>
- Петрова И.Ф. Использование старинных карт для изучения истории антропогенного влияния на ООПТ на примере ботанического памятника природы регионального значения “Ушакова балка” (г. Севастополь) // Человек и природа: приоритеты современных исследований в области взаимодействия природы и общества, серия Социально-естественная история. М.: ООО “МАКС Пресс”, 2021. Т. 44. С. 248–265.  
[https://doi.org/10.29003/m2611.s-n\\_history\\_2021\\_44/248-265](https://doi.org/10.29003/m2611.s-n_history_2021_44/248-265)
- Позаченюк Е.А., Панкеева Т.В., Панкеева А.Ю., Пизова Е.В. Состояние особо охраняемых природных территорий города федерального значения Севастополя // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2020. Т. 6 (16). Вып. 2. С. 161–171.
- Ребриев Ю.А., Соколова Т.А. Состояние популяций фисташки туполистной (*Pistacia mutica*) на некоторых ООПТ г. Севастополя. В кн.: Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана. Сб. тезисов II Всерос. научно-практич. школы-конф. (28 сентября – 02 октября 2020 года, пгт. Курортное, Феодосия, Крым, РФ). Севастополь: ФГБНУ “Институт природно-технических систем”, 2020. С. 189–190.  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44063127>
- Савицкий Р.М. Редкие виды позвоночных животных на ООПТ г. Севастополя. В книге: Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана. Сб. тезисов II Всерос. научно-практич. школы-конф. (28 сентября – 02 октября 2020 года, пгт. Курортное, Феодосия, Крым, РФ). Севастополь: ФГБНУ “Институт природно-технических систем”, 2020. С. 206–207.  
<https://elibrary.ru/item.asp?id=44063237>
- Свод правил СП 131.13330.2020 “СНиП 23-01-99 Строительная климатология” (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2020 г. N 859/пр).
- Сигора Г.А., Ляшко Т.В., Ничкова Л.А., Хоменко Т.Ю. Изменения загрязненности нитрат-ионами родников города Севастополя // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 14 (34). С. 150–156.  
<https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-150-156>
- Сигора Г.А., Хоменко Т.Ю., Ляшко Т.В., Ничкова Л.А. Проблема исследования экологического состояния родников Севастопольского региона // Экономика строительства и природопользования. 2019. № 1 (70). С. 115–123.  
<https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-150-156>
- Скурлатова М.В., Багрикова Н.А. О некоторых инвазионных видах растений города Севастополь // Бюл. ГНБС. 2019. Вып. 131. С. 49–60.  
<https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.131.2019.06>
- Чикин А.М. Максимова дача. Севастополь: Библекс, 2005. 149 с.
- Шиловская Э.А., Гончаренко В.А. Современное состояние генетического резервата *Pistacia mutica* в юго-западной части горного Крыма // Экосистемы. 2016. Вып. 8. С. 73–77.

## Anthropogenic Influence on Protected Areas of City (The Case of Sevastopol)

I. F. Petrova\*

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

\*e-mail: shushkovo@mail.ru

Sevastopol is one of the leaders among the federal subjects of the Russian Federation in terms of the percentage of its territory occupied by protected areas. However, the largest protected areas are located in the sparsely populated periphery of the city. The environmental situation in the central, most urbanized part of the city is far from optimal. Here there are two protected areas: Ushakova Balka and Maksimova Dacha. They influence the significant anthropogenic impact, which is the subject of the study. As we consider it very indicative of the cities in the south of the European part of Russia. To assess the anthropogenic impact on the protected areas, we used the results of field work, a synthesis of literary and cartographic sources, and the analysis of satellite images. All this served as a basis for mapping the sources of impact and the network of roads and paths formed within the protected area. The entire spectrum of pollution has been

analyzed: chemical, physical (radiation, electromagnetic, noise, light), biological, visual (video pollution). Chemical pollution affects the air, mainly from vehicles, soil and surface water, mainly from storm drains, and groundwater. Physical pollution is multifaceted: power lines dominate from all electromagnetic sources, noise comes mainly from highways, light occurs at night and is summed up from numerous sources along the periphery, considering the light dome over the city; at the same time, radiation is virtually absent. Biological pollution, including from transformer species, leads to a reduction in biodiversity and changes in natural communities. Visual pollution is considered on two levels: the distortion of the general panorama of the natural landscape and individual local areas. Spontaneous recreational pollution plays a special role. Its high level is facilitated by the location of protected areas within urbanized areas. The ever-increasing human influence continues to significantly change the natural complexes and, in some places, leads to their degradation. This leads to conflicts between environmental and recreational nature management.

*Keywords:* biological pollution, visual pollution, radiation pollution, recreational load, light pollution, chemical pollution, noise pollution, electromagnetic pollution

## REFERENCES

- Bagrikova N.A., Bondareva L.V., Ryff L.E. Distribution peculiarities of *Opuntia humifusa* (Raf.) Raf. in Sevastopol. *Sb. Nauch. Tr. GBNS*, 2014, vol. 139, pp. 32–46. (In Russ.).
- Bagrikova N.A., Skurlatova M.V. The materials to the “Black book” of the flora of the Crimean Peninsula. *Ross. Zh. Biol. Invasii*, 2021, no. 2, pp. 16–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.35885/1996-1499-2021-14-2-16-31>
- Belyaeva O.I. Regarding of the pollution of the storm drain in the coastal zone of the Black Sea (review). *Uchen. Zapis. Krym. Fed. Univ. Vernadskogo, Geogr.*, 2012, vol. 25, no. 2, pp. 20–27. (In Russ.).
- Chikin A.M. *Maksimova dacha* [Maksimova Dacha]. Sevastopol: Bibleks Publ., 2005. 149 p.
- Karta okrestnostei Sevastopolya. 1836. Masshtab 1: 42 000* [Map of the Surroundings of Sevastopol. 1836. Scale 1: 42 000]. Moscow, 1836.
- Kashirina E.S. Recreational digression of semi-subtropical landscapes of the Crimea (on the example of the “Cape Aya”). In *Nazemnye i morskije ekosistemy Prichernomor'ya i ikh okhrana. Sb. tezisov nauch.-prakt. shkoly-konf.* [Nature Reserve Terrestrial and Marine Ecosystems of the Black Sea Region and Their Protection. Collection of Abstracts of the Sci. and Pract. School-Conf.]. Sevastopol: Inst. Prirod.-Tekhn. Sistem, 2018, pp. 58–59. (In Russ.).
- Kashirina E.S., Golubeva E.I. The landscape representativeness of nature protection areas in Sevastopol. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2018, no. 1, pp. 108–111. (In Russ.).
- Kashirina E.S., Novikov A.A. Using of GIS for estimation of the recreational loads on natural protected areas. *InterCarto. InterGIS*, 2016, vol. 22, no. 2, pp. 174–181. (In Russ.). <https://doi.org/10.24057/2414-9179-2016-2-22-174-181>
- Kashirina E.S., Novikov A.A. The conceptual approaches to the formation of a perspective scheme of specially protected natural areas of Sevastopol. In *Ekobiologicheskie problemy Azovo-Chernomorskogo regiona i kompleksnoe upravlenie biologicheskimi resursami: materialy IV nauch.-prakt. molodezh. konf. (2–5 oktyabrya 2017g.)* [Materials of the Sci.-Pract. Youth Conf. “Ecobiological problems of the Azov-Black Sea region and Integrated Coastal Management” (2–5 October 2017)]. Sevastopol: Colorit Publ., 2017, pp. 100–103. (In Russ.).
- Kosinova I.I., Sigora G.A., Nishkova L.A., Dobrovolskaya E.V., Simonova E.S. Monitoring of pollution of nitrate ions underground water territory of cities Sevastopol and Bakhchisaray. *Vestn. Voronezh, Gos. Univ., Ser.: Geol.*, 2016, no. 3, pp. 123–127. (In Russ.).
- Kosovskaya M.A., Lenivenko N.N., Lyamina N.V. Assessment of the degree of protection against acoustic pollution in the main districts of the Sevastopol. In *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2019. Sb. statei po materialam mezhdun. nauch.-prakt. konf.* [Environmental, Industrial and Energy Safety – 2019. Collection of Articles Based on the Materials of the International Sci. and Pract. Conf.]. Sevastopol: Sevastopol. Gos. Univ., 2019, pp. 829–833. (In Russ.).
- Kosovskaya M.A., Lyamina N.V. Assessment of the state of atmospheric air in a natural park of regional significance “Maximov dacha”. *Energet. Ustanovki Tekhn.*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 165–171. (In Russ.).
- Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Lenivenko N.N., Savranskii Yu.P. Monitoring of the state of atmospheric air of the natural park of regional significance “Maksimova Dacha”. In *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2019. Sb. statei po materialam mezhdun. nauch.-prakt. konf.* [Environmental, Industrial and Energy Safety – 2019. Collection of Articles Based on the Materials of the International Sci. and Pract. Conf.]. Sevastopol: Sevastopol. Gos. Univ., 2019, pp. 840–845. (In Russ.).
- Kosovskaya M.A., Lyamina N.V., Khrenova T.K., Radyabov V.N. Assessment of environmental condition soils of natural park of the regional value “Maksimova Dacha”. In *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2019. Sb. statei po materialam mezhdun. nauch.-prakt. konf.* [Environmental, Industrial and Energy

- Safety – 2019. Collection of Articles Based on the Materials of the International Sci. and Pract. Conf.]. Sevastopol: Sevastopol. Gos. Univ., pp. 846–851. (In Russ.).
- Krasnaya kniga goroda Sevastopolya* [The Red Book of the City of Sevastopol]. Kaliningrad; Sevastopol: ROST-DOAFK Publ., 2018. 432 p.
- Kukushkin O.V., Trofimov A.G., Turbanov I.S., Slodkevich V.Ya. Herpetofauna of Sevastopol city (southwestern Crimea): species composition, zoogeographic analysis, landscape-zonal distribution, current status and protection. *Transform. Ekosis.*, 2019, vol. 2, no. 4, pp. 72–129. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.23859/estr-190530>
- Milchakova N.A., Bondareva L.V., Alexandrov V.V. Core areas in the structure of the regional ecological framework of Sevastopol City. *Yug Ross. Ekol. Razvit.*, 2022, vol. 17, no. 2, pp. 102–114. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-2-102-114>
- Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Sevastopolya* [Specially Protected Natural Areas of Sevastopol]. Simferopol: IT ARIAL Publ., 2020. 140 p.
- Pankeeva T.V., Kashirina E.S., Svirin S.A., Mironova N.V., Golubeva E.I. Spatial relationship of protected plant species with the landscape structure of the Maksimova Dacha Nature Park. *Ekosis.*, 2020, no. 22, pp. 39–52. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.37279/2414-4738-2020-22-39-52>
- Petrova I.F. The use of ancient maps to study the history of anthropogenic influence on protected areas on the example of the botanical nature monument of regional significance “Ushakov Beam” (Sevastopol). In *Chelovek i priroda: priorityty sovremennykh issledovaniy v oblasti vzaimodeystviya prirody i obshchestva, seriya Sotsioestestvennaya istoriya. T. 44* [Man and Nature: Priorities of Contemporary Research in the Field of Interaction Between Nature and Society, Socio-Natural History Series. Vol. 44]. Moscow: MAKS Press Publ., 2021, pp. 248–265. (In Russ.).  
[https://doi.org/10.29003/m2611.s-n\\_history\\_2021\\_44/248-265](https://doi.org/10.29003/m2611.s-n_history_2021_44/248-265)
- Pozachenyuk E.A., Pankeeva T.V., Pankeeva A.Yu., Pizova E.V. The state of protected areas of the city of federal significance of Sevastopol. *Geopol. Ecogeodinamika Reg.*, 2020, vol. 6, no. 2, pp. 161–171. (In Russ.).
- Rebriev Yu.A., Sokolova T.A. The state of pistachio (*Pistacia mutica*) populations in some protected areas of Sevastopol. In *Nazemnyye i morskije ekosistemy Prichernomor'ya i ikh okhrana. Sb. tezisov II Vseross. nauch.-prakt. shkoly-konf. (28 sentyabrya – 02 oktyabrya 2020 goda, pgt. Kurortnoe, Krym, RF)* [Terrestrial and Marine Ecosystems of the Black Sea Region and Their Protection. Collection of Abstracts of the 2d All-Russian Sci. and Pract. School-Conf. (28 September – 02 October 2020, Kutortnoe, Cremea)]. Sevastopol: Inst. Prirod.-Tekhn. Sistem, 2020, pp. 189–191. (In Russ.).
- Savitskii R.M. Rare species of vertebrates in protected areas of Sevastopol. In *Nazemnyye i morskije ekosistemy Prichernomor'ya i ikh okhrana. Sb. tezisov II Vseross. nauch.-prakt. shkoly-konf. (28 sentyabrya – 02 oktyabrya 2020 goda, pgt. Kurortnoe, Krym, RF)* [Terrestrial and Marine Ecosystems of the Black Sea Region and Their Protection. Collection of Abstracts of the 2d All-Russian Sci. and Pract. School-Conf. (28 September – 02 October 2020, Kutortnoe, Cremea)]. Sevastopol: Inst. Prirod.-Tekhn. Sistem, 2020, pp. 206–207. (In Russ.).
- Set of Rules SP 131.13330.2020 “SNiP 23-01-99 Construction climatology”. Approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation no. 859/pr dated December 24, 2020.
- Shilovskaya E.A., Goncharenko V.A. The current state of genetic reserves of *Pistacia mutica* in south-west part of Mountain Crimea. *Ekosis.*, 2016, no. 8, pp. 73–77. (In Russ.).
- Sigora G.A., Khomenko T.Yu., Lyashko T.V., Nichkova L.A. The problem of the study of the ecological condition of springs of the Sevastopol region. *Ekonom. Stroitel. Prirodopol.*, 2019, no. 1, pp. 115–123. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-150-156>
- Sigora G.A., Lyashko T.V., Nichkova L.A., Khomenko T.Yu. Changes of pollution by nitrate-ions of springs of Sevastopol city. *Sist. Kontrol. Okruzh. Sredy*, 2018, no. 14, pp. 150–156. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.33075/2220-5861-2018-4-150-156>
- Skurlatova M.V., Bagrikova N.A. About some invasive plant species of Sevastopol. *Byull. GNBS*, 2019, no. 131, pp. 49–60. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.25684/NBG.boolt.131.2019.06>

УДК 556.535.8

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ВОДОСБОРОВ МОРЕЙ, ОМЫВАЮЩИХ ЕВРОПЕЙСКУЮ ТЕРРИТОРИЮ РОССИИ

© 2024 г. Н. И. Коронкевич<sup>1,\*</sup>, К. В. Лукьянов<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

\*e-mail: koronkevich@igras.ru

\*\*e-mail: kirill.lukyanov.96@mail.ru

Поступила в редакцию 14.03.2024 г.

После доработки 27.06.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

В статье рассматривается пространственно-временное распределение влияния водохозяйственной деятельности на величину водных ресурсов и качество вод бассейнов морей, омывающих Европейскую территорию страны. В качестве показателя водных ресурсов принят средний многолетний речной сток. Оценивается влияние на него водозабора и безвозвратного водопотребления, а на качество вод – сточных вод (включая возвратные воды с орошаемых полей) как одного из главных источников загрязнения водных ресурсов. Водопотребление и объем сточных вод определены за два года – 1992 г. (время наибольшего антропогенного воздействия для большинства регионов России) и 2020 г. (характеризует современное водопотребление). В основу расчета положены данные водохозяйственной статистики из различных справочников. Показано существенное (почти в два раза) снижение антропогенного воздействия на водные ресурсы в 2020 г. по сравнению с 1992 г. При этом, как и прежде, наиболее напряженная водохозяйственная и гидроэкологическая ситуация складывается в бассейнах Азовского и Каспийского морей, хотя и для отдельных речных бассейнов на водосборах Балтийского, Белого, Баренцева и Чёрного морей она также неблагоприятна, особенно в отношении качества вод.

*Ключевые слова:* моря, водосборные бассейны, Европейская Россия, речной сток, водное хозяйство, водозабор, безвозвратное водопотребление, сточные воды, качество водных ресурсов, динамика

DOI: 10.31857/S2587556624040077 EDN: RPMTFX

### ВВЕДЕНИЕ

Влияние водного хозяйства на водные ресурсы обычно рассматривается применительно к отдельным речным бассейнам или административным единицам. Например, информация по водным ресурсам европейской части страны и их использованию, в значительной степени собранная по форме 2-ТП ВОДХОЗ, была обобщена в различных справочниках, монографиях и статьях, в том числе опубликованных в начале XXI в. Среди них: “Антропогенные воздействия ...” (2003), “Водные ресурсы и их использование” (2008), “Водный кадастр” (2020), “Государственный доклад” (2020), Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество (1982–2020), статьи А.П. Дёмина (2017), К.В. Лукьянова, Н.И. Коронкевича (2022). Несмотря на обширность данных, они нередко противоречивы. Применительно к водосборам морей чаще всего рассматриваются

лишь отдельные элементы воздействия водного хозяйства и не за самые последние годы. В данной статье на основе сведений гидрологической и водохозяйственной статистики предпринята попытка восполнить этот пробел, рассмотрев соотношение показателей водопотребления и величины водных ресурсов для водосборов морей, омывающих Европейскую территорию страны (ЕТС): Балтийского, Чёрного, Азовского, Каспийского и Баренцева с Белым. Рассмотрены средние многолетние величины речного стока, годовые значения водозабора, объема сточных вод (включая возвратные воды с орошаемых земель) и безвозвратного расхода воды, найденного по разнице водозабора и объема сточных вод, а также соотношение величины среднего многолетнего речного стока и показателей водопотребления на уровне 1992 и 2020 гг. Первый из рассматриваемых лет практически характеризует период наибольшего антропогенного воздей-

ствия на водные ресурсы, второй – современный период. Особое внимание уделено водосборам Азовского и Каспийского морей, где складывается наиболее напряженная гидроэкологическая и водохозяйственная ситуация. Исследовались сточные воды, в первую очередь официально признанные загрязненными (сброшенные без очистки и недостаточно очищенные). Такие сточные воды являются главной причиной качественного истощения и загрязнения водных ресурсов. Косвенным показателем уровня загрязнения водных ресурсов служит кратность разбавления сточных вод.

Важно отметить, что в территориальном аспекте рассмотрены два варианта. В первом в состав водосборных бассейнов морей включены только территории, сток с которых формируется и поступает в моря на территории России. Второй вариант включает, помимо учтенных в первом варианте, и те водосборы рассматриваемых морей (верховья Западной Двины и Днепра, бассейн Урала и ряд других территорий), сток на которых формируется в пределах ЕТС, но поступает в моря на территории сопредельных государств. По существу, во втором варианте рассмотрена вся ЕТС, поскольку она состоит из водосборов рассматриваемых морей.

В расчетах используется величина суммарного водозабора из поверхностных и подземных источников, что, по-видимому, несколько преувеличивает воздействие на речной сток. С другой стороны, часть сбрасываемых сточных вод, особенно от теплоэлектростанций, подогрета и увеличивает испарение, а, следовательно, и потери воды для речного стока. Это водохозяйственной статистикой не учитывается, так же, как и забор воды малыми водопотребителями. Поэтому можно предполагать, что некоторое преувеличение безвозвратного расхода из-за водозабора части подземных вод, не связанных с речным стоком, компенсируется.

В данной статье при оценке изменения речного стока учтены и дополнительные потери воды с акваторий водохранилищ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу работы положены данные водохозяйственных справочников. В качестве показателя водных ресурсов взята средняя многолетняя величина речного притока в моря (норма за 1930–1980 гг.) согласно Справочному изданию 2020 г.<sup>1</sup> (первый вариант, характеризующий сток с водосборов морей, осуществляемый в пределах ЕТС). Для всей водосборной площади морей

(второй вариант) норма стока также за 1930–1980 гг. рассчитана авторами. При этом полезными оказались сведения о водообмене между речными бассейнами и административными единицами (районами и областями), содержащимися в работе<sup>2</sup>. Водозабор в бассейнах морей и сброс сточных вод за 1992 и 2020 гг. определены в основном суммированием соответствующих сведений по основным речным бассейнам и административным единицам, расположенным в пределах водосборных площадей, представленным главным образом в справочниках Государственного водного кадастра за эти годы. Водозабор, безвозвратный расход и объем сточных вод также приведены в двух вариантах применительно к указанным выше водосборным площадям. Безвозвратный расход находился, как уже отмечено ранее, по разнице водозабора и величины сброса сточных вод. Потери воды на дополнительное испарение с акватории водохранилищ приведены в Государственном водном кадастре 1992 и 2020 гг. Соответствующие данные, как и недостающие сведения в указанных выше справочниках по водопотреблению и сбросу сточных вод, дополнялись из монографии (Водные ..., 2008), из Схем комплексного использования и охраны водных ресурсов и из приведенных выше литературных источников.

Основные методы анализа исходной информации: статистический и сравнительный географо-гидрологический.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 представлен средний многолетний речной приток в рассматриваемые моря.

Как видно, общая величина среднего многолетнего притока по первому варианту расчета составляет почти 821 км<sup>3</sup> в год (или 20% всех ресурсов речного стока России – 4223.2 км<sup>3</sup> в год по Водному кадастру<sup>3</sup>). Более половины объема стока приходится суммарно на Белое и Баренцево моря. На втором месте по величине притока – Каспийское море. Значительно уступает им приток в Балтийское, Азовское и особенно Чёрное моря. Но отметим еще раз, что в первый вариант не включен сток, не попадающий в моря на территории России, а также сток пограничных рек Немана и Нарвы. Если же учесть сток с территории России, попадающий в моря через другие страны (вариант 2 в табл. 1) приток в Балтийское море возрастает на 38 км<sup>3</sup> в год, в Чёрное – на 20, в Каспийское – на 9 км<sup>3</sup>. Поступление речного стока, сформированно-

<sup>2</sup> Водные ресурсы и водный баланс территории СССР. Ленинградиздат, 1967. 200 с.

<sup>3</sup> Водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество: Ежегод. изд. 2020 г. СПб.: ООО «Победа», 2021. 153 с.

го в российской части водосборов, в Азовское, Белое и Баренцево моря практически целиком осуществляется в пределах российской территории. Таким образом, общий средний многолетний сток с водосборных территорий морей, а фактически с территории ЕТС можно оценить по второму варианту в размере 888 км<sup>3</sup> в год (21% общего стока рек России), что примерно на 8% больше, чем по первому варианту расчета. Соотношение вклада водосборных территорий в величину общего стока во втором варианте расчета по сравнению с первым вариантом в целом сохраняется при некотором возраста-

нии доли водосборов в основном Балтийского и Чёрного морей.

*Водозабор* в первом варианте в 1992 г. составлял 69 км<sup>3</sup>, во втором — почти 74 км<sup>3</sup> (табл. 2), то есть соответственно 8.4 и 9% величины среднего многолетнего стока.

В 2020 г. водозабор снизился по обоим вариантам в среднем в 1.8 раза, главным образом в результате экономического спада, обусловленного распадом СССР. Близкие величины снижения водозабора к 2020 г. по сравнению с 1992 г. имели место и для водосборов отдельных морей. Для бассейнов Чёрного, Балтийского и особен-

**Таблица 1.** Средний многолетний речной сток с Европейской территории России по бассейнам морей

Вариант расчета	Показатель речного стока	Бассейн моря					
		Балтийское	Чёрное	Азовское	Каспийское	Белое и Баренцево	Суммарно
Первый	Объем речного стока, км <sup>3</sup> /год	82.1	9.7	40.3	244.8	444	820.9
	Доля от суммарного речного стока, %	10	1	5	30	54	100
Второй	Объем речного стока, км <sup>3</sup> /год	120	30	40.3	254	444	888
	Доля от суммарного речного стока, %	14	3	5	28	50	100

*Примечание:* первый вариант по справочному изданию “Водный кадастр Российской Федерации. Реки и озера Российской Федерации (Ресурсы, режим и качество воды) 2020 г.”; второй вариант — по расчетам авторов.

**Таблица 2.** Водозабор в бассейнах морей и его влияние на речной сток с Европейской территории России

Год	Показатели водозабора	Балтийское море	Чёрное море	Азовское море	Каспийское море	Белое и Баренцево моря	Суммарно
Первый вариант							
1992	Водозабор, км <sup>3</sup> /год	1.5	0.4	21.5	40.7	5.2	69.3
	% от суммарного водозабора	2.2	0.6	31.0	58.7	7.5	100
	% от речного стока	1.8	4.1	53.3	16.6	1.2	8.4
2020	Водозабор, км <sup>3</sup> /год	0.8	0.2	12.3	22.6	2.9	38.8
	% от суммарного водозабора	2.1	0.5	31.7	58.2	7.5	100
	% от речного стока	1.0	2.1	30.5	9.2	0.7	4.7
Второй вариант							
1992	Водозабор, км <sup>3</sup> /год	1.65	1.15	22.1	43.7	5.2	73.8
	% от суммарного водозабора	2.2	1.6	30.0	59.2	7.0	100
	% от речного стока	2.0	11.9	54.8	17.9	1.2	9.0
2020	Водозабор, км <sup>3</sup> /год	0.85	0.6	12.6	23.6	2.9	40.6
	% от суммарного водозабора	2.1	1.5	31.1	58.2	7.2	100
	% от речного стока	1.0	6.2	31.3	9.6	0.7	4.9

но Белого и Баренцева морей водозабор составил весьма небольшую часть речного притока в них. Наиболее велика она для водосборов Каспийского и особенно Азовского морей, составляя соответственно 16–18 и 53–55% в 1992 г. и 9–10 и 31% в 2020 г., что обусловлено главным образом интенсивным антропогенным воздействием, в том числе значительно большим, чем на водосборах других морей, развитием орошаемого земледелия – крупного водопотребителя.

Общий *безвозвратный расход* воды при водопотреблении по обоим вариантам расчета составил в 1992 г. 25.5 и 27 км<sup>3</sup> в год – несколько более 36% общего водопотребления и 3% величины речного стока, в 2020 г. – менее 2% стока (табл. 3).

С учетом дополнительного испарения с акваторий водохранилищ, наиболее существенного в бассейнах Азовского и Каспийского морей, это соотношение возрастает примерно на 1%. В бассейнах Каспийского и Азовского морей суммарный безвозвратный расход превы-

**Таблица 3.** Безвозвратный расход воды в бассейнах морей и его влияние на речной сток

Год	Показатели безвозвратного водопотребления	Балтийское море	Чёрное море	Азовское море	Каспийское море	Белое и Баренцево моря	Суммарно
Первый вариант							
1992	Объем безвозвратного водопотребления, км <sup>3</sup> /год	1.0	0.18	10.2	13.7	0.4	25.5
	% от суммарного безвозвратного водопотребления	3.9	0.8	40.0	53.7	1.6	100
	% от суммарного с учетом дополнительного испарения с акватории водохранилищ	2.9	0.6	36.5	59.4	0.6	100
2020	Объем безвозвратного водопотребления, км <sup>3</sup> /год	0.5	0.1	5.8	7.6	0.2	14.2
	% от суммарного безвозвратного водопотребления	3.5	0.7	40.9	53.5	1.4	100
	% от суммарного с учетом дополнительного испарения с акватории водохранилищ	2.6	0.6	34.8	60.9	1.1	100
Второй вариант							
1992	Объем безвозвратного водопотребления, км <sup>3</sup> /год	1.1	0.65	10.5	14.3	0.4	27.0
	% от суммарного безвозвратного водопотребления	4.1	2.4	39.0	53.0	1.5	100
	% от суммарного водопотребления с учетом дополнительного испарения с акватории водохранилищ	3.2	1.9	35.6	57.8	1.5	100
2020	Объем безвозвратного водопотребления, км <sup>3</sup> /год	0.5	0.3	5.95	7.9	0.2	14.85
	% от суммарного безвозвратного водопотребления	3.4	2.0	40.1	53.2	1.3	100.0
	% от суммарного водопотребления с учетом дополнительного испарения с акватории водохранилищ	2.5	1.5	34.7	60.2	1.1	100.0

сил в 1992 г. соответственно 8 и 31% от речного стока. В 2020 г. общий безвозвратный расход со всей водосборной территории морей снизился в среднем в 1.5 раза. Соответственно снизилось и его влияние на речной сток, составив для безвозвратного расхода с территории ЕТС по двум вариантам около 3%, с водосбора Азовского моря более 20%, Каспийского – около 6%. Это снижение несколько меньше в процентном соотношении, чем снижение водозабора за счет того, что число водохранилищ осталось почти тем же, как и дополнительное испарение с их акваторий, если не учитывать климатические особенности сравниваемых лет (рис. 1).

Суммарно *сточные воды* на всей рассматриваемой территории составили в 1992 г. по обоим вариантам несколько более 63% водозабора, как и в 2020 г., но объем их в 2020 г. снизился почти в 1.8 раза (табл. 4).

Более 90% всех сточных вод в 1992 г. по первому варианту и около 88% по второму приходилось на долю Каспийского и Азовского водосборов. В 2020 г. – соответственно 87.4 и 87%. Сточные воды, официально признанные загрязненными, составили в 1992 г. 35% общего их объема в ЕТС по обоим вариантам. В 2020 г. доля загрязненных сточных вод несколько снизилось – до 27% по первому варианту расчета и до 31% – по второму при общем уменьшении их объема почти в 2.3 раза по первому варианту и в 2 раза – по второму. В бассейне Азовского моря загрязненные сточные воды в 1992 г. по обоим вариантам составили около 26%, в 2020 г. – 17%. В бассейне Каспийского моря эта доля составила в 1992 г. 41% (первый вариант) и 38% (второй вариант), в 2020 г. произошло снижение до 32%. Более высокая доля загрязненных вод на Каспийском водосборе по

сравнению с Азовским связана с большей долей промышленных сточных вод, тогда как на водосборе Азовского моря значительную часть в общем объеме сброса составляют несколько более чистые возвратные воды с орошаемых полей (рис. 2).

Рассмотрим теперь *кратность разбавления* сточных вод, в том числе загрязненных. Она весьма велика для водосборов Балтийского и суммарно Белого и Баренцева морей, по общему объему сточных вод она составила в 1992 г. соответственно 160–200 и 90 раз, в 2020 г. – в 280–340 и 160 раз, а загрязненных вод – в еще большее число раз. Значительно меньше общая для всех водосборов морей кратность разбавления сточных вод в 1992 г. – 19 раз (по обоим вариантам расчета), загрязненных – 53–55 раза. В 2020 г. соответствующая кратность разбавления всех сточных вод составила 33–34 раза, загрязненных – 110–120 раз. Кроме водосборов Балтийского, Белого и Баренцева морей велика кратность разбавления сточных вод и в бассейне Чёрного моря. Все сточные воды в 1992 г. в первом варианте разбавляются более чем в 40 раз, во втором – в 60 раз; загрязненные воды соответственно почти в 100 и в 75 раз. В 2020 г. – по обоим вариантам в 100 раз. Гораздо меньше сточные воды разбавлялись в Каспийском и особенно Азовском бассейнах. В Каспийском кратность разбавления всех сточных вод в первом и втором вариантах в 1992 г. составила около 9 раз, загрязненных – 22 раза, в 2020 г. соответственно 19 и 16, а загрязненных – 50 раз. Азовский бассейн в 1992 г. характеризуется наименьшей кратностью разбавления сточных вод; всех – в 3–4 раза, загрязненных – в 14 раз. В 2020 г. кратность разбавления всех сточных вод возросла до 6 раз, а загрязненных – до 35–36 раз.

Таким образом, в 2020 г. в связи с уменьшением как общего количества сточных вод, так и загрязненных, кратность их разбавления повысилась.

В принципе же разбавление сточных вод как в 1992 г., так и в 2020 г. было ниже, если учитывать, что фактический речной сток был меньше за счет безвозвратных изъятий. Рассмотрим складывающуюся при этом ситуацию на примере второго варианта расчета (рис. 3).

Из ее анализа следует, что она в целом близка к той, которая рассмотрена выше. Так, кратность разбавления сточных вод составляет для всей территории в 1992 г. 18 раз, в 2020 г. – 34 раза, она остается высокой для водосборов Балтийского, Чёрного, Белого и Баренцева морей, но значительно более низкой для бассейнов Азовского и Каспийского морей, составляя для водосбора Каспийского моря в 1992 г. 8, для Азовского – всего 2 раза, а для загрязненных соответственно 21 и 9 раз. В 2020 г. кратность разбавления 15 и 5 раз для всех сточных вод и почти 50 и 30 – для загрязненных вод. Таким образом, наиболее сложная

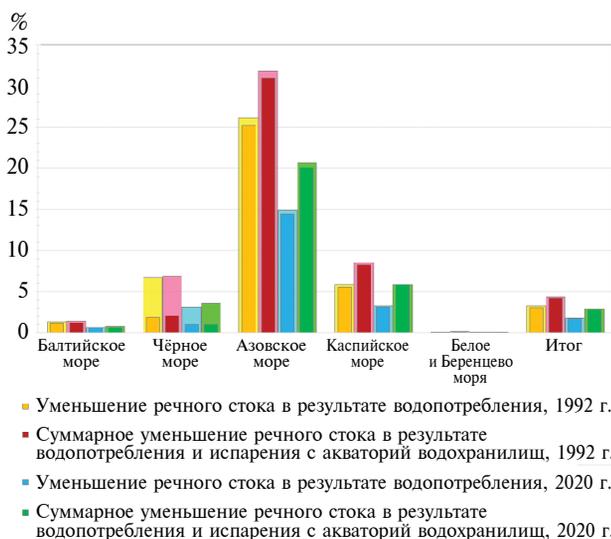


Рис. 1. Уменьшение речного стока.

Примечание: более светлым цветом показан второй вариант расчета.

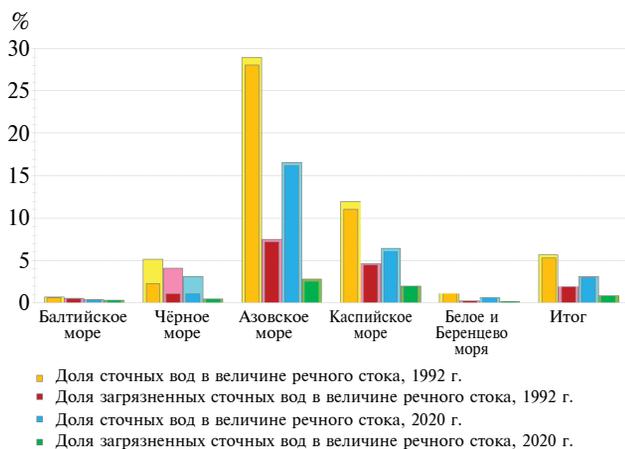


Рис. 2. Соотношение сточных вод в речном стоке.

Примечание: более светлым цветом показан второй вариант расчета.

водохозяйственная и гидроэкологическая ситуации складываются в Азовском и Каспийском регионах, несмотря на то что величина речного стока превосходит здесь величину водозабора, безвозвратного расхода и объема сточных вод. Известно, что запросы многих водопотребителей и водопользователей не удовлетворялись здесь полностью как в 1992 г., так и в 2020 г., особенно в районах крупных городских агломераций и низовьях рек, впадающих в Азовское и Каспийское моря. Во многом неудовлетворительная ситуация объясняется тем, что Каспийское море не имеет связи с Мировым океаном, а связь Азовского моря с ним весьма затруднена, и их экосистемы весьма чувствительны к тому, что происходит на водосборах. Казалось бы, гораздо более благополучна ситуация в бассейнах других морей. В количественном аспекте с такой оценкой можно полностью согласиться, но в отношении качества вод это не совсем так, несмотря на большую кратность разбавления сточных вод. В работе (Решетняк, 2023) показано, что на большей части ЕТС даже на современном уровне и тем более в конце 20-го столетия отмечается превышение ПДК по целому ряду показателей. Конечно, где-то сказываются природные особенности, например, повышенное природное содержание отдельных ингредиентов (железа, меди и др.), влияние диффузного загрязнения, которое как показано в работе (Диффузное ..., 2020) соизмеримо или даже превосходит влияние точечных источников загрязнения, а также судоходства, лесосплава, атмосферных выпадений на водное зеркало. Сопоставим полученные кратности разбавления сточных вод со шкалой соответствия кратности разбавления сточных вод классу воды по гидроэкологическим показателям (Коронкевич и др., 1995). Согласно ей, относительно чистыми можно считать природные воды при условии разбавления общего объема сточных вод более чем в 500 раз, а загрязненных — более

чем 1000 раз, слабозагрязненными — соответственно от 15 до 500 и от 50 до 1000 раз, например для вод, содержащих нефтепродукты. Согласно этой шкале к среднезагрязненным сточным водам относятся природные воды с кратностью разбавления всех сточных вод от 5 до 15 раз, загрязненных — от 10 до 50 раз, к сильнозагрязненным соответственно менее 5 и менее 10 раз. Это сопоставление подтверждает высокую степень загрязненности значительной части водных ресурсов на водосборах рассматриваемых морей. При этом следует иметь в виду, что испытывавшие ту или иную антропогенную нагрузку сточные воды называют не чистыми, а условно чистыми или нормативно очищенными, нормативно чистыми, поскольку они все же содержат определенную, пусть нормативно приемлемую, величину загрязняющих веществ. Кроме того, эти воды нередко, особенно поступающие от тепловых станций, подогреты и при большом их количестве негативно влияют на качество природных вод. Весьма условна граница между условно чистыми и загрязненными сточными водами, доказательством чего служит волевое решение, принятое в СССР в конце 1980-х годов, о переводе части нормативно очищенных и нормативно чистых сточных вод в категорию загрязненных, что сказалось и на соответствующей водохозяйственной статистике.

Исходя из изложенного, относительно большая величина кратности разбавления сточных вод на водосборах Балтийского, Чёрного, Белого и Беренцева морей, даже на уровне 2020 г., все же не свидетельствует о высоком качестве вод притекающего к ним речного стока, хотя оно в целом несомненно выше, чем на водосборах Азовского и Каспийского морей. Невысокие же кратности разбавления сточных вод в Каспийском и Азовском регионах бесспорно указывают на большую степень загрязнения водных объектов в их бассейнах, что подтверждается данными

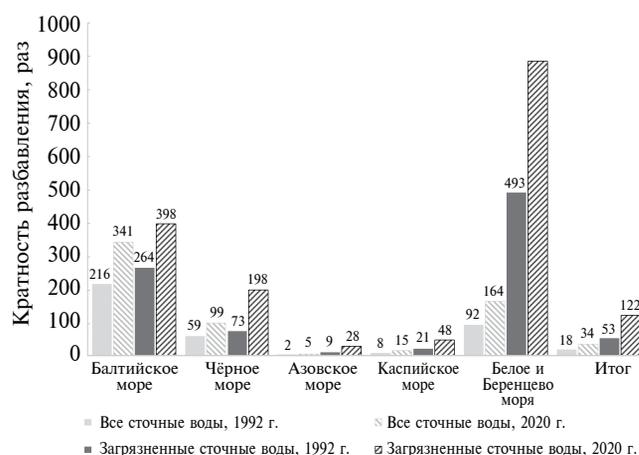


Рис. 3. Кратность разбавления сточных вод в бассейнах морей ресурсами речного стока за вычетом безвозвратных изъятий воды.

**Таблица 4.** Объем сточных вод в бассейнах морей и его соотношение с речным стоком

Год	Показатель	Балтийское море	Чёрное море	Азовское море	Каспийское море	Белое и Баренцево моря	Суммарно
Первый вариант							
1992	Объем сточных вод, км <sup>3</sup> /год	0.5	0.22	11.3	27.0	4.8	43.8
	Доля от суммарного объема сточных вод, %	1.1	0.5	25.8	61.6	11.0	100
	Объем загрязненных сточных вод, км <sup>3</sup> /год	0.4	0.1	2.9	11.1	0.9	15.4
	Доля от суммарного объема загрязненных сточных вод, %	2.6	0.7	18.8	72.1	5.8	100
2020	Объем сточных вод, км <sup>3</sup> /год	0.3	0.1	6.5	15.0	2.7	24.6
	Доля от суммарного объема сточных вод, %	1.2	0.4	26.4	61.0	11.0	100
	Объем загрязненных сточных вод, км <sup>3</sup> /год	0.3	0.05	1.1	4.8	0.5	6.8
	Доля от суммарного объема загрязненных сточных вод, %	4.4	0.8	16.3	71.1	7.4	100.0
Второй вариант							
1992	Объем сточных вод, км <sup>3</sup> /год	0.55	0.5	11.6	29.4	4.8	46.85
	Доля от суммарного объема сточных вод, %	1.2	1.1	24.8	62.7	10.2	100
	Объем загрязненных сточных вод, км <sup>3</sup> /год	0.45	0.4	3.0	11.3	0.9	16.05
	Доля от суммарного объема загрязненных сточных вод, %	2.8	2.5	18.7	70.4	5.6	100
2020	Объем сточных вод, км <sup>3</sup> /год	0.35	0.3	6.65	15.7	2.7	25.7
	Доля от суммарного объема сточных вод, %	1.3	1.2	25.9	61.1	10.5	100
	Объем загрязненных сточных вод, км <sup>3</sup> /год	0.3	0.15	1.15	5.0	0.5	7.1
	Доля от суммарного объема загрязненных сточных вод, %	4.2	2.1	16.2	70.4	7.1	100

непосредственных наблюдений в 2020 г. за качеством воды в бассейнах Волги и Дона, содержащихся в (Обзор ..., 2021) и других источниках.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение водохозяйственной и гидроэкологической ситуации на водосборах морей, омывающих европейскую часть России, позволяют оценить интегральную ситуацию и на всей ее территории. Из 888 км<sup>3</sup> в год среднего многолетнего речного стока, формирующегося на ЕТС (второй вариант расчета), что составляет 21% стока с территории России и на 8% больше, чем по первому варианту расчета, лишь 1/3 приходится на долю водосборов Азовского (около 5%) и Каспийского (около 30%) морей. Здесь последствия водохозяйственной деятельности сказываются наиболее остро еще и из-за повышенной антропогенной нагрузки на водные ресурсы. На долю этих водосборов приходилось и в 1992 г., и в 2020 г. примерно 90% водозабора, безвозвратного расхода и объема сточных вод, в том числе загрязненных, а с учетом дополнительно испарения с акватории водохранилищ безвозвратный расход составил около 95% общей его величины для всей ЕТС. Если процентное соотношение по указанным показателям в 2020 г. по сравнению с 1992 г. в основном сохранилось, то в объемном выражении (км<sup>3</sup>/год) к 2020 г. почти повсеместно произошло уменьшение водозабора, безвозвратного расхода и объема всех сточных вод в среднем в 1.8 раза, причем загрязненных – более чем в 2 раза.

При этом общий средний многолетний речной сток в результате безвозвратных изъятий снизился в 1992 г. примерно на 4%, на водосборе Каспийского моря несколько более чем на 8%, на водосборе Азовского моря на 30–32%. Антропогенное снижение общего стока на ЕТС в 2020 г. составило около 3%, на водосборе Каспийского моря – около 6%, а в бассейне Азовского моря – 20–21%. В процентном отношении к величине относительного уменьшения стока в бассейне Каспийского моря приближается водосбор Чёрного моря с учетом территории в верховьях Днепра. На водосборах других морей уменьшение речного стока как в 1992 г., так и в 2020 г. составило величины, близкие к 1% или меньше. Если судить по кратности разбавления сточных вод, в том числе загрязненных, то в сторону наименьших значений также выделяются Азовский и Каспийский бассейны. При средней кратности разбавления сточных вод ресурсами стока за вычетом безвозвратного расхода для всей территории Европейской России в 1992 г. несколько более 19 раз, в Каспийском бассейне соответствующая величина составила 8 раз, а в Азовском – всего 2 раза, при разбавле-

нии загрязненных сточных вод соответственно несколько более 50, 20 и около 10 раз. В 2020 г. эти показатели составили соответственно 122, 48 и 28 раз. В других бассейнах кратность разбавления сточных вод гораздо выше, чем на водосборах Азовского и Каспийского морей. Однако выявленные большие кратности разбавления не дают основания считать воды на этих водосборах чистыми, не говоря уже об отдельных местах повышенной антропогенной нагрузки.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 (1021051703468-8).

## FUNDING

The research was carried out within the framework of State assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences no. FMWS-2024-0007 (1021051703468-8).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003. 344 с.
- Бабкин В.И., Балонишников Ж.А.* Водный баланс, водные ресурсы и использование вод в крупнейших речных бассейнах России // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. М., 2018. С. 35–48.
- Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Гос. гидрол. ин-т, 2008, 600 с.
- Государственный докл. “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году”. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
- Государственный докл. “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году”. М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
- Демин А.П.* Сточные воды и качество воды в бассейне реки Волги (2000–2015 гг.) // Ученые записки Рос. гос. гидрометеорологического ун-та. 2017. № 48. С. 55–71.
- Демин А.П.* Водопотребление и водоотведение в бассейне реки Волги, их влияние на качество воды // Изв. РАН. Сер. геогр. 2023. № 6. С. 847–861.
- Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения. Колл. монография под рук. В.И. Данилова-Данильяна. М.: РАН, 2020. 512 с.
- Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Кутаев Л.М.* Негативные гидроэкологические ситуации // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 1. С. 43–53.
- Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С.* Вода и человек. М.: Изд-во “Перо”, 2022. 324 с.

- Коронкевич Н.И., Черногаева Г.М., Долгов С.В., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Лукьянов К.В. Антропогенно-измененные воды, поступающие в водные объекты в бассейне Дона // Метеорология и гидрология. 2023. № 6. С. 74–82.
- Лукьянов К.В., Коронкевич Н.И. Особенности распределения сточных и возвратных вод на территории Европейской части России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2022. № 5. С. 763–778.
- Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год. М., 2021. 205 с.
- Решетняк О.С. Пространственно-временные закономерности трансформации химического состава и качества речных вод в Европейской части России. Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2023. 46 с.
- Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегод. изд. Л.—СПб., 1982–2020.
- Черногаева Г.М., Журавлева Л.Р., Малеванов Ю.А. Интегральная оценка качества воды в бассейне Волги по данным мониторинга в XXI в. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2023. № 6. С. 875–884.
- Шаноренко С.И. Многолетняя изменчивость показателей водохозяйственной деятельности на водосборах и ее возможное влияние на качество вод в устьях северных рек // Вопросы географии. Сб. 157. Водные проблемы и их решение. М., 2023. С. 58–80.

## The Impact of Water Management on the Water Resources of the Sea Basins on the European Russia

N. I. Koronkevich<sup>a, \*</sup> and K. V. Lukyanov<sup>a, \*\*</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>\*</sup>*e-mail: koronkevich@igras.ru*

<sup>\*\*</sup>*e-mail: kirill.lukyanov.96@mail.ru*

The article examines the features of the spatial and temporal distribution of the influence of water management activities on the quantity of water resources and the quality of water in the basins of the seas washing the European Russia's territory. As an indicator of water resources, the average long-term flow of rivers is used. The influence of water withdrawal and water consumption on it is assessed, as well as the impact on water quality of wastewater (including return water from irrigated fields) as one of the main sources of pollution of water resources. Water consumption and the wastewater volume are determined for two years: 1992 (the time of maximum water use for most regions of Russia) and 2020 (characterizing modern water use). The calculation is based on water management statistics data obtained from various reference books. A significant (almost double) decrease of anthropogenic impact on water resources in 2020 compared to 1992 is shown. However, as before, the most tense water management and hydroecological situation arises in the basins of the Azov and Caspian seas, although it is also unfavorable for individual river basins of the Baltic, White, Barents, and Black seas' watersheds, especially in terms of water quality.

*Keywords:* seas, catchment basins, European Russia, river runoff, water management, withdrawal, water consumption, wastewater, water resource quality, dynamics

### REFERENCES

- Antropogennyye vozdeistviya na vodnyye resursy Rossii i sopedel'nykh gosudarstv v kontse XX stoletiya* [Anthropogenic Impacts on Water Resources in Russia and Neighboring Countries at the End of the 20th Century]. Moscow: Nauka Publ., 2003. 344 p.
- Babkin V.I., Balonishnikova Zh.A. Water balance, water resources and water use in the largest river basins of Russia. In *Voprosy geografii, Sb. 145: Gidrologicheskie izmeneniya* [Problems of Geography. Vol. 145: Hydrological Changes]. Moscow, 2018, pp. 35–48. (In Russ.).
- Chernogaeva G.M., Zhuravleva L.R., Malevanov Yu.A. Integral assessment of water quality in the Volga basin based on monitoring data in the 21st century. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2023, no. 6, pp. 875–884. (In Russ.).
- Demin A.P. Wastewater and water quality in the Volga River basin (2000–2015). *Uchen. Zapis. Ross. Gos. Gidromet. Univ.*, 2017, no. 48, pp. 55–71. (In Russ.).
- Demin A.P. Water consumption and water disposal in the Volga River basin, their influence on water quality. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2023, no. 6, pp. 847–861. (In Russ.).
- Diffuznoe zagryaznenie vodnykh ob'ektov: problemy i resheniya* [Diffuse Pollution of Water Bodies: Problems and Solutions]. Moscow: Ross. Akad. Nauk, 2020. 512 p.
- Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu"* [State Report "On the State and Use of Water Resources of the Russian Federation in 2018"]. Moscow: NIA-Priroda, 2019. 290 p.
- Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2020"*

- godu” [State Report “On the State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2020”]. Moscow: Minprirody Rossii; Mosk. Gos. Univ., 2021. 864 p.
- Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Zaitseva I.S. *Voda i chelovek* [Water and Man]. Moscow: Pero Publ., 2022. 324 p.
- Koronkevich N.I., Chernogaeva G.M., Dolgov S.V., et al. Anthropogenically changed water entering water bodies in the Don Basin. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2023, vol. 48, pp. 541–547.  
<https://doi.org/10.3103/S1068373923060067>
- Koronkevich N.I., Zaitseva I.S., Kitaev L.M. Negative hydroecological situations. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1995, no. 1, pp. 43–53. (In Russ.).
- Luk’yanov K.V., Koronkevich N.I. Features of the distribution of waste and return waters on the territory of the European part of Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2022, no. 5, pp. 763–778. (In Russ.).
- Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2020 god* [Review of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2020]. Moscow, 2021. 205 p.
- Reshetnyak O.S. Spatiotemporal patterns of transformation of the chemical composition and quality of river waters in the European part of Russia. *Extended Abstract of Dr. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Rostov-on-Don, 2023. 46 p.
- Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol’zovanie i kachestvo: Ezhegod.* [Surface and Groundwater Resources, Their Use and Quality: Annually]. St. Petersburg, 1982–2020.
- Shaporenko S.I. Long-term variability of indicators of water management activities in watersheds and its possible impact on water quality at the mouths of northern rivers. In *Voprosy geografii. Sb. 157: Vodnye problemy i ikh reshenie* [Problems of Geography. Vol. 157: Water Problems and Their Solutions]. Moscow, 2023, pp. 58–80. (In Russ.).
- Vodnye resursy Rossii i ikh ispol’zovanie* [Water Resources of Russia and Their Use]. Shiklomanov I.A., Ed. St. Petersburg: Gos. Gidrolog. Inst., 2008. 600 p.

УДК 504.4.054

## ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КАЧЕСТВА ВОД РЕК ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. С. И. Зотов<sup>1</sup>, Ю. А. Спирин<sup>2,\*</sup>, В. С. Таран<sup>1</sup><sup>1</sup>Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия<sup>2</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

\*e-mail: spirin.yuriy@rambler.ru

Поступила в редакцию 29.05.2024 г.

После доработки 12.07.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

В статье рассмотрены результаты исследований химического загрязнения и качества вод рр. Анграпы, Писсы, Красной и Русской, относящихся к бассейну р. Преголи и формирующей основу речной сети юго-востока Калининградской области. Спланирован и осуществлен мониторинг этих водотоков по 16 пунктам в разрезе гидрологических сезонов 2022–2023 гг. Гидрологические измерения и отбор проб для последующих химических анализов проведены 15.10.2022, 15.01.2023, 23.04.2023, 19.07.2023 гг. Выявлены основные загрязняющие вещества в реках: нефтепродукты, железо, сульфаты, аммоний, нитриты, фосфаты и несоответствие нормам ПДК по показателям биологического и химического потребления кислорода, а также растворенного кислорода. Рассчитаны и картографически отображены удельный комбинаторный индекс загрязнения вод и индекс загрязнения вод. Пространственная дифференциация качества вод в исследуемых реках отображает закономерное ухудшение от верховьев к устьевым частям в связи с увеличением аккумуляции реками стоков с сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов и индивидуальных домохозяйств. В период исследований отмечены следующие фазы водного режима: осенняя межень, зимние паводки, весеннее половодье и отсутствие летней межени. Наряду с антропогенными воздействиями этот фактор оказал существенное влияние на качество вод, которое варьирует от загрязненных до чрезвычайно грязных. Можно констатировать неблагоприятное экологическое состояние как самих исследуемых водотоков, так и их речных бассейнов.

*Ключевые слова:* динамика загрязнения водотоков, бассейн р. Анграпы, гидрохимический анализ, качество вод, картографирование загрязнения рек, сравнительный анализ загрязнений, антропогенные воздействия

DOI: 10.31857/S2587556624040086 EDN: RPLLON

### ВВЕДЕНИЕ

Калининградская область, занимающая площадь в 15100 км<sup>2</sup>, обладает разнообразием географических условий, формирующих геоэкологическое состояние рек и их бассейнов. Юго-восточная часть Калининградской области относится к бассейну р. Анграпы. В качестве объектов исследования рассматриваются сама р. Анграпа и ее притоки: Писса, Красная и Русская. Эти водотоки относятся к бассейну р. Преголи, которая впадает в Вислинскую лагуну и в значительной степени влияет на ее экологическое состояние. Район исследования выделяется трансграничным расположением (рис. 1), расчлененным рельефом, интенсивным водообменом между подземными и поверхностными водами, высокой плотностью речной сети, ландшафтным разнообразием, наличием особо

охраняемых природных объектов, сельскохозяйственной специализацией. Можно констатировать природную уникальность изучаемых речных систем и их региональную значимость. Мониторинг гидрологического и гидрохимического состояния отмеченных рек не отвечает современным требованиям, в особенности пространственным и временным критериям, что приводит к отсутствию высококачественного информационного обеспечения оценок их состояния и рационального использования. Эти обстоятельства формируют актуальность проводимых нами исследований.

В качестве цели исследования рассматривается выявление пространственной дифференциации (по 4 пунктам мониторинга в каждой реке) и временной изменчивости (по гидрологическим сезонам) химического загрязнения и качества вод рр. Анграпы, Писсы, Русской



Рис. 1. Карта-схема водосборного бассейна р. Анграпы.

и Красной. Задачи исследования заключаются в определении оптимального расположения пунктов мониторинга, выявлении гидрохимических параметров, вносящих наибольший вклад в загрязнение, обосновании причин пространственных и временных изменений химического загрязнения и качества речных вод (Белякова, Зуева, 2021; Валиев и др., 2018; Кирейчева, Лентяева, 2020; Кирпичникова и др., 2021; Полухин и др., 2021).

Площадь водосбора р. Анграпы составляет 3960 км<sup>2</sup>, из них на российской территории – 1800 км<sup>2</sup>. Длина реки – 169 км (в пределах России – 95 км), средний уклон русла – 0.63‰. Густота речной сети на водосборе составляет около 0.9 км на 1 км<sup>2</sup>, что является одним из наименьших показателей в Калининградской области. Модуль годового стока в бассейне – 5.8 л/с км<sup>2</sup>. Элементы водного баланса в бассейне р. Анграпы представлены в (табл. 1).

Скорости течения р. Анграпы и ее притоков находятся в интервале 0.4–0.8 м/с. Для рек характерно смешанное питание. Весеннее половодье в среднем продолжается 40–50 сут. Паводки связаны с выпадением атмосферных осадков и отмечаются в осенний период и в меньшей

степени в летний. Меженные явления на реках выражены нечетко. Ледостав продолжается в среднем 2.5–3.5 месяца. В последние годы продолжительность ледостава сильно сократилась. Воды относятся к гидрокарбонатному классу<sup>1</sup>. В г. Озёрске располагается плотина, изменившая уровеньный режим и другие гидрологические и гидрометрические параметры, влияющие на качество речных вод.

Подземные водоносные горизонты распространены в кайнозойских песчано-гравелистых и суглинистых отложениях и характеризуются повышенной водообильностью. Здесь аккумулируются большие естественные ресурсы подземных вод. Меженный сток в реке происходит за счет зоны интенсивного водообмена. Модуль стока подземных вод уменьшается от 3.0 л/(с км<sup>2</sup>) на Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности до 1.5 л/с км<sup>2</sup> на Прегольской озерно-ледниковой равнине. Химический состав подземных вод, питающих реки отмечается низкой минерализацией в пределах 0.3–0.6 мг/дм<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Основные гидрологические характеристики (за 1976–1985 гг. и весь период наблюдений). Т. 4. Прибалтийский район. Вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР. Л.: Гидрометеиздат, 1988.

**Таблица 1.** Элементы водного баланса в бассейне р. Анграпы (средние многолетние значения)

Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Годовой расход, м <sup>3</sup> /сек	Осадки, мм	Испарение, мм	Поверхностный сток, мм	Подземный сток, мм
3960	25.45	723	530	159	44

Источник: (Зотов, 2001).

и относится к гидрокарбонатному типу<sup>2</sup>. Подземные воды, имеющие гидравлические связи с поверхностными водотоками, в существенной степени формируют химический состав и качество речных вод.

Климат исследуемой территории определяется как переходный от морского к умеренно-континентальному. Характерны следующие средние многолетние климатические показатели. Годовое количество суммарной солнечной радиации колеблется в пределах 3400–3450 МДж/м<sup>2</sup>, средняя годовая температура воздуха от 6.2 до 6.5°C, средняя температура воздуха июля и января соответственно от 17.0 до 17.5°C и от –4.5 до –5.0°C. Среднегодовое количество атмосферных осадков находится в интервале 680–730 мм, испарение 500–550 мм, что приводит к избыточному увлажнению территории (Баринаова, 2002). В последние десятилетия отклонение метеорологических параметров от средних многолетних значений приводит к нарушению стандартного протекания фаз гидрологического режима рек, что также оказывает сильное влияние на гидрохимические параметры.

Геоморфологические особенности района исследования обусловлены расположением водосбора р. Анграпы в пределах Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности и Прегольской озерно-ледниковой равнины. В границах Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности выделяются три гипсографических уровня, имеющих различные высоты. Первый уровень – юго-восточная часть с высотами более 200 м, представленная крупными моренными массивами с глубокими понижениями между ними. Второй уровень – озерный пояс с высотами 150–200 м, для которого характерен расчлененный моренный рельеф, понижения заняты озерами и болотами. Третий уровень – северный внешний пояс возвышенности с высотами до 150 м и сильной расчлененностью речными долинами. Северная и северо-западная части района исследования находятся в пределах Прегольской озерно-ледниковой равнины с преобладающими высотами 40–70 м, представлены холмами с пологими склонами и плоскими речными долинами (Литвин, 1999). Верховья водосборов рек располагаются на территориях с рас-

члененным холмисто-моренным рельефом, что определяет более высокие модули стока и скорости течения рек. Этот фактор рассматривается как одна из составляющих формирования особенностей химического состава речных вод.

Расположение территории исследования в пределах двух геоморфологических районов: Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности и Прегольской озерно-ледниковой равнины, отражается на структуре почвообразующих пород и почв. Происхождение почвообразующих пород обусловлено деятельностью ледника и процессами переработки моренного материала. В границах Виштынецкой холмисто-моренной возвышенности характерны разновидности дерново-подзолистых почв супесчаного и легкосуглинистого гранулометрического состава. В пределах Прегольской озерно-ледниковой равнины преобладают среднесуглинистые и тяжелосуглинистые дерново-подзолистые почвы. В долинах рек представлены аллювиально-дерновые почвы (Лазарева, 2002). Средние и нижние части водосборов изучаемых рек занимают сельскохозяйственные угодья с почвами среднесуглинистого и тяжелосуглинистого гранулометрического состава, что снижает инфильтрацию, увеличивает поверхностный смыв вносимых минеральных удобрений и оказывает влияние на качество речных вод.

Растительный покров в юго-восточной части района исследования представлен лесным массивом “Красный лес”. Преобладают хвойные леса: еловые (*Picea abies*) южнотаежные травянисто-кустарничковые (*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-ideae*) зеленомошные (*Hylocomium proliferum*, *Pleurozium Schreberi* и др.), в меньшей степени сосновые (*Pinus sylvestris*) кустарничково (*Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-ideae*) – зеленомошные, местами с участием лишайников (*Cladonia*). Также представлены широколиственные леса с незначительной примесью ели, с преобладанием дуба, липы, граба, ясеня, бука (Сухова, 2002). Сельскохозяйственные угодья, занимающие наибольшую часть объекта исследования, заняты пахотными землями и окультуренными лугами на месте лесов, что сказывается на химическом составе речных вод.

Ландшафты исследуемой территории относятся к бореальному подтаежному (смешанно-лесному) типу равнинного класса и представлены возвышенными, приподнятыми

<sup>2</sup> Гидрогеология СССР. Т. XLV. Калининградская область РСФСР. М.: Недра, 1970. 158 с.

и низменными подклассами. Возвышенные ландшафты – разновидности холмисто-моренных озерных равнин. Приподнятые ландшафты – разновидности моренных равнин разной степени дренированности. Низменные ландшафты – разновидности приледниково-озерных слабодренированных равнин и речные долины (Сухова, Козлович, 2002).

Лесной массив “Красный лес” с оз. Виштынецким имеет статус особо охраняемой природной территории и называется природный парк “Виштынецкий”. Постановлением правительства Российской Федерации 2024 г. этой территории придан статус национального парка. Река Красная в пределах этой особо охраняемой природной территории объявлена региональным памятником природы гидрологического профиля и вдоль этого участка водотока установлена охранный зона шириной по 0.5 км по обоим берегам<sup>3</sup>. Нами впервые поставлена задача системного мониторинга химического загрязнения и качества вод этой реки.

Район исследования располагается в Гусевском, Нестеровском, Озёрском Черняховском муниципальных округах, основной отраслью экономической специализации которых является сельское хозяйство. Площади сельскохозяйственных угодий в абсолютных цифрах и в относительных значениях к площади округов соответственно составляют: Гусевский – 34000 га (53%), Нестеровский – 66900 га (63%), Озёрский – 62024 га (71%), Черняховский – 65576 га (51%). Основой сельского хозяйства являются разведение крупного рогатого скота и растениеводство, представленное выращиванием зерновых и кормовых культур. Города Черняховск и Гусев с численностью населения соответственно более 35000 и около 28000 чел. являются промышленными центрами с предприятиями машиностроительного комплекса и переработки сельскохозяйственной продукции. Сельскохозяйственные, промышленные, коммунально-бытовые стоки рассматриваются нами как основные источники антропогенного воздействия на качество вод исследуемых рек.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные актуальные исследования бассейна посвящены в большинстве физико-географическим и гидрологическим свойствам рек (Ахмедова, Наумов, 2022; Берникова и др., 2019; Тылик, 2021; Шамонина, Нелюбина, 2017), а исследования химического состояния и загрязненности рек (Нагорнова и др., 2011) недостаточны и отчасти устарели. Имеются пункты длительного систематического мониторинга р. Анграпы

(д. Берестово) и р. Писсы (д. Зеленый Бор)<sup>4</sup>, но по двум точкам в разных реках сложно характеризовать бассейн, а также выявлять причины возникновения загрязнений. Поэтому мы решили расширить в несколько раз наблюдательную сеть до 16 пунктов.

По каждому исследуемому водотоку были определены географическое расположение и координаты четырех пунктов мониторинга, начиная с верховьев и завершая приустьевыми частями, за исключением р. Анграпы, где первый пункт мониторинга располагается на удалении от верховьев рядом с государственной границей (рис. 2).

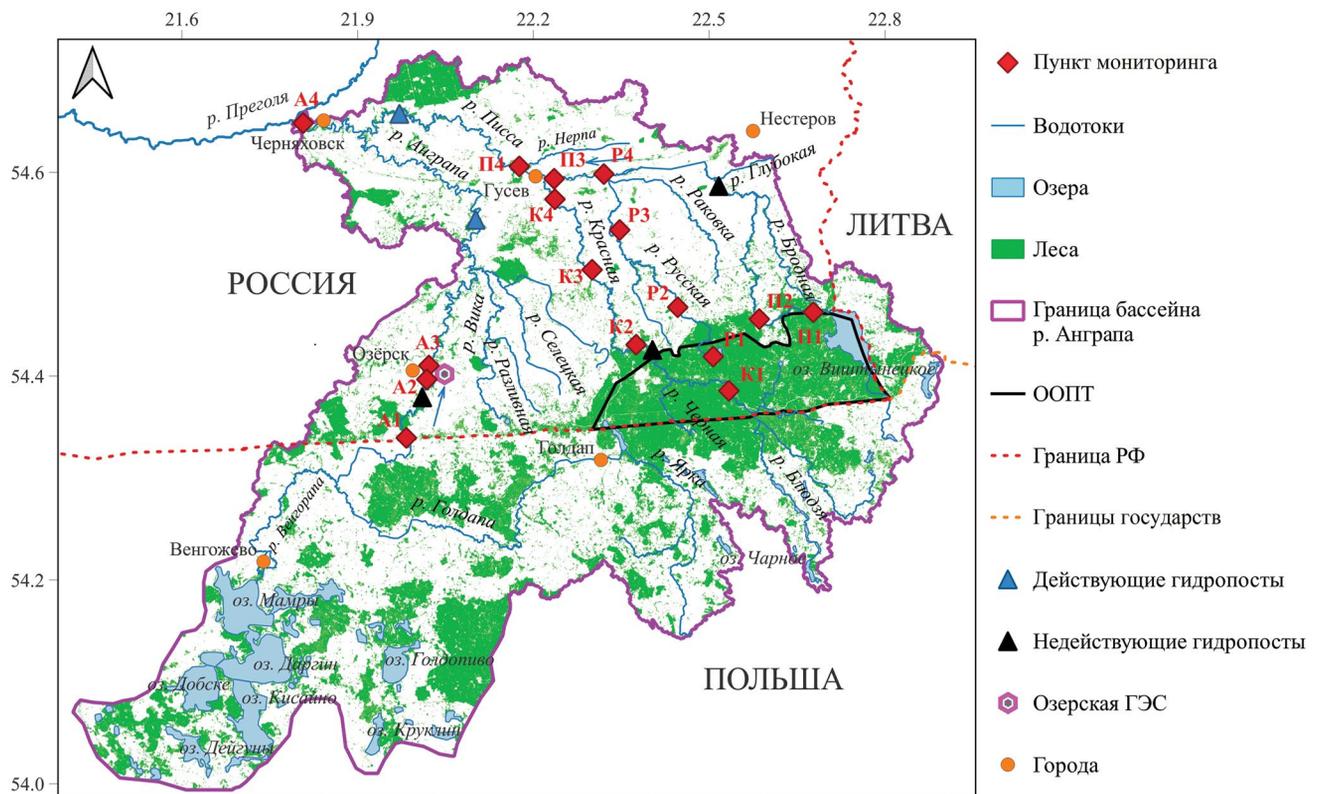
Исследования водотоков проведены в течение гидрологического года (2022–2023) в следующие сезоны: осенняя межень (15.10.2022), зимний паводок (15.01.2023), весеннее половодье (23.04.2023), период летней высокой водности (15.07.2023). В процессе полевых выездов составлены описания русел рек и прилегающих территорий в пунктах мониторинга; измерены гидрометрические характеристики: скорости течения, ширина и глубины рек. Использовалась “Гидрологическая микровертушка ГМЦМ-1” и измерительная строительная рулетка в соответствии с принципом изложенном в своде правил<sup>5</sup>. После этого рассчитаны расходы в пунктах мониторинга. Определены цветность, запах, мутность (ЕМФ – единицы мутности по формазину), температура, кислотный остаток воды; отобраны пробы воды для химических анализов.

Химические анализы проб проводились в лаборатории высшей школы живых систем БФУ имени Иммануила Канта на перечень важнейших показателей. *Органолептические показатели* определены в соответствии с ГОСТ Р 57164–2016, *взвешенные вещества* в соответствии с РД 52.24.468–2019, *химическое потребление кислорода* (ХПК) – ПНД Ф 14.1:2.4.190–2003, *биологическому потреблению кислорода за 5 суток* (БПК<sub>5</sub>) – ПНД Ф 14.1:2.3:4.123–97, *нитраты* – ПНД Ф 14.1:2.4–95, *нитриты* – ПНД Ф 14.1:2.4.3–95, *аммоний и аммонийный азот* – ПНД Ф 14.1:2.1–95, *фосфаты* – ПНД Ф 14.1:2.1–95, *сухой остаток* – ПНД Ф 14.1:2.4.261–2010, *хлориды* – ГОСТ 4245–72, *сульфаты* – ПНД Ф 14.1:2.159–2000, *натрий, магний, калий, кальций* – ПНД Ф 14.1:2.159–2000, *железо* – ПНД Ф 14.1:2.159–2000, *нефтепродукты* – ПНД Ф 14.1:2.116–97. Химические ана-

<sup>4</sup> Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения 10.03.2024).

<sup>5</sup> Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства: СП 11-103-97: Одобрен Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России (письмо от 10.07.97 № 9-1-1/69). <http://docs.cntd.ru/document/901704792> (дата обращения 10.03.2024).

<sup>3</sup> Исток. <https://istok39.ru> (дата обращения 10.05.2024).



### Местоположение пунктов мониторинга

<b>A1</b> – п. Междулесье	<b>П1</b> – п. Ягодное	<b>P1</b> – п. Пугачево	<b>K1</b> – п. Радужное
<b>A2</b> – с. Минское	<b>П2</b> – п. Калинино	<b>P2</b> – п. Чистые Пруды	<b>K2</b> – п. Токаревка
<b>A3</b> – г. Озерск	<b>П3</b> – п. Брянское	<b>P3</b> – п. Новостроевка	<b>K3</b> – п. Ольховатка
<b>A4</b> – г. Черняховск	<b>П4</b> – г. Гусев	<b>P4</b> – п. Подгоровка	<b>K4</b> – п. Липово

Рис. 2. Схема расположения исследуемых водотоков и местоположение пунктов мониторинга.

лизы проведены с помощью прибора двухлучевой спектрофотометрии UV-1800 Shimadzu и системы капиллярного электрофореза “КАПЕЛЬ-105М”.

В качестве предельно допустимых концентраций (ПДК) использовался рыбохозяйственный норматив<sup>6</sup>. Рассчитаны кратности превышения ПДК гидрохимических показателей, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) с учетом и без учета критических показателей загрязнения (КПЗ) за гидрологи-

ческий год и индекс загрязнения воды (ИЗВ) по гидрологическим сезонам<sup>7</sup>.

Границы бассейнов изучаемых рек выделены на основе SRTM снимков в программном пакете SAGA GIS с использованием стандартного встроенного инструментария (Балдаков, Кудишин, 2019; Ермолаев и др., 2018; Чумаченко и др., 2018; Lata, 2020). Исходя из того, что качество воды в реках можно рассматривать как интегральный показатель экологической обстановки на их водосборах, то с учетом этого допущения и при помощи бассейново-ландшафтного подхода были построены схемы пространственной дифференциации ИЗВ и основных загрязняющих веществ (Джамалов и др., 2019; Зотов, 1992,

<sup>6</sup> “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов”; “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 10 марта 2020 года)”: Зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 13 января 2017 года, регистрационный № 45203. <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения 10.05.2024).

<sup>7</sup> Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250-1163. 5 с.; РД 52.24.643-2002 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. <https://docs.cntd.ru/document/1200039667> (дата обращения 10.05.2024).

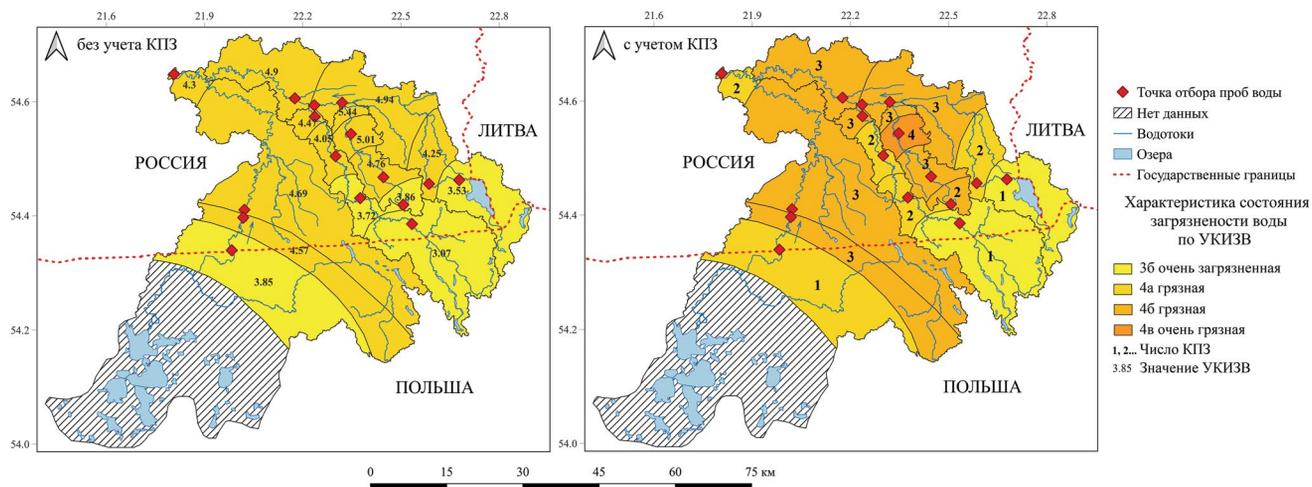


Рис. 3. Пространственное распределение удельного комбинаторного индекса загрязнения воды в бассейне р. Анграпы по четырем гидрологическим сезонам в 2022–2023 гг.

2001; Нагорнова 2012; Lämmchen et al., 2021). Бассейн р. Анграпы был разделен на 4 суббассейна, а они, в свою очередь, поделены на 4 участка, что соответствует количеству выбранных пунктов мониторинга. При формировании границ участков соблюдалась та же логика, что при выборе точек отбора проб. Стоит учесть, что в этом процессе более важна четкая визуализация распространения загрязнений в пространстве и выявление потенциального вектора возможных закономерностей относительно антропогенных и природных факторов для дальнейшего анализа сложившейся ситуации в бассейне, нежели высокая точность.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Отмечены превышения ПДК по аммонии, нитритам, фосфатам, сульфатам, нефтепродуктам, железу и несоответствие нормам по БПК<sub>5</sub>, ХПК, растворенному кислороду.

Расчет УКИЗВ, основанный на учете кратностей превышений ПДК гидрохимических показателей и их повторяемости, показал следующее пространственное распределение загрязнения речных вод (рис. 3).

Пространственная дифференциация загрязнения выражена слабо, качество воды ухудшается от верховьев к устьям. Показатели УКИЗВ в верховьях рек, а также в средней части бассейна р. Красной, варьируют в интервале 3.07–3.86 (очень загрязненная вода) и в остальных частях в интервале 4.05–4.94 (грязная вода). То же можно сказать и про случаи КПЗ, которые по течению реки постепенно увеличиваются от одного до трех, а иногда и до четырех, как например в бассейне р. Русская. Если учитывать этот параметр, то качество воды по пунктам мониторинга распределится следующим образом: 3б очень за-

грязненная (П1, К1); 4а грязная (А1, А4, П2, К2, К3); 4б грязная (А2, А3, П3, П4, К4, Р1, Р2, Р4) и 4в очень грязная (Р3).

Более детальную картину пространственной дифференциации загрязнения речных вод удастся получить посредством расчета ИЗВ (рис. 4).

Качество речных вод закономерно ухудшается от верховьев к устьевым частям в связи с увеличением аккумуляции реками стоков с сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов и индивидуальных домохозяйств. Показатели ИЗВ и качество вод изучаемых рек изменяются: в бассейне р. Анграпы от 2.95 до 6.31 (классы качества вод: загрязненные–грязные–очень грязные), в бассейне р. Писсы от 2.46 до 8.89 (классы качества вод: загрязненные–очень грязные), в бассейне р. Красной от 1.82 до 3.17 (классы качества вод: умеренно загрязненные–грязные), в бассейне р. Русской от 4.94 до 15.93 (классы качества вод: грязные–очень грязные–чрезвычайно грязные). Наибольший вклад в значения ИЗВ вносят кислородные показатели и, особенно, высокие концентрации железа и нефтепродуктов, повышенные концентрации сульфатов, в меньшей степени биогенные элементы: фосфаты и аммоний (рис. 5).

В р. Анграпе концентрации железа превышают ПДК в 100% измерений, нефтепродуктов в 93.75% измерений, БПК в 93.75% измерений, сульфатов в 81.25% измерений, ХПК в 68.75% измерений, растворенного кислорода в 37.50% измерений, фосфатов в 31.25% измерений, аммония в 25.00% измерений. Кратности превышений ПДК имеют следующие осредненные распределения и годовые интервалы: железо 22% (1.51–11.34), нефтепродукты 38% (2.40–73.00), БПК<sub>5</sub> 7% (1.05–3.29), сульфаты 5% (1.04–2.00), ХПК 7% (1.56–3.65), растворенный кислород 9% (3.81–3.87), фосфаты 3% (1.34–2.82), аммоний 2% (2.24–3.22).

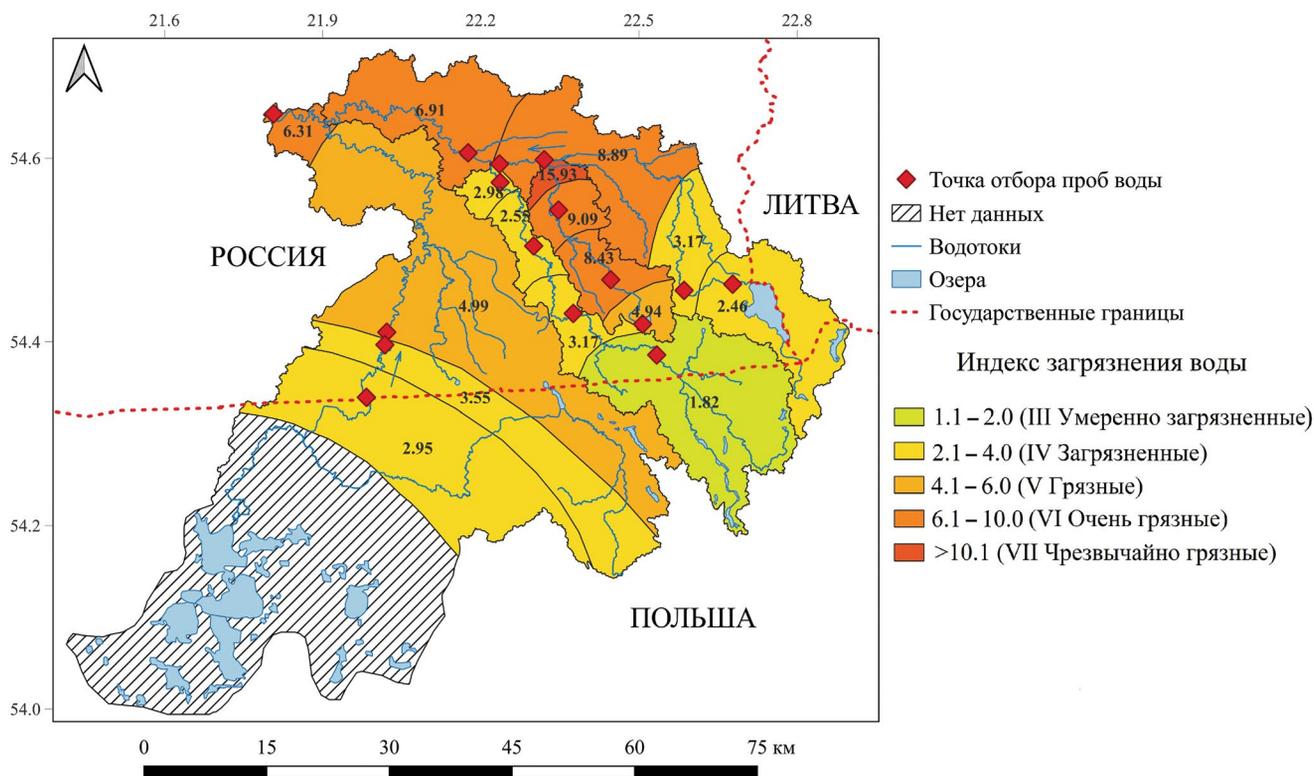


Рис. 4. Схема пространственной изменчивости осредненного по четырем гидрологическим сезонам индекса загрязнения воды в бассейне р. Анграпы за 2022–2023 гг.

В р. Писсе концентрации железа превышают ПДК в 100% измерений, нефтепродуктов в 100% измерений, БПК в 87.50% измерений, сульфатов в 81.25% измерений, ХПК в 68.75% измерений, растворенного кислорода в 37.50% измерений, фосфатов в 37.50% измерений, аммония в 25.00% измерений. Кратности превышений ПДК имеют следующие осредненные распределения и годовые интервалы: железо 20% (1.36–12.14), нефтепродукты 47% (2.60–124.60), БПК5 7% (1.19–5.84), сульфаты 4% (1.08–2.51), ХПК 6% (1.05–4.33), растворенный кислород 6% (2.17–8.43), фосфаты 3% (1.14–3.18), аммоний 2% (2.18–2.88).

В р. Русской концентрации железа превышают ПДК в 93.33% измерений, нефтепродуктов в 100% измерений, БПК в 60.00% измерений, сульфатов в 53.33% измерений, ХПК в 86.67% измерений, растворенного кислорода в 80.00% измерений, фосфатов в 46.67% измерений, аммония в 20.00% измерений. Кратности превышений ПДК имеют следующие осредненные распределения и годовые интервалы: железо 25% (8.18–48.49), нефтепродукты 37% (2.80–111.80), БПК5 3% (1.05–9.11), сульфаты 2% (1.12–3.26), ХПК 3% (1.05–5.15), растворенный кислород 20% (1.02–107.14), фосфаты 2% (1.16–6.68), аммоний 3% (6.60–11.28).

В р. Красной концентрации железа превышают ПДК в 81.25% измерений, нефтепродуктов

в 68.75% измерений, БПК в 75.00% измерений, сульфатов в 37.50% измерений, ХПК в 75.00% измерений, растворенного кислорода в 43.75% измерений, фосфатов в 43.75% измерений, аммония в 18.75% измерений. Кратности превышений ПДК имеют следующие осредненные распределения и годовые интервалы: железо 25% (1.17–11.15), нефтепродукты 19% (1.20–13.00), БПК5 10% (1.19–4.46), сульфаты 5% (1.13–1.61), ХПК 11% (1.11–3.92), растворенный кислород 13% (2.06–7.75), фосфаты 7% (1.14–3.18), аммоний 3% (1.52–2.76).

Значения отмеченных показателей определяются комплексом факторов природного и антропогенного происхождения. Превышения концентраций железа в водах изучаемых рек обусловлены высоким содержанием этого элемента в подземных водах, которые гидравлически связаны с поверхностными водотоками<sup>8</sup> (Глушченко, 2008). Высокие концентрации железа в подземных водах Калининградской области отмечаются повсеместно, что позволяет рассматривать их как диффузный источник поступления железа в поверхностные воды. Подземные воды также оказывают влияние на повышение концентраций сульфатов в речных водах. При-

<sup>8</sup> Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2021 году». Калининград: ООО «ВИА Калининград», 2022. С. 6–80.

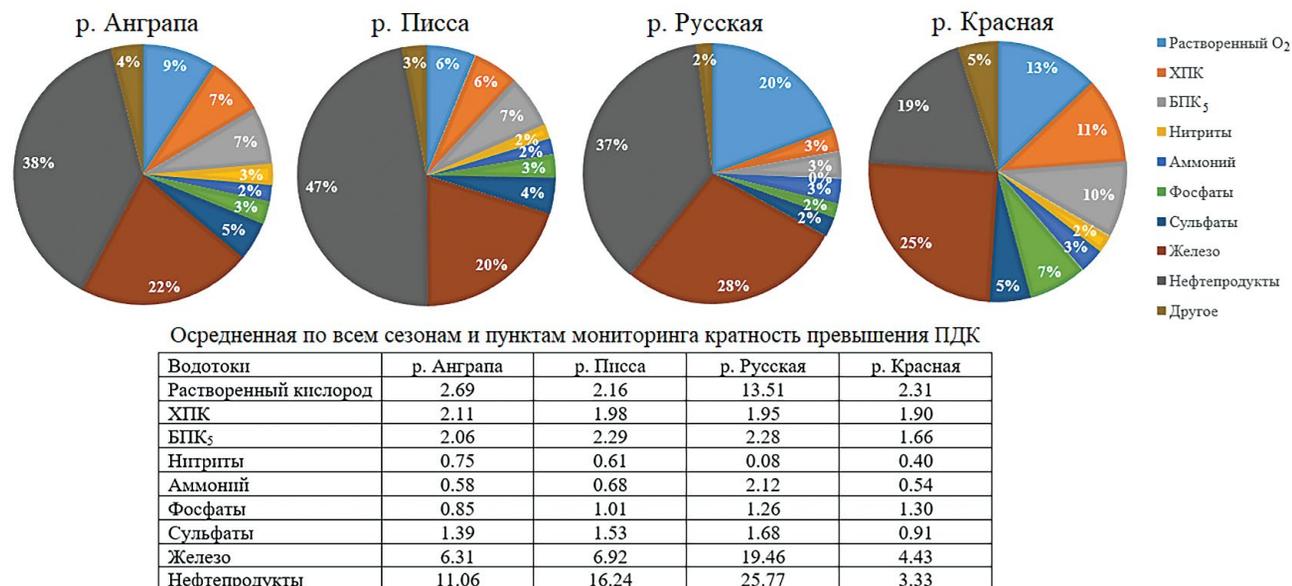


Рис. 5. Процентное распределение осредненной по всем сезонам и пунктам мониторинга кратности превышения ПДК в бассейне р. Анграпы за 2022–2023 гг.

родные факторы в существенной степени определяют повышенные значения БПК и ХПК, которые рассматриваются как индикаторы содержания органических веществ в водах. В районе исследования реки протекают в межморенных понижениях, которые заболочены и являются источниками поступления органического вещества. Важную роль в поступлении органических веществ, а также сульфатов, играют жизненные циклы водной и береговой растительности, бактерий и живых организмов. Антропогенное поступление органического вещества в изучаемые реки связано с промышленными и коммунально-бытовыми стоками от населенных пунктов и индивидуальных домохозяйств. Процессы БПК и ХПК в определяющей степени влияют на концентрации растворенного кислорода в изучаемых реках. С большой вероятностью антропогенные факторы (поступление в водотоки отработанного топлива во время сельскохозяйственных работ, мойка автотранспорта, стоки с предприятий промышленности, коммунального хозяйства, индивидуальных домохозяйств) является основной причиной нефтяного загрязнения речных вод. В связи с тем, что в исследуемом районе отсутствуют разрабатываемые нефтяные месторождения и нефтеперерабатывающие предприятия, необходим дополнительный поиск источников возможного поступления нефтепродуктов в окружающую среду. Наиболее вероятной причиной превышений по фосфатам и аммонии в речных водах можно рассматривать вынос этих элементов с сельскохозяйственных угодий, которые занимают наибольшие площади в бассейнах рек за исключением их верховьев.

Динамика загрязнения речных вод по гидрологическим сезонам представлена на (рис. 6).

Временная изменчивость загрязнения рек в районе исследования в значительной мере определяется водностью гидрологических сезонов, на которую влияют климатические особенности Калининградской области. Результаты исследований рек Калининградской области показывают, что характеристики стока сильно влияют на концентрации вещества в речных водах (Зотов и др., 2021). Поскольку исследование опирается на произведенные нами разовые измерения расходов воды в каждом из рассматриваемых сезонов, а более точных данных в открытом доступе пока не появилось, мы оперируем водностью как таковой, с точки зрения разбавления концентраций химических веществ. Ее привязка к тем или иным фазам водного режима пока гипотетическая из-за недостаточности данных наблюдений. Влияние характеристик стока исследуемых рек на значения ИЗВ показано на рис. 7.

Коэффициент Пирсона показывает высокую отрицательную корреляцию (от  $-0.91$  до  $-0.50$ ) между этими параметрами для рр. Красной, Анграпы и Писсы. Исключение составляет р. Русская, для которой коэффициент составляет:  $-0.38$ .

В связи с изменениями региональных климатических условий (Двоглазова, 2019) имеются предпосылки к изменению протекания фаз водного режима, проявляемое в увеличении продолжительности половодья и уменьшении его пиковых значений, что можно считать следствием уменьшения периодов устойчивого ледостава и аккумулярованием снежно-ледовых масс. Данная ситуация отмечена нами в предыдущих исследованиях (Спирин, 2020, 2021),

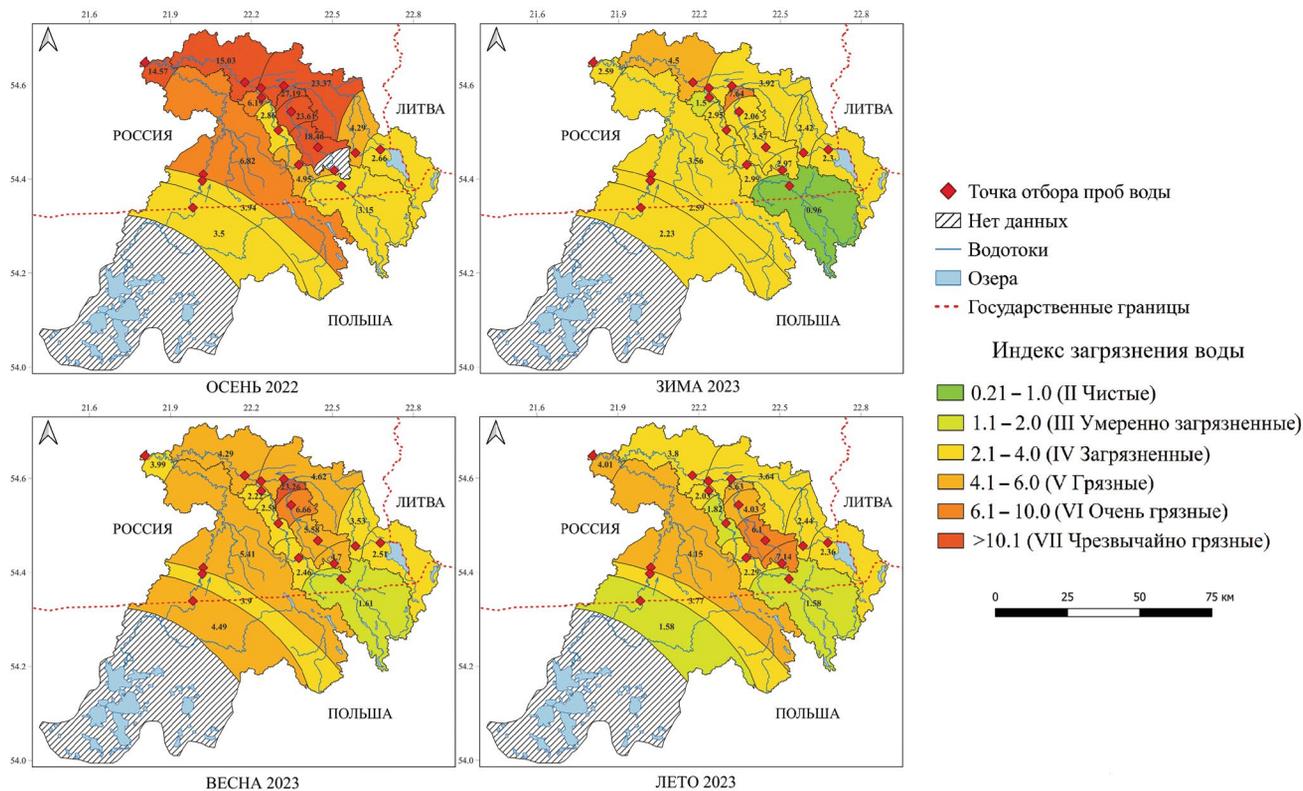


Рис. 6. Динамика загрязнения речных вод по четырем гидрологическим сезонам в бассейне р. Анграпы за 2022–2023 гг.

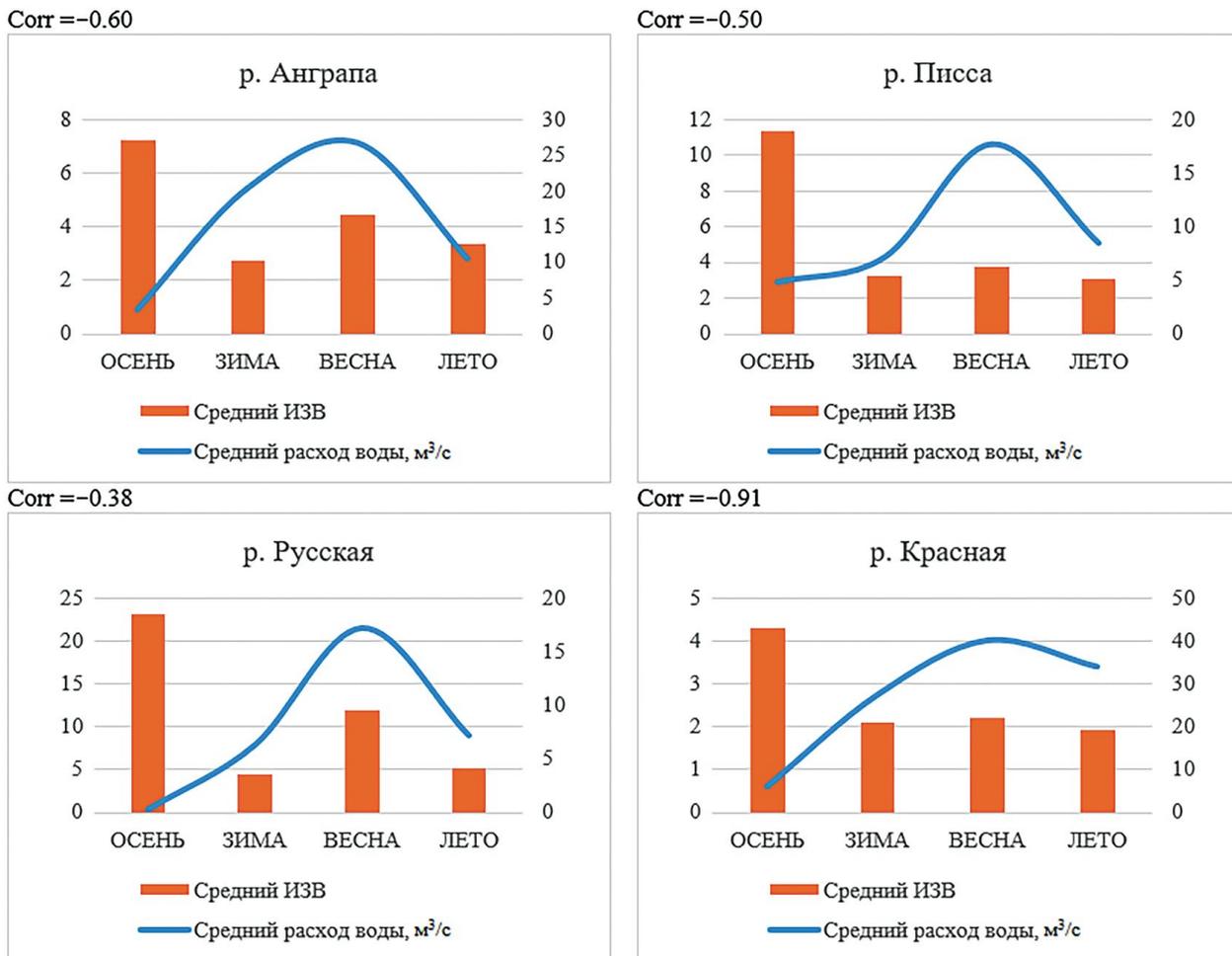


Рис. 7. Средние за сезон индексы загрязнения воды (левая ось) и средние по четырем пунктам расходы воды в реке во время пробоотбора (правая ось, м<sup>3</sup>/с).

а также другими исследователями (Наумов, 2022). По данным наших наблюдений за стоком рек в исследуемом бассейне для 2022–2023 гидрологического года зафиксированы следующие фазы водного режима: осенняя межень, зимние паводки, весеннее половодье и отсутствие летней межени. Несмотря на стандартные для региона фазы, внутри них тоже можно выделить некоторые особенности. Расход осенней межени был очень низкий (тем более для середины осени, когда намного чаще наблюдается начало осенне-зимнего паводка), вплоть до почти полного пересыхания некоторых участков водотоков (например, пункт Р1). То же можно сказать и про существенную величину летнего паводка, особенно в случае р. Красной, когда сток почти такой же, как и в весеннее половодье. Несмотря на сказанное, вопрос требует дополнительной изученности в этом направлении с привлечением большего количества данных многолетних наблюдений (за историческую и оперативную климатические нормы) и последующим их сравнительным анализом.

Продолжительную осеннюю межень можно рассматривать как одну из причин высоких значений ИЗВ (см. рис. 6) и неблагоприятного качества вод в осенний сезон: в р. Анграпе – очень грязные, в р. Писсе – чрезвычайно грязные, в р. Русской – чрезвычайно грязные, в р. Красной – загрязненные. В зимний сезон с увеличением водности рек классы качества воды улучшились: в р. Анграпе – загрязненные, в р. Писсе – загрязненные, в р. Русской – грязные, в р. Красной – загрязненные. В весенний сезон отмечено половодье, высокая водность сохранилась и в летний период, качество вод незначительно изменилось по сравнению с зимним сезоном, за исключением р. Русской. В р. Анграпе: в весенний период – грязные, в летний период – загрязненные; в р. Писсе: в весенний период – загрязненные, в летний период – загрязненные; в р. Русской: в весенний период – чрезвычайно грязные, в летний период – грязные; в р. Красной: в весенний период – загрязненные, в летний период – умеренно-загрязненные. Наиболее загрязнена р. Русская, что отмечается во все гидрологические сезоны (классы качества вод – грязные и чрезвычайно грязные). Проведенные измерения показали, что для р. Русской характерны наименьшие глубины и скорости течения. Фактор изменения водности этой реки не имеет такого большого влияния на загрязнение и качество вод по сравнению с другими изучаемыми реками.

В разрезе гидрологических сезонов динамика веществ, на основе которых рассчитывался ИЗВ, имеет свою специфику. Наибольший вклад в повышение ИЗВ во все гидрологические сезоны внесли высокие концентрации нефте-

продуктов и железа, что свидетельствует о постоянных источниках поступления этих веществ в реки. В случае с нефтепродуктами в качестве основного источника рассматривается антропогенная деятельность, высокие концентрации железа связаны с поступлением его из подземных вод, имеющих гидравлическую связь с реками. Фактор подземных вод также является основным для повышенных концентраций сульфатов в водотоках во все гидрологические сезоны. Зафиксировано повсеместное превышение ПДК по БПК<sub>5</sub>, что можно рассматривать как индикатор постоянно идущих процессов биологического разложения в реках. Наибольшие значения БПК<sub>5</sub> характерны для осени. В этот же период отмечены значения ХПК ниже ПДК в отличие от других гидрологических сезонов. Эта ситуация осенью объясняется наличием в речных водах легко окисляемых органических веществ, поступающих с нефтепродуктами с низким октановым числом (дизельное топливо), а также гибелью водной и береговой растительности, которой богата исследуемая территория. Максимальные значения концентраций растворенного кислорода в реках отмечены в летний период, что обусловлено активизацией процессов фотосинтеза водной и околоводной растительности. Превышение ПДК по азотным соединениям (аммонию и нитритам) характерно для осеннего периода. Основная причина – разложение отмирающей водной и околоводной растительности и поступление этих веществ со стоком с сельскохозяйственных угодий. С этими же факторами связаны повышенные концентрации фосфора в осенний и летний гидрологические сезоны.

## ВЫВОДЫ

Качество вод рек юго-восточной части Калининградской области по удельному комбинаторному индексу загрязнения вод изменяется от очень загрязненной до грязной (с учетом КПЗ от очень загрязненной до очень грязной), по индексу загрязнения вод от загрязненной до чрезвычайно загрязненной. В соответствии с обоими индексами качество речных вод закономерно ухудшается от верховьев, которые находятся в лесных угодьях, к средним и устьевым частям в связи с увеличением аккумуляции реками стоков с сельскохозяйственных земель, населенных пунктов и индивидуальных домохозяйств. Наибольший вклад в значения индексов загрязнения вод и, соответственно, качества вод вносят высокие концентрации нефтепродуктов и железа, повышенные значения ХПК и БПК, сульфатов, аммония, нитритов, фосфатов. Показатели ИЗВ и качество вод изучаемых рек изменяются: в бассейне р. Анграпы от 2.95 до 6.31 (классы качества вод: загрязненные–грязные–

очень грязные), в бассейне р. Писсы от 2.46 до 8.89 (классы качества вод: загрязненные—очень грязные), в бассейне р. Красной от 1.82 до 3.17 (классы качества вод: умеренно загрязненные—грязные), в бассейне р. Русской от 4.94 до 15.93 (классы качества вод: грязные—очень грязные—чрезвычайно грязные).

Высокие концентрации железа и повышенные значения сульфатов связаны с поступлением из подземных вод, имеющих гидравлическую связь с реками. Превышение ПДК по нефтепродуктам, в том числе аномально высокое, обусловлено, с большой вероятностью, антропогенной деятельностью: поступлением в водотоки отработанного топлива во время сельскохозяйственных работ, мойкой автотранспорта, стоками с предприятий промышленности, коммунального хозяйства, индивидуальных домохозяйств. Несоответствие нормативным требованиям по показателям БПК, ХПК, растворенному кислороду связано с избыточным поступлением в речные воды органических веществ как природного происхождения (жизненные циклы водной и около водной растительности, заболоченные межморенные понижения), так и антропогенного генезиса (стоки различных видов хозяйственной деятельности). Повышенные концентрации биогенных веществ (аммония, нитритов, фосфатов) обусловлены поверхностным смывом с сельскохозяйственных угодий и стоками с индивидуальных домохозяйств, процессами разложения водной и околоводной растительности. Существенное влияние на качество вод оказало протекание гидрологических сезонов для 2022—2023 гидрологического года: отмечены осенняя межень, зимние паводки, весеннее половодье и отсутствие летней межени. Наихудшее качество речных вод отмечено в период межени в осенний гидрологический сезон: в р. Анграпе — очень грязные, в р. Писсе — чрезвычайно грязные, в р. Русской — чрезвычайно грязные, в р. Красной — загрязненные. В зимний, весенний и летний гидрологические сезоны с увеличением водности рек классы качества воды улучшились. Высокие уровни химического загрязнения и неудовлетворительное качество вод исследуемых рек, неблагоприятное экологическое состояние их водосборов определяются комплексом природных и антропогенных факторов. Расположение в бассейнах изучаемых рек особо охраняемой природной территории — национального парка “Виштынецкий” придает более высокую значимость результатам исследований. Рассмотрение параметров водного и химического стока как показателей геоэкологического состояния территории национального парка позволит более квалифицированно оценить негативные антропогенные воздействия и разработать меры по их снижению.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Картографирование и работа с ГИС выполнены в Институте географии РАН в рамках государственного задания № FMWS-2024-0007.

## FUNDING

Mapping and GIS work were carried out in the IGRAS within the framework of the state assignment no. FMWS-2024-0007.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахмедова Н.Р., Наумов В.А.* Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса // Вестн. ИШ ДВФУ. 2022. № 2 (51). С. 105—111. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>
- Балдаков Н.А., Кудишин А.В.* Автоматизация расчета характеристик водосборного бассейна для решения задач моделирования поверхностного стока // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2019. Т. 4. № 1. С. 83—89. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89>
- Барينو́ва Г.М.* Калининградская область. Климат. Калининград: Изд-во Янтарный сказ, 2002. 196 с.
- Белякова А.М., Зуева Н.В.* Оценка качества воды городской реки по гидрохимическим индексам (река Охта, Санкт-Петербург) // Тр. Карельского научного центра РАН. 2021. № 9. С. 72—84. <https://doi.org/10.17076/lim1458>
- Берникова Т.А., Тылик К.В., Цветкова Н.Н.* Физико-географическая характеристика реки Красной— памятника природы гидрологического профиля Калининградской области // Изв. КГТУ. 2019. № 52. С. 11—23.
- Валиев В.С., Иванов Д.В., Шагидуллин Р.Р. и др.* Оценка вклада загрязняющих веществ в формирование класса загрязненности поверхностных вод // Рос. журн. прикладной экологии. 2018. № 3 (15). С. 57—64.
- Глущенко А.И.* Экологическое состояние и качество подземных вод Калининградского скважинного водозабора // Вестн. Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2008. № 1. 28 с.
- Двоглазова Н.В.* Современное состояние климатической системы Калининградской области на фоне глобального потепления // Вестн. Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2019. № 1. С. 35—45.
- Джамалов Р.Г., Мироненко А.А., Мягкова К.Г. и др.* Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 2. С. 149—160. <https://doi.org/10.31857/S0321-0596462149-160>

- Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Мухарамова С.С. и др.* Картографическая модель бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены // Ученые записки Казанского ун-та. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 160. № 1. С. 126–144.
- Зотов С.И.* Моделирование состояния геосистем. Калининград: Изд-во Калининград. гос. ун-та, 2001. 237 с.
- Зотов С.И.* Бассейново-ландшафтная концепция природопользования // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 6. С. 55–56.
- Зотов С.И., Спиринов Ю.А., Таран В.С., Королева Ю.В.* Гидрологические особенности и геоэкологическое состояние малых водотоков пойменных территорий Калининградской области // Географический вестн. 2021. № 3 (58). С. 92–106. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-3-137-152>
- Кирейчева Л.В., Лентяева Е.А.* Влияние сельскохозяйственного производства на загрязнение водных объектов // Природообустройство. 2020. № 5. С. 18–26. <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2020-5-18-27>
- Кирпичникова Н.В., Полянин В.О., Курбатова И.Е., Черненко Ю.Д.* Критерии оценки экологического состояния водосборов малых рек и выноса биогенных веществ в Ивановское водохранилище // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 6. С. 81–105. <https://doi.org/10.35567/1999-4508-2021-6-5>
- Лазарева Н.Н.* Почвенная карта // Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. С. 56–57.
- Литвин В.М.* Рельеф и геоморфологическое районирование // Калининградская область. Очерки природы / сост. Д.Я. Беренбейм; науч. ред. В.М. Литвин. Калининград: Янтарный сказ, 1999. С. 36–53.
- Нагорнова Н.Н.* Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области. Дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2012. С. 8–19.
- Нагорнова Н.Н., Берникова Т.А., Цупикова Н.А.* Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестн. Балтийского федерального ун-та им. И. Канта. 2011. № 7. С. 160–166.
- Наумов В.А.* Внутригодовое распределение стока рек Калининградской области в 2020 году // Вестн. науки и образования Северо-Запада России. 2022. Т. 8. № 3. С. 35–44.
- Наумов В.А., Ахмедова Н.Р.* Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи. Калининград: Изд-во Калининград. гос. технический ун-т, 2017. 183 с.
- Полухин А.А., Заговенкова А.Д., Хлебонашев П.В. и др.* Гидрохимический состав стока рек Абхазии и особенности его трансформации в прибрежной зоне // Океанология. 2021. Т. 61. № 1. С. 21–31. <https://doi.org/10.31857/S0030157420060118>
- Спиринов Ю.А.* Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района Калининградской области // Вестн. Удмуртского ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31. № 2. С. 185–197. <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-2-185-197>
- Спиринов Ю.А.* Анализ внутригодового распределения стока рек Славского района Калининградской области // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44. № 2. С. 231–242. <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242>
- Сухова А.А.* Растительность // Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. С. 58–59.
- Сухова А.А., Козлович И.И.* Ландшафтная карта // Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. С. 62–63.
- Тылик К.В.* Гидроэкологические особенности реки Красной – памятника природы гидрологического профиля Калининградской области // Изв. КГТУ. 2021. № 61. С. 39–50. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-61-39-50>
- Чумаченко А.Н., Хворостухин Д.П., Морозова В.А.* Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 18. № 2. С. 104–109. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109>
- Шамонина Т.В., Нелюбина Е.А.* Анализ водного использования бассейна реки Писсы // Вестн. науки и образования Северо-Запада России. 2017. № 2. С. 1–8.
- Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J.* Spatial Modelling of Micro-pollutants in a Strongly Regulated Cross-border Lowland Catchment // Environmental Processes. 2021. Vol. 8. P. 973–992.
- Lata I.* Catchment Delineation for Vjosa River WEAP Model, using QGIS Software // J. of Int. Environ. Application and Science. 2020. Vol. 15 (4). P. 203–215.

## Assessment of Chemical Pollution and Water Quality of Rivers in the Southeastern Part of Kaliningrad Oblast

S. I. Zotov<sup>a</sup>, Yu. A. Spirin<sup>b, \*</sup>, and V. S. Taran<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

\*e-mail: spirin.yuriy@rambler.ru

The article discusses the results of researches on chemical pollution and water quality of the Angrapa, Pissa, Krasnaya and Russkaya rivers, which belong to the Pregolya River basin and form the basis of the river network of the southeastern part of Kaliningrad oblast. Monitoring of these watercourses was planned and carried out at 16 sites during the 2022–2023 hydrological seasons. Hydrological measurements and sampling for subsequent chemical analysis were carried out on October 15, 2022, January 15, 2023, April 23, 2023, and July 19, 2023. The main pollutants in the rivers were identified: petroleum products, iron, sulfates, ammonium, nitrites, phosphates and non-compliance with MPC standards in terms of BOD, COD and dissolved oxygen. The specific combinatorial index of water pollution and the water pollution index were calculated and presented cartographically. The spatial differentiation of water quality in the studied rivers reflects a natural deterioration from the headwaters to the estuaries due to the increased accumulation of river runoff from agricultural lands, settlements and individual households. During the study period, the following phases of the water regime were observed: autumn low water, winter floods, spring high water, and the absence of summer low water. This factor, together with anthropogenic impacts, has a significant impact on the water quality, which varies from polluted to extremely polluted. It can be said that the ecological state of the studied watercourses and their river basins is unfavorable.

**Keywords:** dynamics of watercourse pollution, Angrapa River basin, hydrochemical analysis, water quality, mapping of river pollution, comparative analysis of pollution, anthropogenic impacts

### REFERENCES

- Akhmedova N.R., Naumov V.A. Dynamics of the annual runoff module in the Pissa River basin. *Vestn. ISH DVFU*, 2022, no. 2, pp. 105–111. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>
- Baldakov N.A., Kudishin A.V. Automation of calculation of watershed characteristics for solving surface runoff modeling problems. *Interespo Geo-Sibir'*, 2019, vol. 4, no. 1, pp. 83–89. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89>
- Barinova G.M. *Kaliningradskaya oblast'. Klimat* [Kaliningrad Region. Climate.]. Kaliningrad: Yantarny Skaz Publ., 2002. 196 p.
- Belyakova A.M., Zueva N.V. Assessment of the water quality of an urban river by hydrochemical indices (Okhta River, St. Petersburg). *Tr. Karel. Nauch. Tsentra RAN*, 2021, no. 9, pp. 72–84. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.17076/lim1458>
- Bernikova T.A., Tylik K.V., Tsvetkova N.N. Physiographic characteristics of the Krasnaya River – a natural monument of hydrological profile of the Kaliningrad region. *Izv. KGTU*, 2019, no. 52, pp. 11–23. (In Russ.).
- Chumachenko A.N., Khvorostukhin D.P., Morozova V.A. Construction of a hydrologically correct digital relief model (using the example of the Saratov region). *Izv. Saratov. Univ. Nov. Ser.: Nauki Zemle*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 104–109. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109>
- Dvoeglazova N.V. The current state of the climate system of the Kaliningrad region against the background of global warming. *Vestn. Balt. Fed. Univ Kanta. Ser.: Estest. Med. Nauki*, 2019, no. 1, pp. 35–45. (In Russ.).
- Dzhamalov R.G., Mironenko A.A., Myagkova K.G., et al. Space–time analysis of hydrochemical composition and pollution of water in the Northern Dvina basin. *Water Resour.*, 2019, vol. 46, pp. 188–198.  
<https://doi.org/10.1134/S0097807819020040>
- Ermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S., et al. Cartographic model of basin geosystems of small rivers in the Lena River catchment. *Uchen. Zapisk. Kazan. Univ. Ser.: Estest. Nauki*, 2018, vol. 160, no. 1, pp. 126–144. (In Russ.).
- Glushchenko A.I. Ecological state and quality of groundwater in the Kaliningrad borehole water intake. *Vestn. Balt. Fed. Univ. Kanta. Ser.: Estest. Med. Nauki*, 2008, no. 1, pp. 25–31. (In Russ.).
- Kireicheva L.V., Lentyaeva E.A. The influence of agricultural production on water pollution. *Prirodoobustr.*, 2020, no. 5, pp. 18–26. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.26897/1997-6011/2020-5-18-27>
- Kirpichnikova N.V., Polyanin V.O., Kurbatova I.E., Chernenko Yu.D. Criteria for assessing the ecological state of small river catchments and the removal of nutrients into the Ivankovo Reservoir. *Vodn. Khoz. Ross.: Probl., Tekhnol., Upravl.*, 2021, no. 6, pp. 81–105. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.35567/1999-4508-2021-6-5>

- Lämmchen M., Klasmeier J., Hernandez-Leal L., Berlekamp J. Spatial modeling of micro-pollutants in a strongly regulated cross-border lowland catchment. *Environ. Proc.*, 2021, vol. 8, pp. 973–992.
- Lata I. Catchment delineation for Vjosa River WEAP Model, using QGIS software. *J. Int. Environ. Appl. Sci.*, 2020, vol. 15, no. 4, pp. 203–215.
- Lazareva N.N. Soil Map. In *Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Orlov V.V., Ed. Kaliningrad: KSU Publ.; TsNIT, 2002, pp. 56–57. (In Russ.).
- Litvin V.M. Relief and Geomorphological Zoning. In *Kaliningradskaya oblast'. Ocherki prirody* [Kaliningrad Region. Essays on Nature]. Litvin V.M., Ed. Kaliningrad: Yantarny Skaz Publ., 1999, pp. 36–53. (In Russ.).
- Nagornova N.N. Geocological assessment of the state of small watercourses in the Kaliningrad region. *Cand. Sci. (Geogr) Dissertation*. Kaliningrad: Kaliningrad. Gos. Tekh. Univ., 2012. 203 p.
- Nagornova N.N., Bernikova T.A., Tsupikova N.A. Hydrogeochemical characteristics of small rivers of the Kaliningrad region. *Vestn. Balt. Fed. Univ. Kanta*, 2011, no. 7, pp. 160–166. (In Russ.).
- Naumov V.A. Intra-annual distribution of river flow in the Kaliningrad region in 2020. *Vestn. Nauki Obrazov. Severo-Zapada Ross.*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 35–44. (In Russ.).
- Naumov V.A., Akhmedova N.R. *Inzhenernye izyskaniya v basseine reki Pregoli* [Engineering Surveys in the Pregolya River Basin]. Kaliningrad: Izd-vo Kaliningrad. Gos. Tekh. Univ., 2017. 183 p.
- Polukhin A.A., Zagovenkova A.D., Khlebopashev P.V., et al. Hydrochemical composition of the runoff of Abkhazian rivers and the distinctive features of its transformation in the coastal zone. *Oceanology*, 2021, vol. 61, pp. 15–24.  
<https://doi.org/10.1134/S0001437020060090>
- Shamonina T.V., Nelyubina E.A. Analysis of water use of the Pissa River basin. *Vestn. Nauki Obrazov. Severo-Zapada Ross.*, 2017, no. 2, pp. 1–8. (In Russ.).
- Spirin Yu.A. Analysis of the intra-annual distribution of river flow in the Slavsky district of the Kaliningrad region. *Reg. Geosist.*, 2020, vol. 44, no. 2, pp. 231–242. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-2-231-242>
- Spirin Yu.A. Hydrological characteristics of river flow in geocological studies of surface waters of the Slavsky district of the Kaliningrad region. *Vestn. Udmurt. Univ. Ser.: Biol. Nauki Zemle*, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 185–197. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.35634/2412-9518-2021-31-2-185-197>
- Sukhova A.A. Vegetation. In *Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Eaglet V.V., Ed. Kaliningrad: KSU Publ.; CNIT, 2002, pp. 58–59. (In Russ.).
- Sukhova A.A., Kozlovich I.I. Landscape Map. In *Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Eaglet V.V., Ed. Kaliningrad: KSU Publ.; CNIT, 2002, pp. 62–63. (In Russ.).
- Tylik K.V. Hydroecological features of the Krasnaya River – a natural monument of the hydrological profile of the Kaliningrad region. *Izv. KGTU*, 2021, no. 61, pp. 39–50. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-61-39-50>
- Valiev V.S., Ivanov D.V., Shagidullin R.R., et al. Assessment of the contribution of pollutants to the formation of the pollution class of surface waters. *Ros. Zh. Priklad. Ekol.*, 2018, no. 3, pp. 57–64. (In Russ.).
- Zotov S.I. Basin-landscape concept of environmental management. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1992, no. 6, pp. 55–56. (In Russ.).
- Zotov S.I. *Modelirovanie sostoyaniya geosystem* [Modeling the State of Geosystems]. Kaliningrad: Izd-vo Kaliningrad. Gos. Univ., 2001. 237 p.
- Zotov S.I., Spirin Yu.A., Taran V.S., Koroleva Yu.V. Hydrological features and geocological state of small watercourses in polder territories of the Kaliningrad region. *Geogr. Vestn.*, 2021, no. 3, pp. 92–106. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-3-137-152>

УДК 591.9

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ТИПОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕТНЕГО НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ ХЭНТЭЙ-ЧИКОЙСКОГО НАГОРЬЯ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

© 2024 г. Ю. С. Равкин<sup>1,\*</sup>, И. В. Покровская<sup>2</sup>, Е. Э. Малков<sup>3</sup>, И. Н. Богомолова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>3</sup>Сохондинский государственный заповедник, Россия

\*e-mail: yravkin@bk.ru

Поступила в редакцию 22.12.2023 г.

После доработки 28.05.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Статья написана на основе данных, собранных с 1981 по 1985 г. и с 1989 по 2016 г. Ранее были проанализированы материалы по населению птиц по 1985 г. За прошедшие 30 лет модернизировано программное обеспечение для анализа данных. Поэтому цель статьи включает сопоставление результатов работ, полученных на первом этапе исследований и после добавления данных, а также обновления программ по их обработке. Работы выполнены в рамках нового направления – факторной зоогеографии. В нем широко использованы приемы прикладной статистики, которые для решения поставленных задач эффективнее ранее разработанных методов. После модернизации математического аппарата и дополнения выборки вновь собранными материалами прослеживается бóльшая степень обобщения представлений при значительном сходстве выявленных территориальных трендов в комплексах птиц региона. Это подтверждено неметрическим шкалированием.

**Ключевые слова:** орнитокомплексы, классификация, структура, организация, факторы, оценки связи, кластерный анализ, шкалирование

DOI: 10.31857/S2587556624040096 EDN: RPJRMU

### ВВЕДЕНИЕ

В Сохондинском заповеднике В.Н. Сметанин (1989) проводил учеты птиц в летний период в 1981 г. и с 1983 по 1985 г. в пределах российской части Хэнтэй-Чикойского нагорья. Обработка этих материалов выполнена в банке данных лаборатории зоологического мониторинга Института систематики и экологии животных СО РАН. За прошедшие после этого годы собраны дополнительные сведения по указанному нагорью Е.Э. Малковым и И.В. Покровской в пределах юга Восточного Забайкалья и в Монголии. В то же время в упомянутом банке данных разработаны и апробированы некоторые новые методы и подходы к анализу географической неоднородности животного населения, позволяющие проводить обобщение собранной информации эффективнее и с меньшими затратами. Результаты применения этих подходов на всем массиве данных по Хэнтэй-Чикойскому нагорью и послужили основой для написания статьи. Цель ее заключается в обобщении информации, собран-

ной с 1981 по 2016 г., и оценке надежности представлений, полученных ранее в пределах России и с дополнением более поздних данных, включающих результаты учетов в монгольской части нагорья и использования модернизированных программ обработки данных.

### РАЙОНЫ РАБОТ

**Растительность и ландшафтная структура.** Забайкалью свойственно тесное переплетение широтных зон, подзон и вертикальных поясов растительности. Так, горные лесостепи распространены в этом регионе почти до 53° северной широты и в Южном Забайкалье поднимаются по склонам до 1200 м над ур. м. Хэнтэй-Чикойское нагорье в целом считают горнотаежной территорией, здесь выделяют 5 высотных поясов растительности (Васильченко, Галанин, 1983; Сметанин, 1989).

**Лесостепной пояс.** Расположен на высотах от 900 до 1200 м над ур. м. и представлен так называемой экспозиционной лесостепью. Участки сте-

пей фрагментарны, их не выделяют в отдельный пояс растительности. Наиболее обширны они на днищах межгорных котловин. В лесостепном поясе распространен один тип ландшафта.

Лесостепное низкогорье включает в себя межгорные котловины и остепненные долины. Выделяется 11 типов урочищ:

- мелкодерновинно-злаковые степи долинных шлейфов днищ котловин;
- поля яровых (пшеницы, овса, рапса) и картофеля;
- пойменные кочковатые переувлажненные луга;
- склоновые разнотравно-типчаково-пижмовые степи;
- склоновая лесостепь;
- остепненные закустаренные луга высоких пойменных террас;
- остепненные луга-сенокосы высоких пойменных террас;
- пойменный комплекс широких степных рек;
- приручьевые луга-кустарники днищ межгорных котловин;
- пойменные тополево-лиственничные леса паркового типа;
- пойменные травяные тополево-березово-лиственничные леса.

**Нижний лесной пояс.** Распространен на высотах 1200–1600 м над ур. м. Образован светлохвойными лесными формациями. Обычно доминируют лиственница даурская и сосна обыкновенная, реже – береза плосколистная. В поймах, кроме того, произрастает тополь душистый, черемуха и различные виды ив. Преобладают разнотравные, рододендроновые и ерниковые типы леса. Выделено 3 ландшафта.

**Лесо-луговые низкогорные долины.** Здесь выделено 3 типа урочищ:

- долинные луга у устьев притоков р. Чикой;
- луга-перелески долины р. Чикой;
- сложные тополево-березово-лиственничные леса с елью и кедром пойм притоков р. Чикой.

**Сосновое низкогорье.** Представлено фрагментами склоновых и плакорных сосняков у нижней границы леса. Выделено 4 типа урочищ:

- лиственнично-сосновые леса;
- разреженные сосняки по гривам сопок;
- остепненные южные склоны;
- пойменные кустарники узких распадков.

**Лиственнично-таежное низкогорье.** Наиболее типичный ландшафт нижнего лесного пояса. Растительность представлена, в основном, березово-лиственничными лесами различных типов. Выделено 7 типов урочищ:

- плакорные березово-лиственничные леса;
- березово-лиственничные леса северных склонов;
- склоновые лиственничники с отдельными кедрами в подлеске;
- склоновые вторичные осиново-березовые леса;
- склоновые разреженные лиственничники с остепненными опушечными лугами;

– долинные лиственничные редины с лугами и ерниками;

– пойменные ерники-ивняки.

**Долинные заболоченные луга** занимают расширенные участки речных долин. Большая часть их залита водой. Травяной покров низкорослый, сформирован различными видами осок и пушицей. Встречаются небольшие куртины лиственниц и пятна ерников.

## ВЕРХНИЙ ЛЕСНОЙ ПОЯС

Расположен на высотах от 1600 до 1900 м над ур. м. В его составе 4 ландшафта.

**Лиственнично-елово-кедрово-таежные среднегорные долины** разделены на 4 типа урочищ:

- долинные разреженные елово-кедрово-лиственничные леса;
- долинные ельники;
- высокие пойменные кустарники верхнего течения рек;
- ерниковые тундры у истоков рек.

**Лиственнично-кедрово-таежные среднегорные склоны** подразделены на три типа урочищ:

- склоновые лиственнично-кедровые леса;
- сосновые боры на песчаных гривах;
- разреженные пихтово-лиственнично-кедровые леса с каменистыми россыпями по крутым юго-восточным склонам долин.

**Елово-лиственнично-кедрово-таежные подгольцовые склоны и перевалы** подразделены на 2 типа урочищ:

- подгольцовые приручьевые высокобонитетные кедрачи;
- разреженные елово-лиственнично-кедровые леса с подлеском из кедрового стланика.

**Лиственнично-таежное среднегорье** занимает нижнюю часть пояса, где господствуют кедрово-лиственничные леса и почти чистые лиственничники. Выделено 6 типов урочищ:

- склоновые кедрово-лиственничные леса;
- разреженные кедрово-березово-лиственничные леса крутых юго-западных склонов долин;
- водораздельные ерниковые лиственничники;
- редколесные морено-озерные водораздельные комплексы;
- плакорные мохово-багульниковые лиственничники;
- лиственничные мари по берегам таежных озер.

**Подгольцовый пояс.** Занимает высоты от 900 до 2100 м над ур. м. Представлен одним ландшафтом.

**Лиственнично-кедрово-таежное редколесное среднегорье** сильно изменено пожарами сорокалетней и более давности. Выделено 3 типа урочищ:

- сосново-лиственнично-кедровое редколесье верховьев троговых долин;
- подгольцовое лиственнично-кедровое редколесье с участками старых гарей;
- облесенные днища каров.

**Гольцовый пояс.** Расположен на высотах более 2000 м над ур. м., представлен двумя ландшафтами.

*Горно-тундровое высокогорье* занимает обширные, ровные и плоские гольцовые террасы и вершины. Подразделено на 2 типа урочищ.

*Горные тундры. Разреженные заросли кедрового стланика на склонах гольцовых террас.*

*Альпийское высокогорье.* Представлено на очень небольшой площади гольцов и подразделено на 2 типа урочищ.

*Каровые альпийские луга.*

*Скальные и обвально-осыпные стенки каров.*

**Озера и реки.**

*Степные озера* днищ межгорных котловин.

*Таяжные озера* верхнего лесного пояса.

*Каровые озера.*

Население птиц рек и их берегов рассмотрены без деления по высотам местности.

**Поселки.** Для района исследований характерна одна из самых низких в Российской Федерации плотность населения — менее 1 чел./км<sup>2</sup>. Поселки и небольшие села расположены, в основном, в долинах рек. В зависимости от застроенности, выделяется 3 типа поселков:

— *крупные села;*

— *редкозастроенные поселки;*

— *заброшенные рудники верхнего лесного пояса.*

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Учеты птиц проведены в I и II половинах лета с 15.05 по 15.07 и далее по 31.08, в основном, в 1981–1985 и в меньшем объеме в 1989–1998, 2003–2005, 2009, 2012, 2013, 2015 и 2016 гг. Всего обследовано 84 местообитания птиц, в основном, в пределах Сохондинского заповедника в Российской Федерации (Кыринский, Улетовский, Красночикойский и Балецкий районы Забайкальского края), а также в Селенгинском и Хэнтэйском аймаках Монголии. Протяженность учетных маршрутов составляет около 26150 км.

Методы сбора материала и его обработки опубликованы ранее (Равкин, 1967; Равкин, Ливанов, 2008; Равкин и др., 1978; Трофимов, Равкин, 1980; Науне, 1949). Ниже описаны лишь особенности использованных методов.

Использованные нами подходы и программное обеспечение специально разработаны и апробированы для решения задач по выявлению пространственно-типологической изменчивости животного населения по значительным эмпирическим выборкам, составленным по результатам количественных учетов. Подобные исследования относят к факторной зоогеографии (Равкин, Ливанов, 2008), макроэкологии или географической экологии (Badgley and Fox, 2000; Currie, 1991). Обычно такие исследования проводят по отдельным параметрам биоразнообра-

зия, например, при исследованиях изменений по широтному градиенту [см. обзор (Willig et al., 2003)]. Как правило, используют данные по видовому богатству тех или иных групп животных или растений по квадратам земной поверхности или океана (Currie, 1991; Gaston et al., 2007; Kaufman and Willig, 1998; Simpson, 1964; Zamora and Barea-Azcon, 2015), реже видовому разнообразию (Bellard et al., 2012; Blonder et al., 2017), индекс доминирования Симпсона, суммарная биомасса и количество потребленной энергии (Currie, 1991; Frastoe, 2014). Такие данные позволяют проводить анализ по двум трендам — широтному и долготному. Объяснением выявленных направлений в неоднородности служат изменения тепло- и реже влагообеспеченности в среднем и мелком масштабе. Наш подход сводится к оценке обилия животных в пересчете на единицу площади по типам ландшафтных урочищ. Это позволяет оценить коррелятивную связь изменчивости сообществ (статистических ансамблей с внешним ограничением) или конкретных фаун в более крупном масштабе по значительно большому числу параметров (кроме тепло- и влагообеспеченности еще и степени облесенности местности, составу и типу растительного покрова, рельефу — поемности, заболоченности, застроенности, распашки и других природно-антропогенных факторов, а также их неразделимых сочетаний). Последнее особенно важно, так как в природе факторы, как правило, не только не ортогональны, но и влияют друг на друга, усиливая или ослабляя силу воздействия на животное население. Использование природно-антропогенных режимов для аппроксимации и прогнозирования изменчивости животного населения и растительности позволяет сокращать список значимых структурообразующих особенностей среды, что увеличивает надежность и полноту объяснения изменчивости сообществ и ее прогнозов.

Работы в таком масштабе, такого уровня детальности и при проведении количественных учетов животных проводят чаще для выявления влияния отдельных интересующих исследователя факторов — расстояния между сообществами, пожаров, фрагментации, неоднородности растительности, вырубki лесов, статуса охраны и использования территории и, как правило, на небольших площадях (Chapman and Reich, 2007; Clavero et al., 2011; Jutzwiller and Barrow Jr., 2002; Martinez-Morales, 2005; Simons et al., 2006; Soininen et al., 2007).

Другим отличием при анализе можно считать еще один прием. Обычно для расчетов корреляции выбирают один из наиболее вероятных, известных по предшествующим работам, факторов среды. Наш подход предусматривает специальный поиск режимов и образующих их простых

факторов, которые выявляют с помощью кластерного или факторного анализа и неметрического шкалирования при экспертном объяснении результатов их использования. Для проведения подобных расчетов необходим переход с исходных или адаптированных данных на оценки их сходства-различия. Это, в свою очередь, приводит к смене в объекте анализа суммарных показателей (плотности населения всех видов, видового богатства, реже коэффициентов разнообразия и/или выравненности) на интегральные оценки изменчивости облика населения животных или растительности в целом в пространстве или во времени. Анализ расчетов по матрицам коэффициентов сходства в обилии всех или отмеченных при учете видов существенно повышает информативность анализируемой совокупности и результатов оценки ее неоднородности. Это связано с сохранением специфики в обилии и числе всех видов при расчете коэффициентов сходства для количественных признаков.

Еще одним достоинством использованных нами методов следует считать применение линейной качественной аппроксимации выделенными градациями для оценки силы связи изменчивости сообществ и факторов среды. Это один из методов, использующих регрессионную модель. Он позволяет проводить расчеты силы и общности связи выявляемых изменений с факторами среды, даже в том случае, если количественных оценок изменчивости фактора нет, например, облесенности – высокая (сплошные леса), средняя (мозаичные по этому признаку территории) и низкая (открытые участки), а также, если измерить силу признака невозможно, например, благоприятности среды по множественной системе признаков – оптимальные, пессимальные, экстремальные местообитания и т.п. Использование выделенных градаций проявления факторов позволяет учитывать нелинейность зависимостей, а при сочетаниях градаций и реакцию животных и растений на реально и значимо отличных территориях. Например, влияние рельефа на неоднородность населения птиц проявляется, в основном, через заливание в половодье. Поэтому при трех градациях (междуречья, надпойменные террасы и заливаемая пойма) отличия в орнитокомплексах наиболее велики на границе поймы–непойма. Поэтому сочетания эффективно отражают отличия в населении птиц не столько все три градации в отдельности, сколько их сочетания, объединяющие градации по незаливаемым участкам (междуречья и надпойменные террасы). В то же время сочетания террас и пойм, и междуречий и пойм, существенно отличающихся по населению птиц, не информативны, но не изменяют общих оценок связи. Поэтому такой “слепой” перебор сочетаний вполне допустим, так как не искажает

оценок связи. Значимость объединения непохожих по орнитокомплексам градаций невелика и не увеличивает общую учтенную объяснением дисперсию. Поэтому “неудачная комбинация” не искажает результата общей оценки.

Таким образом, в объяснении присутствуют не только режимы, нередко сложные для понимания, хотя и понятные с предметной точки зрения, но и составляющие их относительно простые факторы. Многие из сравнительно простых факторов скоррелированы в большей или меньшей степени. Объединение их нарастающим итогом для расчета в одной совокупности в целом снимает скоррелированное накопление в оценках как при простом суммировании. При расчетах нарастающим итогом по первому и второму факторам и далее по предыдущему набору факторов с очередным упорядочением по иерархии оценок, позволяет исключить из системы аппроксимирующих признаков те из факторов, которые не увеличивают общей снятой дисперсии матрицы сходства и соответственно не улучшают прогноз по обучающей выборке. Такие прогнозы можно использовать для удешевления и ускорения разработки общей характеристики сообществ той или иной территории, а главное, для проверки надежности представлений, сформулированных при описании пространственно-типологической неоднородности животного населения.

Еще один достаточно эффективный прием сводится к использованию графов, позволяющий выявлять и иллюстрировать основные направления изменчивости биотических сообществ, как статистических ансамблей с внешним ограничением за счет соединения на графе прямой кластеров, имеющих значимые межклассовые связи. Графы представляют собой не только аналитический прием, но и способ визуализации результатов исследования (Харари, 2006). Кроме того, они уменьшают трудоемкость анализа при шкалировании выборок значительных объемов. Интерпретация в этом случае представляет немалые трудности из-за наложения трендов и невозможности их выявления из-за большего их числа, чем позволяет двух–трехмерное пространство. Для устранения этих трудностей на шкалирование подают не исходную матрицу коэффициентов сходства всех проб, а матрицу межклассового сходства. Объяснение идет уже не по всем данным, а по выделенным классам. Это, кроме того, позволяет проверить правильность ориентации графов в факторном пространстве независимо от общего количества вариантов населения, например, выявить мало представительные по числу проб тренды, связанные с застройкой в населении птиц городов и поселков. Количество таких проб в выборке, как правило, невелико из-за небольшой площа-

ди, занимаемой селитебными ландшафтами, что при значительном сходстве их орнитокомплексов дает небольшое число кластеров. В результате этот тренд трудно обнаружить по результатам шкалирования.

Следует отметить также, что метод дендрограмм, который чаще всего применяют при кластеризации, недостаточно информативен, поскольку в нем не используют информацию о горизонтальном сходстве (в анализе присутствуют только иерархические, вертикальные связи). Из-за этого единожды разделенные не сильно отличающиеся подсовокупности на схеме могут быть удалены на гораздо большее расстояние, чем они похожи друг на друга. Кроме того, деление дихотомично, хотя иногда различия эффективнее могут быть отражены большим числом классов.

Для кластеризации мы используем алгоритм “Факторной классификации”, объединяющий в одной программе принципы кластерного и факторного анализа одновременно. Эта программа делит анализируемую совокупность на заданное число классов так, чтобы предлагаемым разбиением учитывалась (снималась) максимальная часть дисперсии анализируемой матрицы коэффициентов сходства. Для этого сначала из всех коэффициентов вычитают среднее по матрице значение. В результате показатели ниже этого порога становятся отрицательными. Далее строки с положительными в сумме значениями попарно объединяют и выбирается та пара строк, объединение которых учитывает наибольшую часть дисперсии. Данные по этой паре объединяют, а значения сходства по ней усредняют. После этого процедуру поиска и агрегации повторяют. Подобное преобразование продолжают, пока учитываемая им дисперсия возрастает (Трофимов, 1976; Трофимов, Равкин, 1980). Сформированные при этом крупные классы с помощью той же программы могут быть дополнительно разделены на подклассы.

Оценку учитываемой дисперсии по результатам классификации в этой программе проводят следующим образом. Из сходства вариантов населения вычитают среднее значение сходства проб, вошедших в каждый класс отдельно, а среднее сходство межклассовых связей прибавляют ко всем межклассовым оценкам сходства по каждой паре отдельно. В результате дисперсия итоговой матрицы уменьшается. Доля этого уменьшения и представляет собой оценку учитываемой данным разбиением части дисперсии. Таким же образом оценивают и силу связи с факторами среды.

Считается, что использование количественных характеристик и методов расчета точнее, чем качественных. Опыт показал, что специальный сбор такой информации очень трудоемок, а имеющиеся данные о среде обычно не соответ-

ствуют местообитаниям, выделенным в нужном масштабе. Главное заключено, наверное, в том, что реакция животных обычно тоже носит ранговый, групповой характер и вовсе не соответствует адекватно каждому шагу изменений или каждому выделу при учетах животных, т.е. имеет такую же среднюю по выделу или классу оценку. Поэтому ранговые среднегрупповые оценки более информативны, чем детальные значения связи по количественным характеристикам среды.

Кроме того, при необходимости проводили идеализацию полученных классификаций. После идеализации матрицу сходства таксонов пересчитывают по исходным вариантам населения. По этой матрице строят структурные графы. Идеализация (концептуализация) классификации сводится к перестановке по таксонам проб, отклоняющихся от общей концепции неоднородности орнитокомплексов. Это приводит к уменьшению дисперсии, учтенной идеализированной классификацией, но к большему соответствию ее объяснения принятой в результате анализа концепции и, соответственно, большей иллюстративности структурных графов. Описанные приемы существенно упрощают выполнение расчетов и уменьшают трудозатраты на их проведение. Поэтому статью, предлагаемую вниманию читателей, можно рассматривать как методическую.

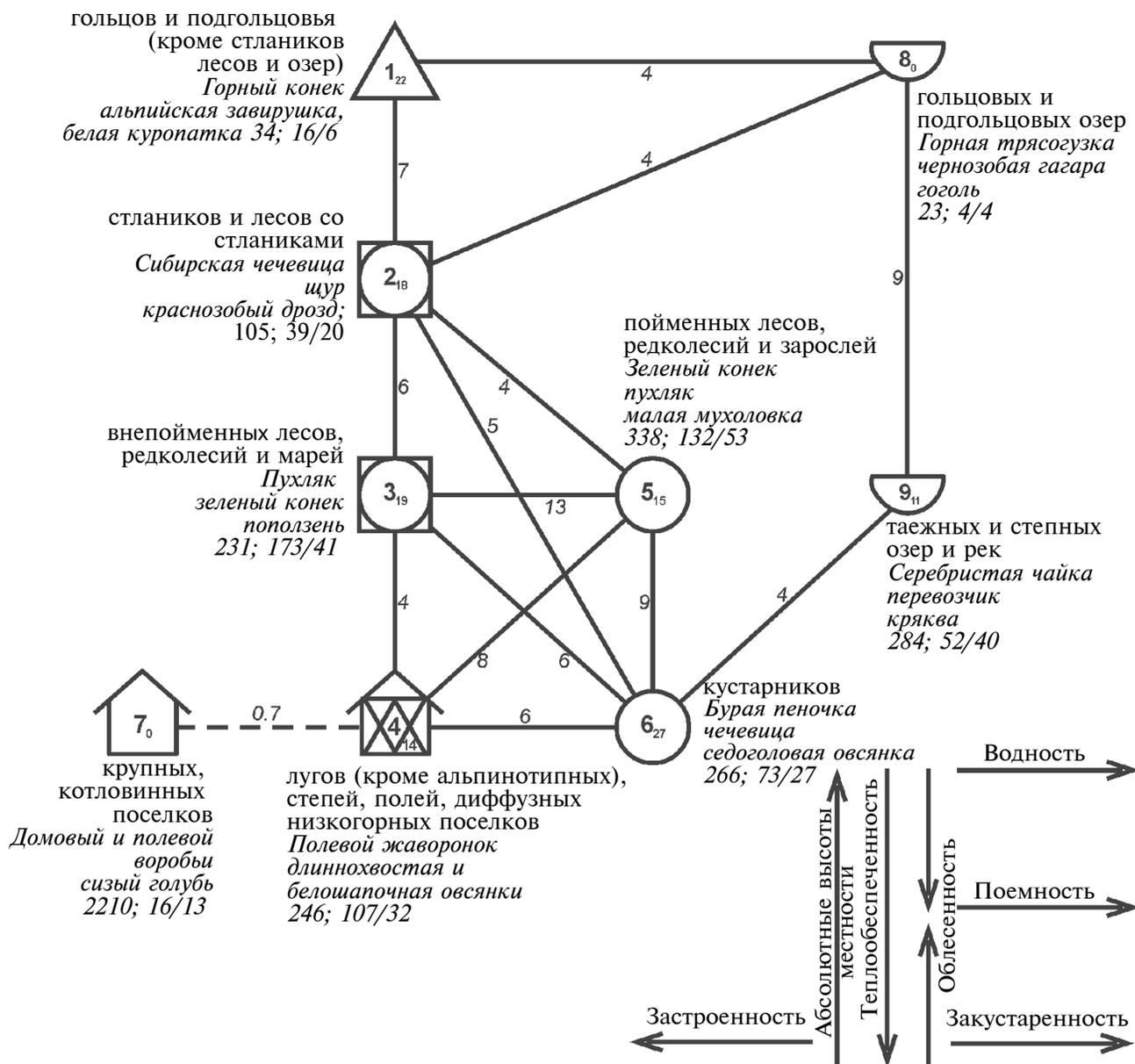
Следует отметить также, что материалы собраний В.Н. Сметаниным по двухнедельным отрезкам по 5 км маршрута в течение четырех лет, а начиная с 1989 г. Е.Э. Малковым – от одного до пяти двухнедельных отрезков и только в первой половине лета. Последние так же, как данные, собранные позднее, усреднены с прежними материалами. Сопоставимость таких данных, не строго нормированных при сборе, для решения зоогеографических задач показана ранее (Равкин и др., 2016).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пространственно-временные структуры населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья по I и II половинам лета, выявленные ранее, очень детальные и включают соответственно 20 и 23 кластера (Сметанин, 1989). После дополнения данными за 1989–1998, 2003–2005 и 2009 гг., в результате первого разбиения после идеализации выделено 9 и 8 групп, т.е. в 2.2 и 2.1 раза меньше (рис. 1, 2).

Неоднородность орнитокомплексов в I и II половине лета отдельно и вместе коррелирует с изменчивостью в абсолютных высотах местности, облесенностью, закустаренностью, поемностью и водностью. Во II половине лета к этим факторам добавляется связь с проточностью (отличием населения птиц рек и озер), но из-за поселенческих кочевков не прослежено значимых

Типы населения птиц в I половине лета



**Рис. 1.** Пространственно-типологическая структура неоднородности населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья в пределах России и Монголии в I половине лета. Орнитокомплексы обозначены: квадратом – облесенных местообитаний, кружком – мозаичных по облесенности местообитаний, домиком – застроенных, треугольником вершиной вниз – луговых, треугольником вершиной вверх – степных и полевых, полукругом – водно-околоводных. Внутри значков даны номера типов населения птиц, подстрочным индексом показано внутригрупповое сходство, у межгрупповых связей – сверхпороговое. Около значков приведены названия орнитокомплексов, вошедших в группу, а также лидирующие (три первые по обилию) виды птиц, плотность населения (особей/км<sup>2</sup>), общее и фоновое видовое богатство (число видов). Сплошной линией показано значимое (сверхпороговое) сходство выделенных групп, прерывистой – максимальное, при отсутствии значимых связей. Стрелки у перечня основных структурообразующих факторов среды, в том числе на рис. 4, направлены в сторону увеличения их проявления.

различий сообществ пойменных и внепойменных, закустаренных и незакустаренных. Кроме того, в отдельный тип населения птиц выделены орнитокомплексы небольших диффузных поселков, сообщества которых в I половине лета более сходны с таковыми лугов, степей и полей. В целом за лето отличия орнитокомплексов ближе к неоднородности в I половине лета, только

отличия проточности такие же, как во II половине (рис. 3). По отношению к отдельно проанализированным половинам лета в целом по всем данным прослежено влияние рельефа – отличия населения выположенных участков (котловинных, долинных) и склоновых.

Плотность населения птиц всегда выше в поселках, особенно крупных. На незастроенной

## Типы населения птиц в II половине лета

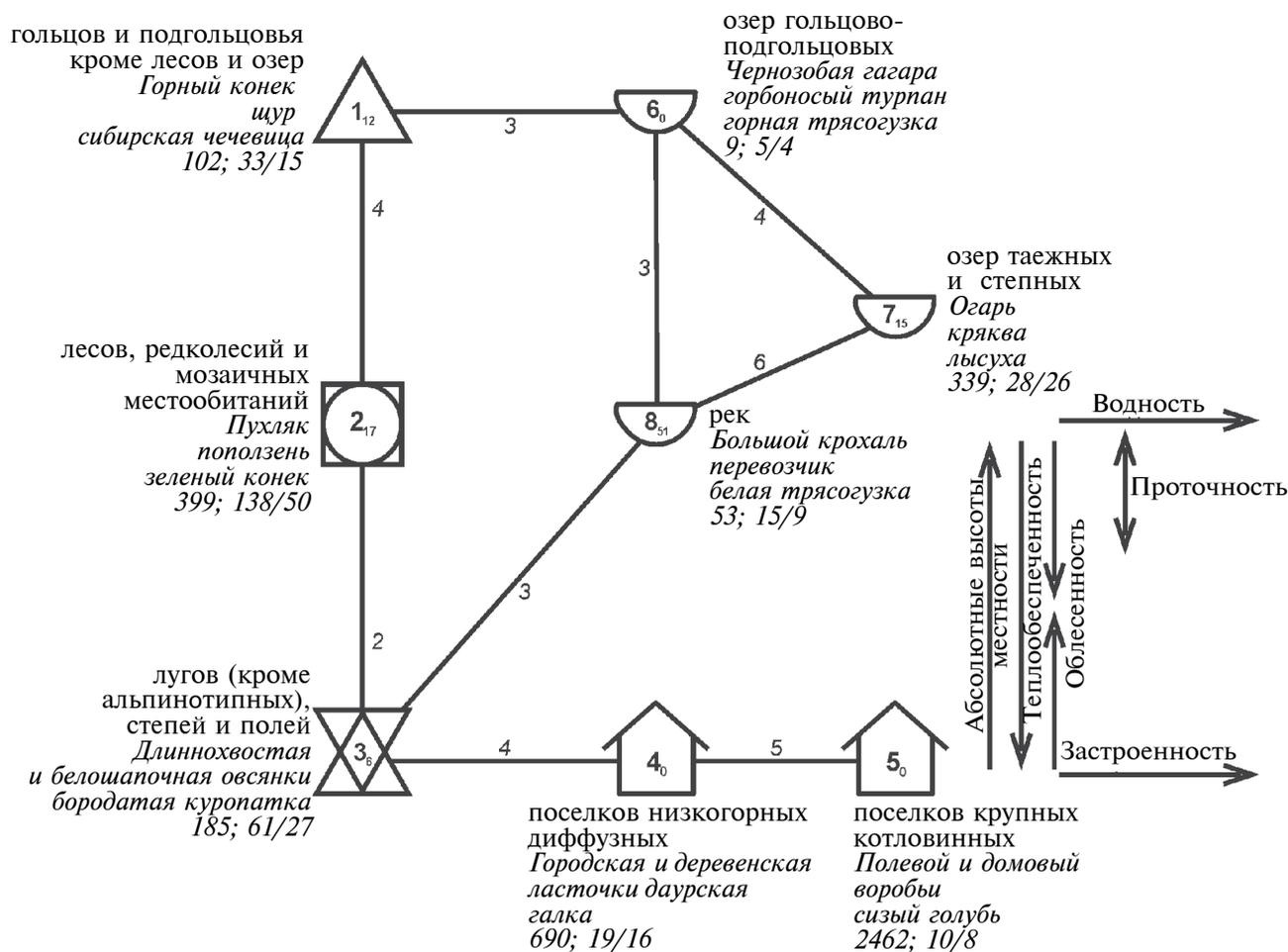


Рис. 2. Пространственно-типологическая структура неоднородности населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья во II половине лета. См. экспликацию к рис. 1.

суше в I и II половине лета и за летний сезон в целом плотность населения птиц наиболее велика в нижнем лесном поясе и монотонно убывает с увеличением и уменьшением абсолютных высот местности (рис. 4). Видовое богатство изменяется также только во II половине лета, а в I и в среднем за лето больше всего видов отмечено в лесостепном поясе. Правда различия очень невелики и можно утверждать, что почти одинаковое видовое богатство свойственно лесному и лесостепному поясам и существенно меньше только в гольцах и подгольцовье. В водно-околоводных сообществах плотность населения тоже уменьшается с возрастанием абсолютных высот местности (рис. 5). На озерах птиц всегда больше, чем на реках.

В среднем по территории с учетом поселков плотность населения птиц больше всего в степных местообитаниях и монотонно убывает с ростом абсолютных высот местности. Видовое и фоновое богатство птиц за счет большего числа ярусов растительности всегда выше в облесен-

ных местообитаниях, соответственно в пойменных и вне поймы, и снижается в закустаренных и открытых местообитаниях, а также в поселках. В водно-околоводных местообитаниях на реках встречено меньше видов птиц, чем на озерах. Общее видовое богатство максимально в нижнем лесном поясе и убывают с увеличением и уменьшением абсолютных высот местности. В общем, такой характер изменений можно считать ромбовидным, а при неуклонном уменьшении с увеличением абсолютных высот местности — пирамидальным. Даже при незначительных отличиях в этих показателях и недостоверности их отличий по поясам однозначность выявленных трендов не вызывает сомнений, поскольку аналогичные изменения прослежены на Алтае и Западно-Сибирской равнине (Цыбулин, 2009).

Состав лидирующих по обилию видов в Хэнтэй-Чикойском нагорье в I и II половинах лета закономерно меняется по абсолютным высотам в соответствии с отличиями в теплообеспеченности территории, составе растительно-

Типы летнего населения птиц

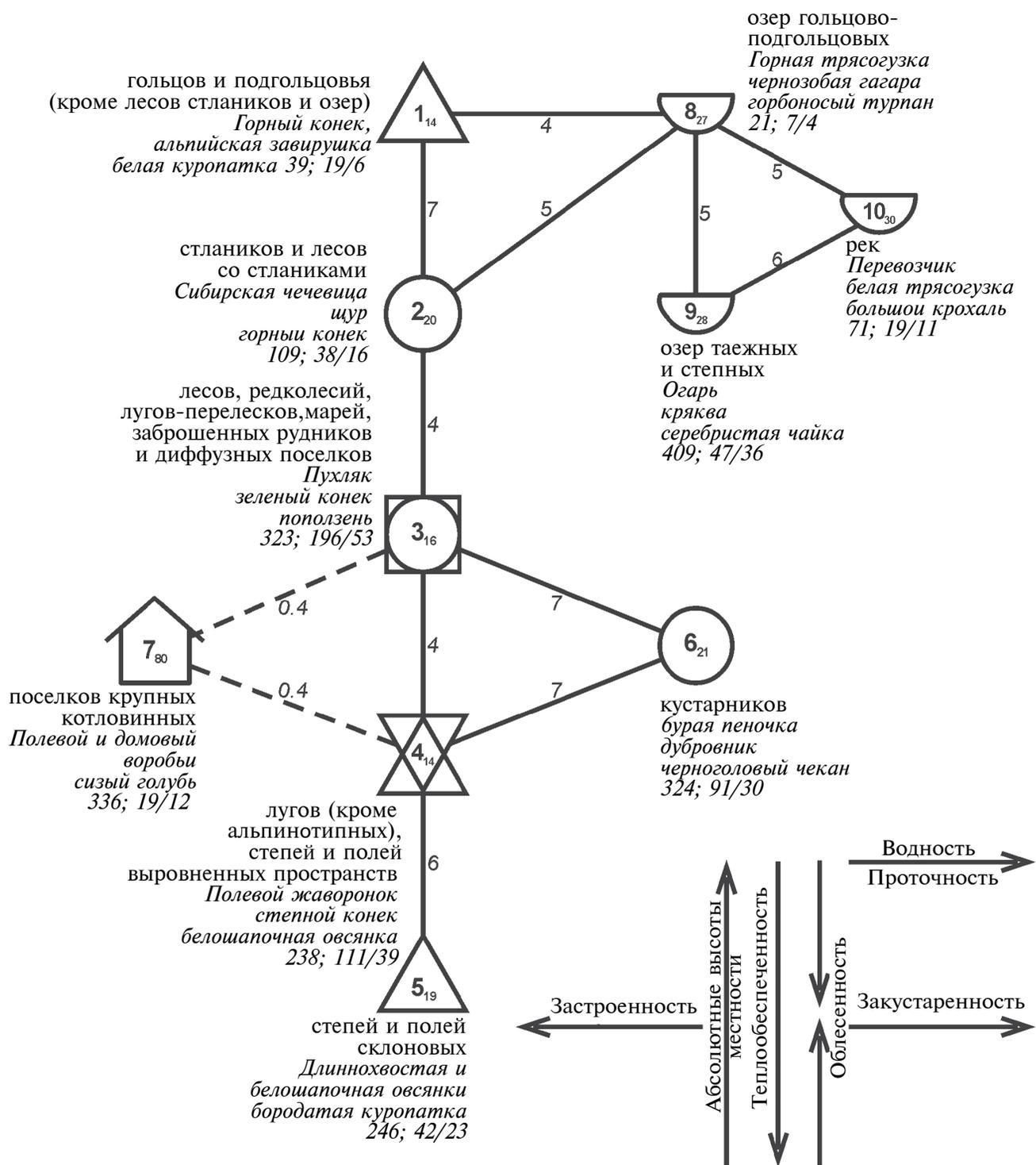
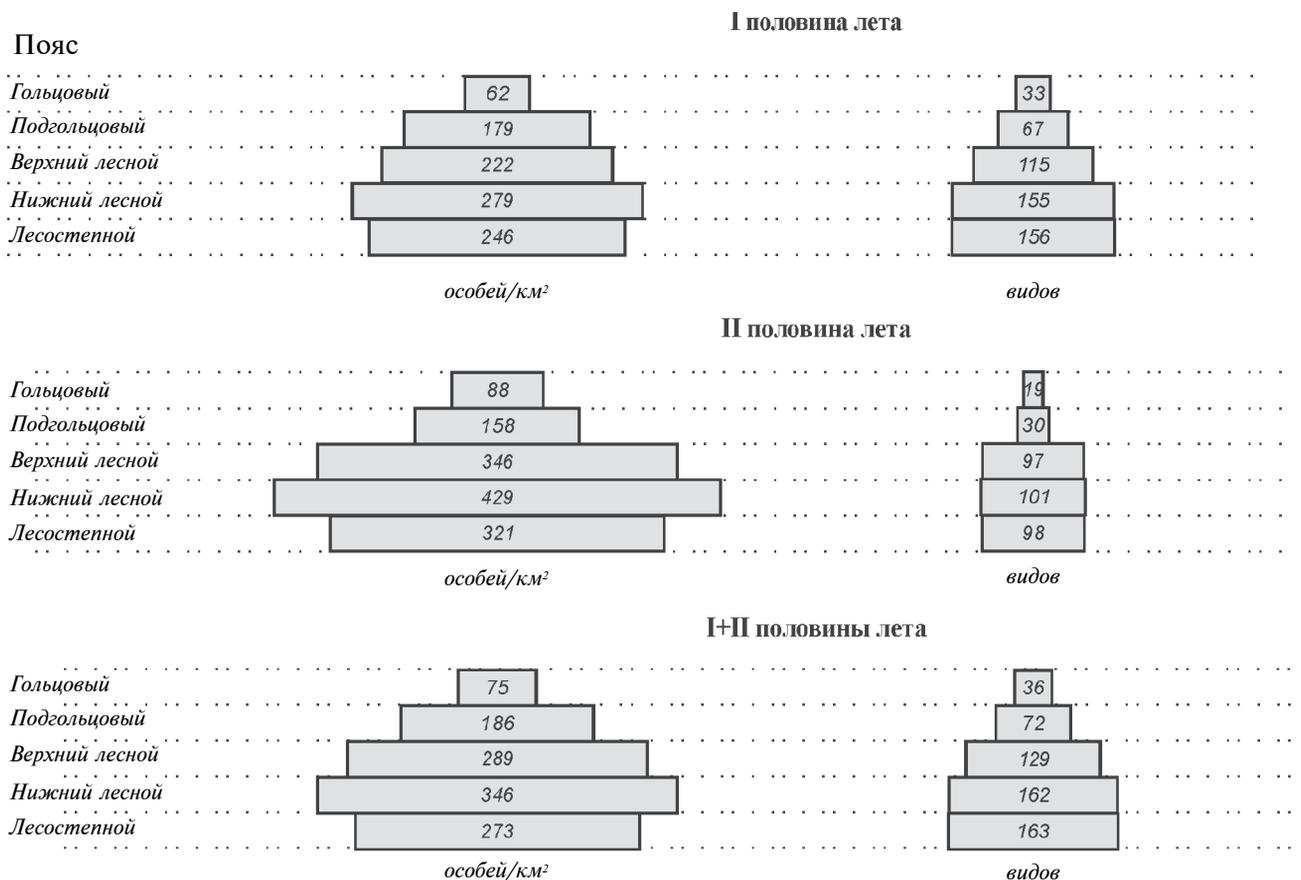


Рис. 3. Пространственно-типологическая структура неоднородности населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья в целом за летний период. См. экспликацию к рис. 1.

сти и в других структурообразующих факторах среды и соответствует предпочтительности птицами тех или иных местообитаний. В оба периода сбора данных списки лидирующих видов в I и II половине лета сходны. В среднем за лето в этот список входил дубровник. В последнее время в Сибири прослежено значительное снижение его обилия. J. Камр с соавторами (2015) счита-

ют, что численность дубровника между 1980 и 2013 гг. уменьшилась здесь на 84–95%, а ареал сократился до 5000 км<sup>2</sup>. В южной тайге Западной Сибири обилие этой овсянки в 1990 и 1991 гг. снизилось, по сравнению с 1967, 1968 и 1970 гг. вдвое (Торопов, Шор, 2012), а в подтаежных лесах в 2006–2011 гг. его было в 50 раз меньше, чем в 1967–1982 гг. (Торопов, Бочкарева, 2014). В Се-



**Рис. 4.** Высотно-поясные изменения летних показателей плотности и видового богатства населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья без учета селитебных ландшафтов и водно-околоводных сообществ.

веро-Восточном Алтае в 1998 и 1999 гг. дубровника было в восемь раз меньше, чем в 1960–1964 гг. (Торопов, Граждан, 2010). На Хэнтэй-Чикойском нагорье в период с 1996 по 2016 г. дубровника было явно меньше, чем с 1981 по 1985 г. Так же как суммарное обилие изменяются показатели общей биомассы птиц. В число лидеров по биомассе входят крупные виды: в гольцах и подгольцовье – белая куропатка, каменный глухарь, беркут, ворон и кедровка; в лесах – рябчик, каменный глухарь, кедровка и ворон; в степных ландшафтах – скалистый голубь, ворон, бородастая куропатка, черная ворона, даурская галка и чибис; в поселках – сизый и скалистый голуби, даурская галка; в водно-околоводных местообитаниях – утки, реже лысуха, чернозобая гагара, серебристая чайка и черная ворона.

По обилию в число доминирующих типов фауны птиц [по (Штегман, 1938)] в I половине лета чаще всего входит сибирский тип – везде, кроме гольцово-подгольцовых местообитаний, сообществ крупных поселков и рек (13–62%), представители европейского типа – только в пойменных лесах и редколесьях, арктического и тибетского типа – лишь в гольцово-подгольцовых ландшафтах, транспалеаркты – только на реках, озерах, в кустарниках, степях, полях, в лугах (кроме альпинотипных) и в поселках

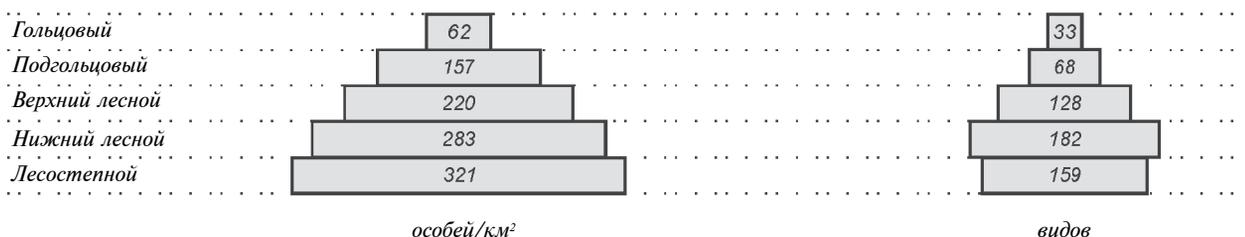
(13–95%). Китайский тип фауны преобладает в лесах и редколесьях (26–66%). Во II половине лета сибирский тип фауны, кроме того, входит в число преобладающих по обилию в гольцово-подгольцовых местообитаниях (16–65%), китайский – только в лесах, редколесьях, лугах, степях, полях и на озерах (27–54%). Монгольский тип отмечен как доминирующий по обилию только в крупных поселках.

В целом за лето сибирский тип фауны доминирует везде, кроме поселков, рек, гольцов и подгольцовья, за исключением стланиковых сообществ (13–58%), транспалеаркты – везде, кроме гольцов, подгольцовья, лесов, редколесий и стлаников, а также степей и полей (12–94%). Представители китайского типа фауны входят в число преобладающих только в лесах, редколесьях, кустарниках, лугах, степях и полях (26–68%). Тибетский тип фауны – только в гольцах, подгольцовье и стланиковых местообитаниях (79 и 16%), а монгольский – лишь на таежных и степных озерах (11%). Европейский тип фауны в целом за лето в число преобладающих по обилию так же, как во второй половине лета, не входит.

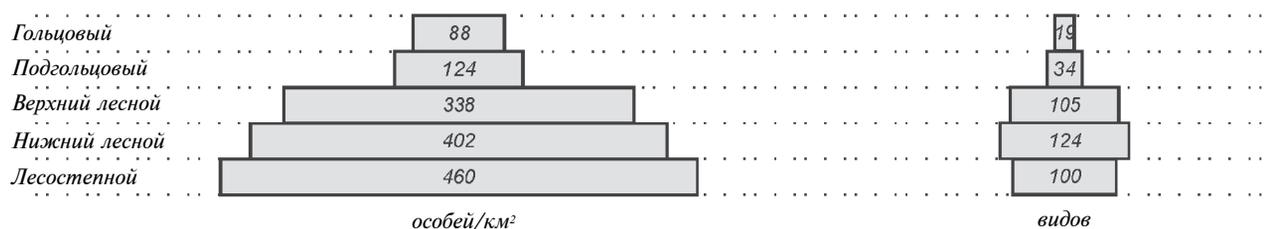
Основные тренды в указанной работе В.Н. Сметанина и выявленные нами по I и II половинам лета полностью совпадают. Лишь “полулунность” структуры, отмеченная им и связанная

## I половина лета

## Пояс



## II половина лета



## I+II половины лета

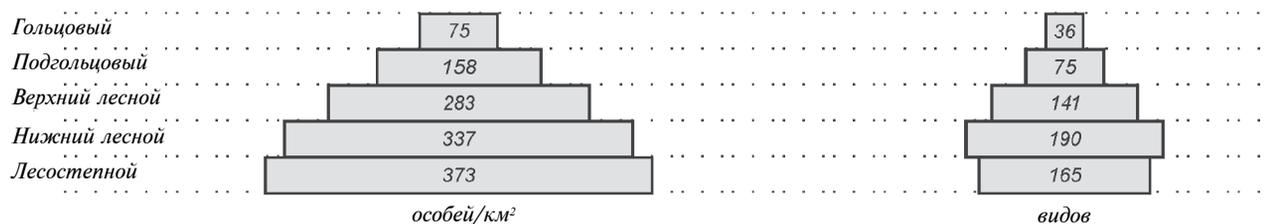


Рис. 5. Высотно-поясные изменения летних показателей плотности и видового богатства населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья по всем естественным, селитебным и водно-околоводным местообитаниям.

с некоторым сходством орнитокомплексов открытых гольцово-подгольцовых и степных котловинных местообитаний по более поздним расчетам не прослежена, хотя по данным, собранным в первый период, она подтверждена шкалированием. На Алтае “полулунность” графа четко выражена (Ефимов, Равкин, 1980; Цыбулин, 2009). В орнитокомплексах Хэнтэй-Чикойского нагорья она прослежена только В.Н. Сметаниным на первом этапе исследования. Однако эта связь не подтверждена на большем материале, поскольку пространство между “рогами месяца” заполнено новыми пробами. В целом, на уровне типа сообществ пространственно-типологические структуры населения птиц Алтая и Хэнтэй-Чикойского нагорья сходны, хотя на Алтае в целом выделено два ряда отличий – гумидный и аридный. В обобщенном виде основные тренды и определяющие их факторы среды показаны на рис. 6. Неметрическое шкалирование по результатам классификации подтверждает правильность ориентации итоговых графов в факторном пространстве.

В пространственной организации населения птиц в целом по I и II половинам лета особо значимы высотная поясность, облесенность, абсолютные высоты местности и, в меньшей степени, водность, проточность и закустаренность.

Сезонные отличия в пределах лета малозначимы (табл. 1). Все факторы среды по половинам лета учитывают 35 и 44% дисперсии матриц сходства, а классификационные и структурные режимы, как неразделимые сочетания факторов так же, как вместе с относительно простыми факторами – 52 и 54% неоднородности матриц сходства (в целом за лето – 50%), что соответствуют коэффициентам корреляции 0.72, 0.73 и 0.71. Различия в оценках по I и II половинам лета и в целом за лето невелики (1–2%).

Представления об организации летнего населения Хэнтэй-Чикойского нагорья с учетом дополнительно собранных данных и обработанных модернизированным математическим аппаратом, носит более обобщенный характер. Все оценки связи меньше, а часть факторов не вышла в число значимых (состав лесообразующих пород, экспозиционные отличия местообитаний). Не исключено, что снижение оценок связано с увеличением разнородности выборки и с несбалансированным дополнением ее, а также с меньшей возможностью детализации материалов при анализе. На Алтае, например, наиболее велика связь неоднородности населения птиц с типом растительного покрова (Цыбулин, 2009). Фактически это почти совпадает с аппроксимацией классификационны-

**Таблица 1.** Оценка силы и общности связи факторов среды и изменчивости населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья

Фактор	Учетная дисперсия	
	индивидуально	нарастающим итогом
<i>1 половина лета</i>		
Поясность	21	21
Облесенность	12	25
Абсолютные высоты	8	29
Водность	7	33
Проточность	3	34
Застроенность	2	35
Закустаренность	1	35
Заливание в половодье	0.3	35
Все факторы	35	35
Режимы:		
классификационные	36	48
структурные	48	52
<b>Все факторы и режимы</b>	<b>52</b>	<b>52</b>
<i>2 половина лета</i>		
Поясность	27	27
Облесенность	19	34
Абсолютные высоты	11	37
Водность	8	43
Проточность	4	43
Застроенность	1	43
Заливание в половодье	0.4	44
Закустаренность	0.1	44
Все факторы	44	44
Режимы:		
классификационные	36	54
структурные	48	54
<b>Все факторы и режимы</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
<i>Лето в целом</i>		
Поясность	24	24
Облесенность	14	28
Абсолютные высоты	10	31
Водность	7	38
Проточность	3	37
Застроенность	2	39
Закустаренность	0.5	39
Сезонность	0.4	39
Заливание в половодье	0.4	40
Все факторы	40	40
Режимы:		
классификационные	41	50
структурные	45	50
<b>Все факторы и режимы</b>	<b>50</b>	<b>50</b>

## Орнитокомплексы

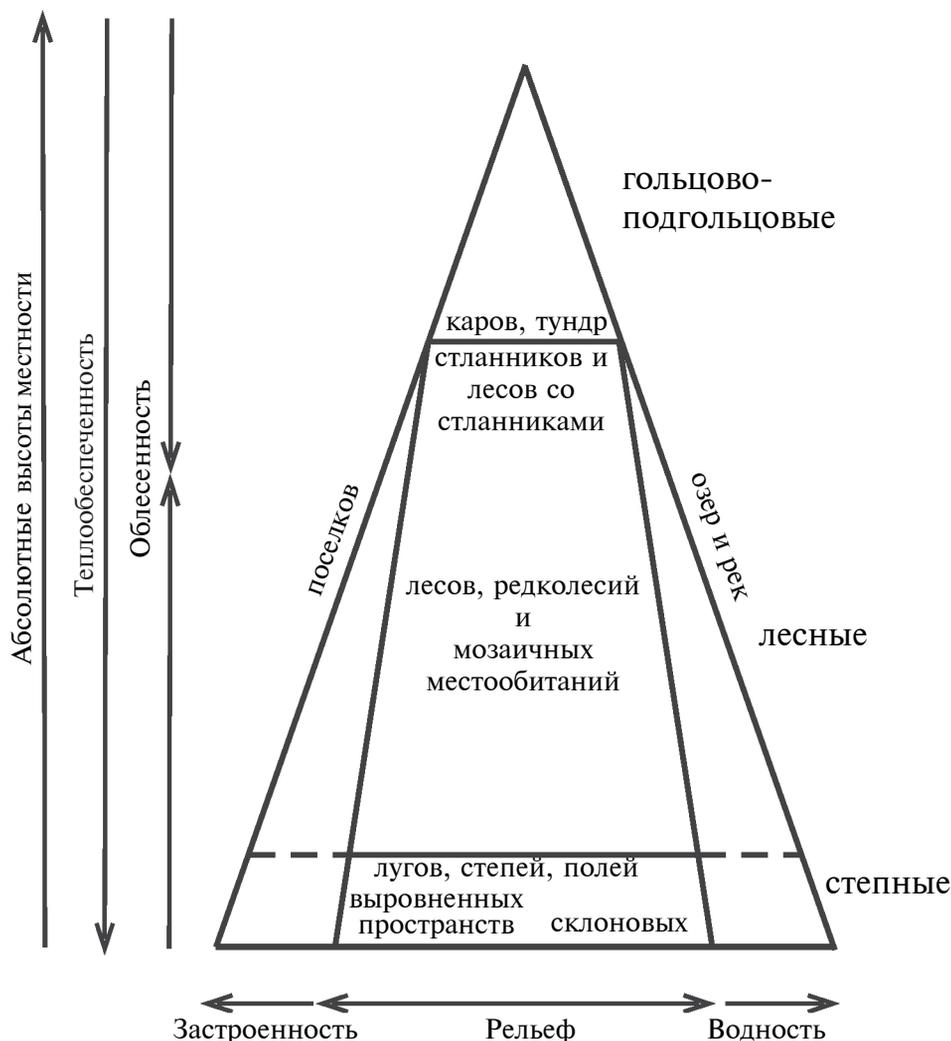


Рис. 6. Обобщенная пространственно-типологическая структура и организация неоднородности летнего населения птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья.

ми режимами на уровне подтипов орнитофауны. То же свойственно в целом и оценкам структуры и организации населения птиц Хэнтэй-Чикойскому нагорья. Поскольку состав растительности совпадает с классификационными режимами, мы упоминаем о них в конце перечисления факторов среды. Это обобщенное интегральное объяснение изменчивости населения птиц.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с дополнительным сбором материала и модернизацией использованного программного обеспечения вновь проанализированы результаты кластерного анализа сведений по летнему населению птиц Хэнтэй-Чикойского нагорья. Результаты сопоставления показали большую степень обобщения по всем собранным данным, при совпадении с ранее выявленными тенденциями. Лишь “полулунность”

структуры, связанная некоторым сходством орнитокомплексов открытых гольцово-подгольцовых и степных котловинных местообитаний, по обобщенным данным в числе основных трендов не прослежена. Это подтверждают результаты неметрического шкалирования материалов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования, послужившие основой для написания данной статьи, проведены по программе ФНИ государственных академий наук на 2021–2025 гг., проект № FWGS-2021-0002.

## FUNDING

The studies on which the present paper is based were carried out within the framework of FNI for the State Academies of Sciences for 2021–2025, project no. FWGS-2021-0002.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Васильченко А.А., Галанин А.В. Физико-географические условия и история создания Сохондинского заповедника / Природа Сохондинского заповедника. Чита, 1983. С. 3–7.
- Ефимов В.М., Равкин Ю.С. Еще раз о пространственной структуре населения птиц Северо-Восточного Алтая // Проблемы зоогеографии и истории фауны. Новосибирск: Изд-во Наука. Сиб. отд-е, 1980. С. 59–63.
- Равкин Ю.С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах / Природа очагов клещевого энцефалита. Новосибирск: Наука, 1967. С. 66–75.
- Равкин Ю.С., Богомолова И.Н., Ефимов В.М., Давранов Э. Оценка результативности анализа фауны и населения позвоночных северной части Армянского нагорья // Успехи современной биологии. 2016. Т. 136. № 4. С. 379–391.
- Равкин Ю.С., Куперитох В.Л., Трофимов В.А. Пространственная организация населения птиц / Птицы лесной зоны Приобья. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1978. С. 253–269.
- Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 2008. 205 с.
- Сметанин В.Н. Птицы Южного Забайкалья (пути формирования фауны и пространственная структура населения). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Биол. ин-т СО РАН, 1989. 22 с.
- Торопов К.В., Бочкарева Е.Н. Птицы подтаежных лесов Западной Сибири: 30 лет спустя. Новосибирск: Наука-Центр, 2014. 138 с.
- Торопов К.В., Граждан К.В. Птицы Северо-Восточного Алтая: 40 лет спустя. Новосибирск: Наука-Центр, 2010. С. 175–176.
- Торопов К.В., Шор Е.Л. Птицы южной тайги Западной Сибири: 25 лет спустя. Новосибирск: Наука-Центр, 2012. С. 281–284.
- Трофимов В.А. Модели и методы качественного факторного анализа матрицы связи // Проблемы анализа дискретной информации. Новосибирск, 1976. Ч. 2. С. 24–36.
- Трофимов В.А., Равкин Ю.С. Экспресс-метод оценки связи пространственной неоднородности животного населения и факторов среды / Количественные методы в экологии животных. Л., 1980. С. 113–115.
- Харари Ф. Теория графов. М., 2006. 300 с.
- Цыбулин С.М. Птицы Алтая. Новосибирск: Изд-во Наука. Сиб. отд-е, 2009. 236 с.
- Штегман Б.К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики // Фауна СССР; Птицы. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1938. Т. 1. Вып. 2. 156 с.
- Badgley C., Fox D.L. Ecological biogeography of North American mammals: species density and ecological structure in relation to environmental gradients // J. of Biogeography. 2000. № 27. P. 1437–1467.
- Bellard C., Bertelsmeier C., Leadley P., Thuiller W., Courchamp F. Impacts of climate change on the future of biodiversity // Ecology Lett. 2012. № 15. P. 365–377.
- Blonder B., Moulton D.E., Blois J., Enquist B.J., Graae B.J., Macias-Fauria M., McGill B., Nogué S., Ordonez A., Sandel B., Svenning J.-C. Predictability in community dynamics // Ecology Lett. 2017. № 20. P. 293–306.
- Clavero M., Brotons L., Herrando S. Bird community specialization, bird conservation and disturbance: the role of wildfires // J. of Animal Ecology. 2011. № 80. P. 128–136.
- Currie D. Energy and large-scale patterns of animal- and plants- species richness // The American Naturalist. 1991. Vol. 137. № 1. P. 27–49.
- Chapman K., Reich P. Land use and habitat gradients determine bird community diversity and abundance in suburban, rural and reserve landscapes of Minnesota, USA // Biological Conservation. 2007. № 135. P. 527–541.
- Fristoe T. Energy use by migrants and residents in North America breeding bird communities // Global Ecology And Biogeography. 2014. № 2. P. 25–40.
- Gaston K., Davies R., Orme C., Olson V., Thomas G., Tzung-Su Ding, Rasmussen P., Lennon J., Bennett P., Owens I., Blackburn T. Spatial turnover in the global avifauna // Proceedings of the Royal Society. 2007. № 274. P. 1567–1574.
- Hayne Don W. An examination of the strip census method for estimating animal populations // J. Wildlife Manag. 1949. Vol. 13. № 2. P. 145–147.
- Jutzwiller K.J., Barron Jr.W.C. Does bird community structure vary with landscape patchiness? Achinahuan Desert perspective // Oikos. 2002. Vol. 98. № 2. P. 284–298.
- Kamp J., Oppel S., Ananin A.A., Durnev Y.A., Gashev S.N., et al. Global population collapse in a superabundant migratory bird and illegal trapping in China // Conserv. Biol. 2015. № 29. P. 1684–1694.
- Kaufman D., Willig M. Latitudinal patterns of mammalian species richness in the New World: the effects of sampling method and faunal group // J. of Biogeography. 1998. № 25. P. 795–805.
- Martinez-Morales M. Nested species assemblages as a tool to detect sensitivity to forest fragmentation: the case of cloud forest birds // OIKOS. 2005. № 108. P. 634–642.
- Simons T., Shriner S., Farnsworth G. Comparison of breeding bird and vegetation communities in primary and secondary forests of Great Smoky Mountains National Park // Biological Conservation. 2006. № 129. P. 302–311.
- Simpson G. Species Density of North American Recent Mammals // Systematic Zoology. 1964. Vol. 13. № 2. P. 57–73.
- Soinengen J., McDonald R., Hillebrand H. The distance decay of similarity in ecological communities // Ecography. 2007. № 30. P. 3–12.
- Zamora R., Barea-Azcón J. Long-term changes in mountain passerine bird communities in the sierra Nevada (southern Spain): a 30-year case study // Ardiola. 2015. Vol. 62. № 1. P. 3–18. <https://doi.org/10.13157/arla.62.1.2015.3>
- Willig M., Kaufman D., Stevens R. Latitudinal gradients in biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis // Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 2003. № 34. P. 273–309.

## Spatial-Typological Structure and Organization of Summer Bird Assemblages of the Khentii-Chikoy Highland (Zabaykalsky Krai)

Yu. S. Ravkin<sup>a,\*</sup>, I. V. Pokrovskaya<sup>b</sup>, E. E. Malkov<sup>c</sup>, and I. N. Bogomolova<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

<sup>b</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>c</sup>*Sokhondo Nature Reserve, Russia*

\*e-mail: yravkin@bk.ru

The paper deals with the structure and organization of summer bird assemblages in the Khentii-Chikoy Highland and presents the analysis of data collected in the 1981–1985 and 1989–2016 periods. Previously, only materials from the first period (up to 1985) were analyzed. Since then, the previously used software has been significantly updated. The present work is aimed at comparing the results obtained in the first stage of the studies with those obtained with the new data that have been supplemented and updated software used for their processing. The work has been carried out according to a relatively new line of investigation—the zoogeographical factor, using the techniques of applied statistics. The latter proved to be much more efficient in solving the problems than the previously used approach. Using the recently modernized mathematical apparatus and the samples supplemented with newly collected materials, a greater degree of generalization of the concept has been achieved, although the territorial trends revealed in the bird complexes are strikingly similar in both cases. The similarity is confirmed by the non-metric scaling.

*Keywords:* ornithocomplexes, classification, structure, organization, factors, estimates of relationships, cluster analysis, scaling

### REFERENCES

- Badgley C., Fox D.L. Ecological biogeography of North American mammals: species density and ecological structure in relation to environmental gradients. *J. Biogeogr.*, 2000, no. 27, pp. 1437–1467.
- Bellard C., Bertelsmeier C., Leadley P., Thuiller W., Courchamp F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecol. Lett.*, 2012, no. 15, pp. 365–377.
- Blonder B., Moulton D.E., Blois J., Enquist B.J., Graae B.J., Macias-Fauria M., McGill B., Nogué S., Ordonez A., Sandel B., Svenning J.-C. Predictability in community dynamics. *Ecol. Lett.*, 2017, no. 20, pp. 293–306.
- Chapman K., Reich P. Land use and habitat gradients determine bird community diversity and abundance in suburban, rural and reserve landscapes of Minnesota, USA. *Biol. Conserv.*, 2007, no. 135, pp. 527–541.
- Clavero M., Brotons L., Herrando S. Bird community specialization, bird conservation and disturbance: the role of wildfires. *J. Anim. Ecol.*, 2011, no. 80, pp. 128–136.
- Currie D. Energy and large-scale patterns of animal- and plants- species richness. *Am. Nat.*, 1991, vol. 137, no. 1, pp. 27–49.
- Efimov V.M., Ravkin Yu.S. Once again about the spatial structure of the bird assemblage of North-Eastern Altai. In *Problemy zoogeografii i istorii fauny* [Problems of Zoogeography and Fauna History]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1980, pp. 59–63. (In Russ.).
- Fristoe T. Energy use by migrants and residents in North America breeding bird communities. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2014, no. 2, pp. 25–40.
- Gaston K., Davies R., Orme C., Olson V., Thomas G., Tzung-Su Ding, Rasmussen P., Lennon J., Bennett P., Owens I., Blackburn T. Spatial turnover in the global avifauna. *Proc. R. Soc. Lond.*, 2007, no. 274, pp. 1567–1574.
- Harary F. *Teoriya grafov* [Graph Theory]. Moscow, 2006. 300 p.
- Hayne don W. An examination of the strip census method for estimating animal populations. *J. Wildl. Manag.*, 1949, vol. 13, no. 2, pp. 145–147.
- Jutzwiller K.J., Barrow Jr.W.C. Does bird community structure vary with landscape patchiness? Achinuhuan Desest perspective. *Oikos*, 2002, vol. 98, no. 2, pp. 284–298.
- Kamp J., Oppel S., Ananin A.A., Durnev Y.A., Gashev S.N., et al. Global population collapse in a superabundant migratory bird and illegal trapping in China. *Conserv. Biol.*, 2015, no. 29, pp. 1684–1694.
- Kaufman D., Willig M. Latitudinal patterns of mammalian species richness in the New World: the effects of sampling method and faunal group. *J. Biogeogr.*, 1998, no. 25, pp. 795–805.
- Martinez-Morales M. Nested species assemblages as a tool to detect sensitivity to forest fragmentation: the case of cloud forest birds. *Oikos*, 2005, vol. 108, no. 3, pp. 634–642.
- Ravkin Yu.S., Bogomolova I.N., Efimov V.M., Davranov E. Assessment of the effectiveness of the fauna and vertebrate assemblages analysis in the Northern Armenian Highlands. *Uspekhi. Sovrem. Biol.*, 2016, no. 136, pp. 379–391. (In Russ.).

- Ravkin Yu.S. Towards a methodology for counting birds in forest landscapes. In *Priroda ochagov kleshchevogo entsefalita* [The Nature of Foci of Tick-borne Encephalitis]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1967, pp. 66–75. (In Russ.).
- Ravkin Yu.S., Kuperstokh V.L., Trofimov V.A. Spatial organization of bird assemblages. In *Ptitsy lesnoi zony Priob'ya* [Birds of the Forest Zone of the Ob Region]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1978, pp. 253–269. (In Russ.).
- Ravkin Yu.S., Livanov S.G. *Faktornaya zoogeografiya* [Factor Zoogeography]. Novosibirsk: Nauka Publ., 2008. 205 p.
- Shtegmann B.K. General principles of the ornithogeographical division of the Palearctic. In *Fauna SSSR. Ptitsy. T. 1. Vyp. 2* [Fauna of the USSR. Birds. Vol. 1. No. 2]. Moscow-Leningrad: Izd-vo Akad. Nauk SSSR, 1938. p. 156. (In Russ.).
- Simons T., Shriner S., Farnsworth G. Comparison of breeding bird and vegetation communities in primary and secondary forests of Great Smoky Mountains National Park. *Biol. Conserv.*, 2006, no. 129, pp. 302–311.
- Simpson G. Species density of North American recent mammals. *Syst. Zool.*, 1964, vol. 13, no. 2, pp. 57–73.
- Smetanin V.N. Birds of Southern Zabaikalia (paths of fauna formation and spatial structure of the population). *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*. Novosibirsk, 1989. 362 p.
- Soinengen J., McDonald R., Hillebrand H. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography*, 2007, no. 30, pp. 3–12.
- Toropov K.V., Bochkareva E.N. *Ptitsy podtaezhnykh lesov Zapadnoi Sibiri: 30 let spustya* [Birds of Subtaiga Forests of Western Siberia: 30 Years Later]. Novosibirsk: Nauka-Center Publ., 2014. 394 p.
- Toropov K.V., Gragdan K.V. *Ptitsy Severo-Vostochnogo Altaya: 40 let spustya* [Birds of North-Eastern Altai: 40 Years Later]. Novosibirsk: Nauka-Center Publ., 2010. 394 p.
- Toropov K.V., Shor E.L. *Ptitsy yuzhnoi taigi Zapadnoi Sibiri: 25 let spustya* [Birds of the Southern Taiga of West Siberia: 25 Years Later]. Novosibirsk: Nauka-Center Publ., 2012. 636 p.
- Trofimov V.A. Models and methods of the qualitative factor analysis of the matrix of coupling. In *Problemy analiza diskretnoi informatsii. Ch. 2* [Problems of Discrete Information Analysis. Part 2]. Novosibirsk, 1976, pp. 24–36. (In Russ.).
- Trofimov V.A., Ravkin Yu.S. Express-method of estimation of relationship between the spatial inhomogeneity of animal assemblages and environmental factors. In *Kolichestvennye metody v ekologii zhivotnykh* [Quantitative Methods in Ecology of Animals]. Leningrad, 1980, pp. 113–115. (In Russ.).
- Tsybulin S.M. *Ptitsy Altaya* [Birds of Altai]. Novosibirsk: Nauka Publ., 2009. 236 p.
- Vasilchenko A.A., Galanin A.V. Physiographic conditions and creation history of Sokhondo Nature Reserve. In *Priroda Sokhondinskogo zapovednika* [Nature of Sokhondo Nature Reserve]. Chita, 1983, pp. 3–7. (In Russ.).
- Willig M., Kaufman D., Stevens R. Latitudinal gradients in biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 2003, no. 34, pp. 273–309.
- Zamora R., Barea-Azcón J. Long-term changes in mountain passerine bird communities in the sierra Nevada (southern Spain): a 30-year case study. *Ardiola*, 2015, vol. 62, no. 1, pp. 3–18.  
<https://doi.org/10.13157/arla.62.1.2015.3>

УДК 911.375

## ТИПЫ СЕТЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ “ВКОНТАКТЕ” В ГОРОДАХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. Н. А. Синицын\*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,  
Москва, Россия*

*\*e-mail: nicksinus@yandex.ru*

Поступила в редакцию 05.12.2020 г.

После доработки 23.05.2024 г.

Принята к публикации 18.07.2024 г.

Данные социальных сетей используются специалистами гуманитарных наук для анализа общества уже более десяти лет, однако потенциал этого источника еще не раскрыт до конца. Работа выполнена на основе открытых данных пользователей социальной сети “ВКонтакте”, проживающих в городах Вологодской области. Эти данные – отличный материал для социологических и общественно-географических исследований. Информация собрана с использованием API “ВКонтакте”. Разработана методика очистки данных от фейковых пользователей. Предложена комплексная характеристика пользователя, отражающая его вкусы и интересы по набору сообществ, на которые он подписан. Группа пользователей, склонная подписываться на определенный набор сообществ, названа типом сетевого поведения. Они были выделены с помощью разработанной методики кластеризации графа пользователей и сообществ, в основе которой лежит силовая укладка графа алгоритмом OpenOrd. Одиннадцать полученных типов сетевого поведения можно разделить на две группы: половозрастные и специализированные типы. Сообщества половозрастных типов не имеют основной темы, отличаются большим числом пользователей, важную роль в них играют юмористические ресурсы. Сообщества специализированных типов объединены одной или двумя основными темами, там на порядок меньше пользователей, мало юмористических сообществ. Структура половозрастных кластеров города в Вологодской области зависит от его плотности. На структуру специализированных кластеров кроме плотности влияет состав экономики города. Разнообразие типов сетевого поведения города прямо пропорционально численности населения города, при этом у городов с сопоставимой плотностью, разнообразие связано с ролью сферы услуг в местной экономике.

*Ключевые слова:* города, Вологодская область, открытые данные, социальная сеть, сетевое поведение, “ВКонтакте”, кластерный анализ, граф, OpenOrd, энтропия Шеннона

DOI: 10.31857/S2587556624040106 EDN: RPEKUO

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОБЗОР РАНЕЕ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные социальных сетей используются специалистами гуманитарных наук для анализа общества уже более пятнадцати лет. Нельзя сказать, что это новый источник данных, но потенциал его еще не раскрыт до конца. Данные пользователей сети “ВКонтакте” – отличный материал для социологических и общественно-географических исследований: большой охват респондентов, удобство сбора и анализа данных, но главное – отсутствие промежуточных агентов вроде социологических служб или государственных органов статистического учета (ФСГС, ФНС и др.). Это данные, полученные напрямую.

В статье сделана попытка ответить на следующие вопросы. Распадается ли совокупность пользователей “ВКонтакте” на группы по интересам в зависимости от подписок на сообщества или нет? Другими словами, существует ли тенденция определенной группы пользователей подписываться на ограниченный набор сообществ? Если таковые группы действительно существуют, зависит ли их концентрация в городе от его плотности и структуры экономики?

Вероятно, предлагаемый инструмент может служить измерителем уровня развития человеческого капитала города. Методика рассматривается на примере городов одного региона России, но возможно ее использование для любых территориальных единиц, по которым имеются аналогичные данные.

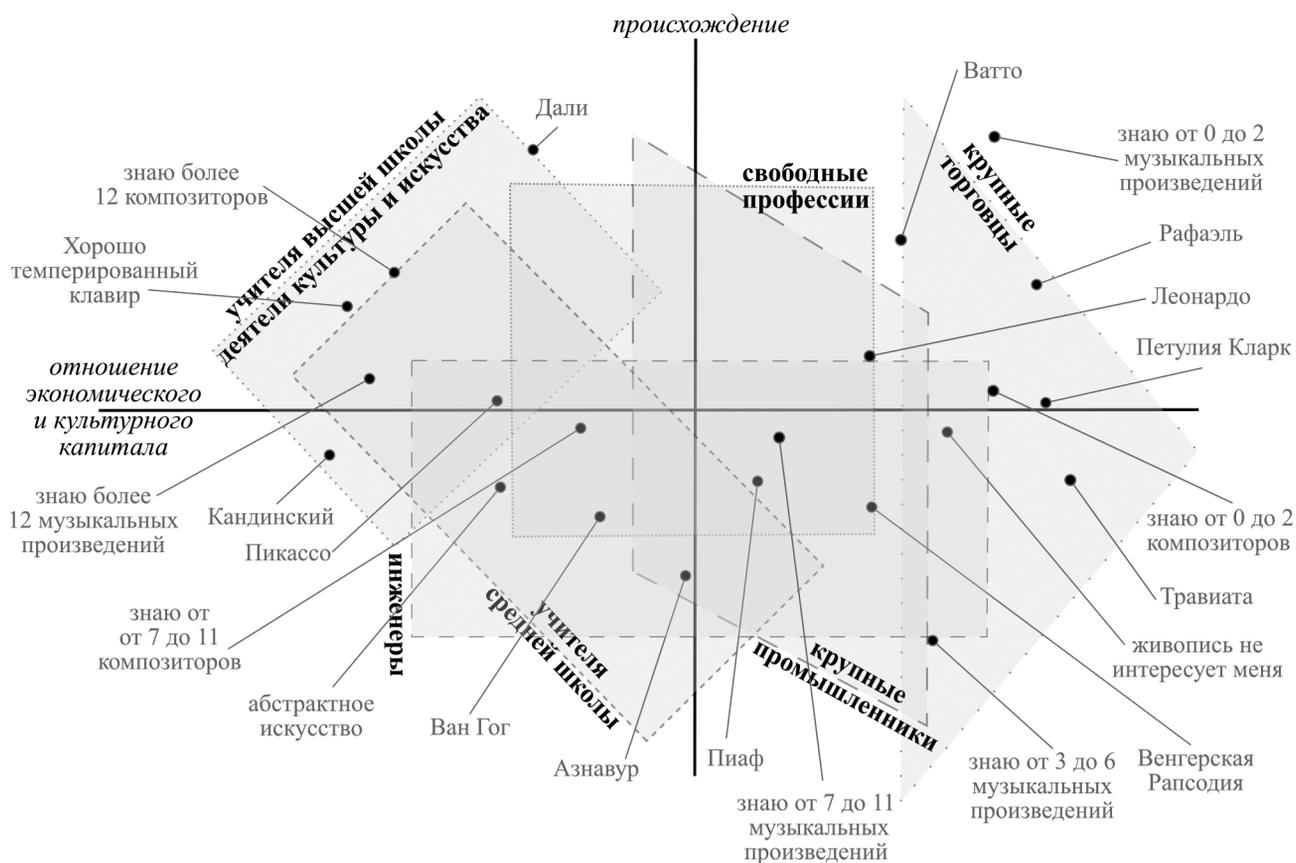


Рис. 1. Пространство П. Бурдьё для высшего класса [по (Bourdieu, 1984), отмечены не все точки].

*Тип сетевого поведения* – группа пользователей социальной сети, подписанных на сходный (но не одинаковый) набор сообществ. Сообщество (паблик) социальной сети – ресурс в социальной сети, посвященный определенной тематике и предназначенный для информационной коммуникации с пользователями. Спектр сообществ чрезвычайно обширен: официальные страницы крупного бизнеса, стихийные объединения маргинальных субкультур, юмор о школьной жизни, научно-популярные площадки, паблики для молодых мам, порталы про здоровье для пенсионеров – полный список тем, вероятно, сопоставим с общим кругом вопросов, волнующих любого достаточно взрослого современного человека.

Набор сообществ, на которые подписан пользователь в социальной сети, зависит от его вкусов и интересов. В социологии есть несколько работ, где предлагаются разные подходы к типологии людей по этим критериям. Все они, так или иначе, восходят к работе П. Бурдьё “Различение. Социальная критика суждения” (Bourdieu, 1984). Его исследование выполнено по данным социологических опросов на тему эстетических предпочтений французов: среди прочего респондентам нужно было указать авторов музыкальных произведений и фильмов, выбрать те сюжеты в изобразительном искусстве, которые они считают красивыми, пере-

числить любимых актеров, композиторов и художников, описать стиль обстановки своего жилища. По 26 вопросам создано более сотни метрик. Анализировать вместе сотню-другую свойств довольно трудно: П. Бурдьё использует анализ соответствий и переходит к двумерному пространству. Этот инструмент позволяет объединить метрики, высоко коррелирующие друг с другом, и свести их к новым агрегированным латентным переменным (факторам). Это похоже на факторный анализ, когда с помощью метода главных компонент снижают число измерений. Однако за ним стоит несколько иная математика, хотя и довольно похожая: в основе обоих методов лежит сингулярное разложение матрицы. Новые измерения получили адекватную интерпретацию. Горизонтальная ось – соотношение человеческого капитала (тип диплома и число лет обучения) и экономического капитала (доход) человека. Вертикальная ось – происхождение человека (измерялось через занятия отцов респондентов). Люди разных профессий действительно располагаются в разных частях этой координатной плоскости. Рассмотрим для примера высший класс (рис. 1). Похожую схему можно посмотреть в первоисточнике и для среднего класса.

Многоугольниками ограничены области, где расположены респонденты из какой-нибудь

профессиональной группы. Отдельными жирными точками показаны средние координаты респондентов, давших определенный ответ на некоторый вопрос. Например, координаты точки “Пиаф” рассчитаны как средние значения координат респондентов, считающих Э. Пиаф любимым музыкантом. П. Бурдые наложил два пространства друг на друга: пространство профессий и пространство произведений культуры и затем наблюдал за их пересечением.

Крупные торговцы и крупные промышленники знают мало композиторов и музыкальных произведений, среди любимых музыкантов и художников указывают только широко известных классиков и их работы, а также популярных певцов. На другом полюсе – преподаватели высшей школы и деятели культуры и искусства. Знают много композиторов и музыкальных произведений, любят авангард (импрессионизм и абстракционизм) и малоизвестные работы музыкальных классиков. Между двумя полюсами расположились представители свободных профессий и инженеры. У них средние познания в музыке и живописи. Им интересен авангард, но в тоже время они слушают популярный шансон.

Исследование не лишено недостатков. Во-первых, выводы сделаны по диаграммам в двух измерениях, каждое из которых – одна из компонент, получившихся после снижения размерности данных с помощью анализа соответствий. В сумме обе компоненты объясняют около 10% дисперсии исходных данных как для высшего, так и для среднего класса. Это значит, что большая часть различий осталась необъясненной или их можно списать на случайные отклонения в данных (что маловероятно). Во-вторых, показана связь профессии человека и его культурного потребления только для высшего и среднего класса. Низший класс (а это большая часть населения) в метриках П. Бурдые осталась недифференцированной.

Р. Петерсон продолжил работы в направлении, которое обозначил П. Бурдые. Он изучал разницу в потреблении культурных благ между массой и элитой (Peterson, 1992). Судя по его данным, элита всеядна и потребляет блага как высокой, так и низкой культуры. Масса же питается исключительно продуктами низкой культуры (в том числе массовой). Ему, конечно, очень повезло с большим массивом хороших данных – Бюро переписей США провело обширный опрос на тему потребления культурных благ американцами.

Совсем недавно М.М. Соколов с соавторами (2016) показал важность не только профессии (класса), но также пола и возраста для понимания вкусов и интересов человека. Использовались данные электронных читательских карточек библиотек Санкт-Петербурга.

С.И. Сулов (2016, а, б) выделял кластеры среди политических пабликов социальной сети “ВКонтакте” в Санкт-Петербурге. М.В. Хлопотов с соавторами (2019) доказали способность данных “ВКонтакте” адекватно отражать интересы и вкусы человека. Это сделано путем сравнения с независимым источником (порталом “Кинопоиск”). Пользователи из кластеров, выделенных по сходству выставления оценок на “Кинопоиске”, склонны подписываться “ВКонтакте” на паблики, темы которых соответствуют темам их любимых фильмов. Любимые фильмы – те, что получили на “Кинопоиске” высокую оценку пользователя. Студенческий центр анализа данных Дальневосточного федерального университета совместно с компанией SocialDataHub сконструировали графы социальных связей студентов по данным сети “ВКонтакте” в разрезе каждого факультета<sup>1</sup>. Сравнивались графы, построенные по дружеским связям и по лайкам. Сделана попытка связать успеваемость студента и его центральность в графе.

Несколько лет назад коллектив под руководством Н.Ю. Замятиной и А.Д. Яшунского собрал данные с помощью парсера через API “ВКонтакте” (Чекмышев, Яшунский, 2014) по всем пользователям этой социальной сети в разрезе возраста, пола, места учебы, работы и списка друзей (Замятина, 2012). В итоге был получен ряд интересных результатов. Показано явление виртуальной урбанизации – завышение отношения числа пользователей к населению в пределах крупного города и занижение в окружающих районах (Ивлиева, Яшунский, 2016). Установлено, что структура имен пользователей позволяет картографировать этнические ареалы с высокой точностью, по крайней мере по сетке муниципальных районов (Замятина, Яшунский, 2018). Предложена методика оценки образовательных миграций: из анкет пользователей-студентов вузов взята информация по специальности, месту рождения и полу, что позволило выделить зоны тяготения крупнейших образовательных центров в разрезе гуманитарных и технических факультетов (Замятина, 2012). Вместе с тем некоторые установки авторов представляются спорными. Например, они не делали никаких попыток фильтровать данные от фейковых пользователей, мотивируя это тем, что “искажения, вносимые за счет анкет, не соответствующих реальным людям, а заводимые программами-роботами для различных целей, не так значительны – анкеты роботов зачастую не содержат практически никаких сведений, тем самым, не влияя на массив содержательных анкет” (Замятина, Яшунский, 2018, с. 122).

<sup>1</sup> Графон на минималках, большие данные в большом университете. <https://theshuttle.ru/big-data-leaders> (дата обращения 25.10.2021 г.).

Еще два интересных географических исследования с использованием открытых данных “ВКонтакте” сделаны для поиска границы зон тяготения Москвы и Санкт-Петербурга на территории Тверской области (Смирнов и др., 2019), а также для анализа аудитории и содержания местных сообществ городов Тверской области (Смирнов, Смирнова, 2019).

Масштабные исследования социальных сетей – довольно трудоемкое дело, этим занимаются большие коллективы. Наиболее существенные результаты по анализу русскоязычных социальных сетей показал гарвардский центр Беркмана. Там выполнили два крупных анализа рунета: один по русскоязычному сегменту Твиттера (Etling et al., 2012), второй – по блогосфере (в основном Живой Журнал) (Etling et al., 2010). Использовали кластерный анализ и анализ графов. Получили кластеры, которые имеют хорошую интерпретацию. Они неплохо отражают основные детали общественной повестки конца нулевых – начала десятых годов.

Эти проекты показали широкие возможности, которые дают открытые данные социальных сетей для научных исследований.

### МЕТОДИКА СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ

Рассматривались сообщества, на которые подписаны пользователи сети “ВКонтакте”, проживающие в городах Вологодской области с населением более 10 тыс. чел. в 2019 г. Порог численности жителей взят с небольшим запасом относительно официального критерия людности города в Вологодской области. По данным Левада-Центра (Волков, Гончаров, 2014, 2019), самой популярной социальной сетью в России остается “ВКонтакте”, ее аудитория непрерыв-

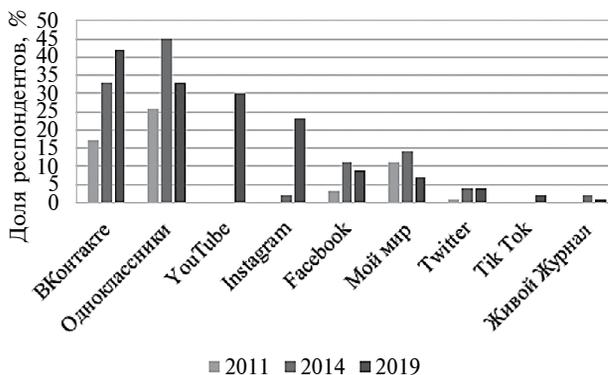


Рис. 2. Доля респондентов, указавших себя среди пользователей разных социальных сетей, % от всей выборки.

но растет с 2011 по 2019 г. (рис. 2). Вологодская область выбрана в качестве рабочего полигона благодаря своей типичности – по многим социально-экономическим показателям она близка к средним значениям по стране (рис. 3).

В мае 2019 г. были собраны данные пользователей сети “ВКонтакте”, которые при регистрации в графе city указали один из следующих городов: Череповец, Вологда, Сокол, Великий Устюг, Шексна, Грязовец, Бабаево, Кадуй, Вытегра, Харовск. Исходя из общего распределения пользователей по возрастам, выгружались данные только для пользователей 1950–2005 гг. рождения. Старше 70 лет довольно мало пользователей, младше 15 лет тоже нет смысла выгружать – формально, во “ВКонтакте” нельзя регистрироваться людям младше 14 лет. “ВКонтакте” предоставляет API для удобной работы с данными пользователей. API (application programming interface – интерфейс программирования приложений) – набор функций в социальной сети для машинного доступа к ее данным. Они нужны для работы приложений социальной сети, но их

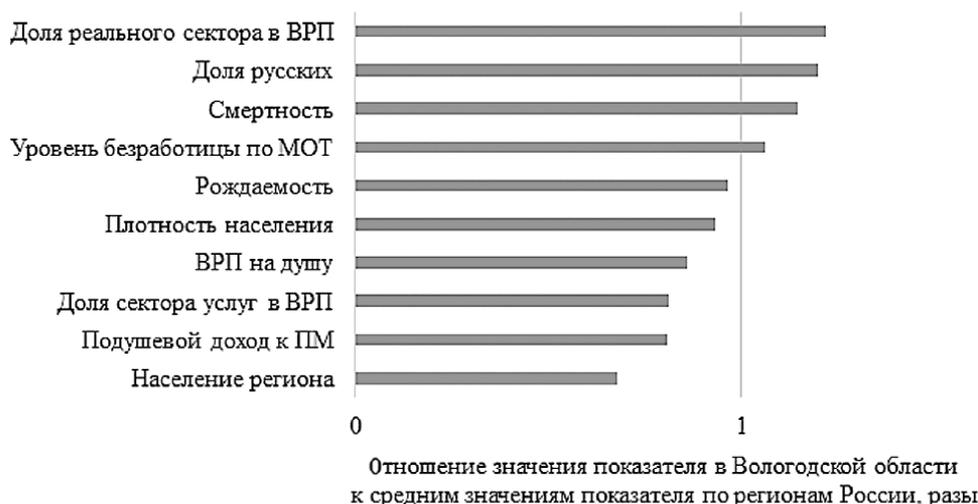


Рис. 3. Некоторые показатели Вологодской области на фоне регионов России, 2020 г.

функционал позволяет выгружать информацию о пользователях<sup>2</sup>. Сбор, анализ и визуализация данных выполнены на языке R.

Первый этап сбора данных – составление списка пользователей по каждому городу с помощью функции `users.search`<sup>3</sup>. В качестве ответов запрашивались следующие характеристики пользователя: имя, фамилия, `id` (внутренний номер “ВКонтакте”), закрытость страницы, статус, число подписчиков, время последнего посещения.

Второй этап – фильтрация фейковых пользователей. Фейки (*fake* – подделка) – пользователи, использующие персональную страницу во “ВКонтакте” не для личных целей: маркетинг, политические провокации, искусственное повышение внутрисетевого рейтинга страниц известных персон, спам и др. Фильтрация фейков организована в три ступени.

1. Зная дату последнего захода пользователя в сеть и время загрузки, можно посчитать число дней с момента последнего посещения. Если оно больше 14, то пользователь считается фейком. Как правило, фейки создаются под конкретный проект и по его завершении про них забывают. Недостаток фильтра двух недель – теряется часть малоактивных пользователей.

2. Нетрудно выделить тех пользователей, у которых число подписчиков слишком велико. Порог чересчур большого числа подписчиков для каждого возраста свой. Так, для человека 1950-х годов рождения – 200–300 подписчиков, для пользователя 1990-х годов рождения – примерно 1500. Это связано с разным уровнем сетевой активности у разных поколений. Порог нетрудно рассчитать, отсекая хвосты на гистограмме распределения числа пользователей по количеству их подписчиков для каждого возраста. Фейки часто подписываются друг на друга для повышения внутрисетевого рейтинга. Чем выше внутрисетевой рейтинг пользователя, тем выше его место во внутрисетевой поисковой выдаче – это важно для фейков, занимающихся рекламой или продажами.

3. Последняя ступень – фильтр по статусам. Во “ВКонтакте” можно указать свой статус. Планировалось, что люди будут писать там свое настроение, эмоции, переживания, важные вещи, делать заявления, но, как правило, он пустой. Статус размещается на видном месте на странице пользователя – под его именем и фамилией. Этим воспользовались продавцы товаров и услуг – они размещают там объявления о своей деятельности. Составив словарь характерных

**Таблица 1.** Пример таблицы графа

Пользователь	Сообщество
Вася Сивый	Четкие приколы
Вася Сивый	Новости Нефтеперегоньевска
Алена Солнышко	Цитатная тетрадь
Алена Солнышко	Новости Нефтеперегоньевска
Алена Солнышко	Твой Позитив

слов, сокращений и сочетаний цифр (“куплю”, “тел.”, “руб.”, 921 и др.), можно выделять фейки по содержанию статуса.

Завершающий этап сбора данных – выгрузка списка сообществ, на которые подписан пользователь с помощью функции `users.getSubscriptions`<sup>4</sup>. Не все сообщества в списке сообщают одинаковое количество информации о поведении пользователя. Они располагаются там в порядке популярности. Чем больше пользователь обращал внимание на публикации из паблика (лайкал, репостил, смотрел картинки или видео, слушал аудиозаписи, оставлял комментарии), тем выше располагается паблик в личном рейтинге. Поскольку многие подписаны на десятки и даже сотни сообществ, то было принято решение брать только первые 30 пабликов из списка пользователя.

Изменение половозрастной структуры выборки при выгрузке данных показано на рис. 4. Во “ВКонтакте” есть частотные ограничения при выгрузке информации (3 запроса в секунду), которые можно обойти, используя функцию `execute` (75 запросов в секунду)<sup>5</sup>. Далее переходим к предварительной обработке собранных данных.

Формируем граф в табличной форме (табл. 1). Строка таблицы – ребро графа, им является подписка пользователя на сообщество. Соответственно, пользователи и сообщества – вершины графа. В первом столбце указан пользователь, во втором – паблик, на который он подписан. Ребра графа не имеют весов.

Прежде чем приступить к анализу, нужно подготовить собранную таблицу графа. Удалены сообщества, отражающие локальную повестку населенного пункта (“Сокольские сплетни”, “Подслушано Харовск” и др.). До фильтрации местных сообществ общее число уникальных пабликов было 327 тыс., после фильтрации – 319 тыс. При этом число ребер уменьшилось с 6.1 до 5.3 млн. Число сооб-

<sup>2</sup> Выполнение запросов к API ВКонтакте. [https://vk.com/dev/api\\_requests](https://vk.com/dev/api_requests) (дата обращения 25.10.2020 г.).

<sup>3</sup> Список методов: `Users: users.search`. <https://vk.com/dev/users.search> (дата обращения 25.10.2020 г.).

<sup>4</sup> Список методов: `Users: users.getSubscriptions`. <https://vk.com/dev/users.getSubscriptions> (дата обращения 25.10.2020 г.).

<sup>5</sup> Список методов: `execute`. <https://vk.com/dev/execute> (дата обращения 25.10.2020 г.).

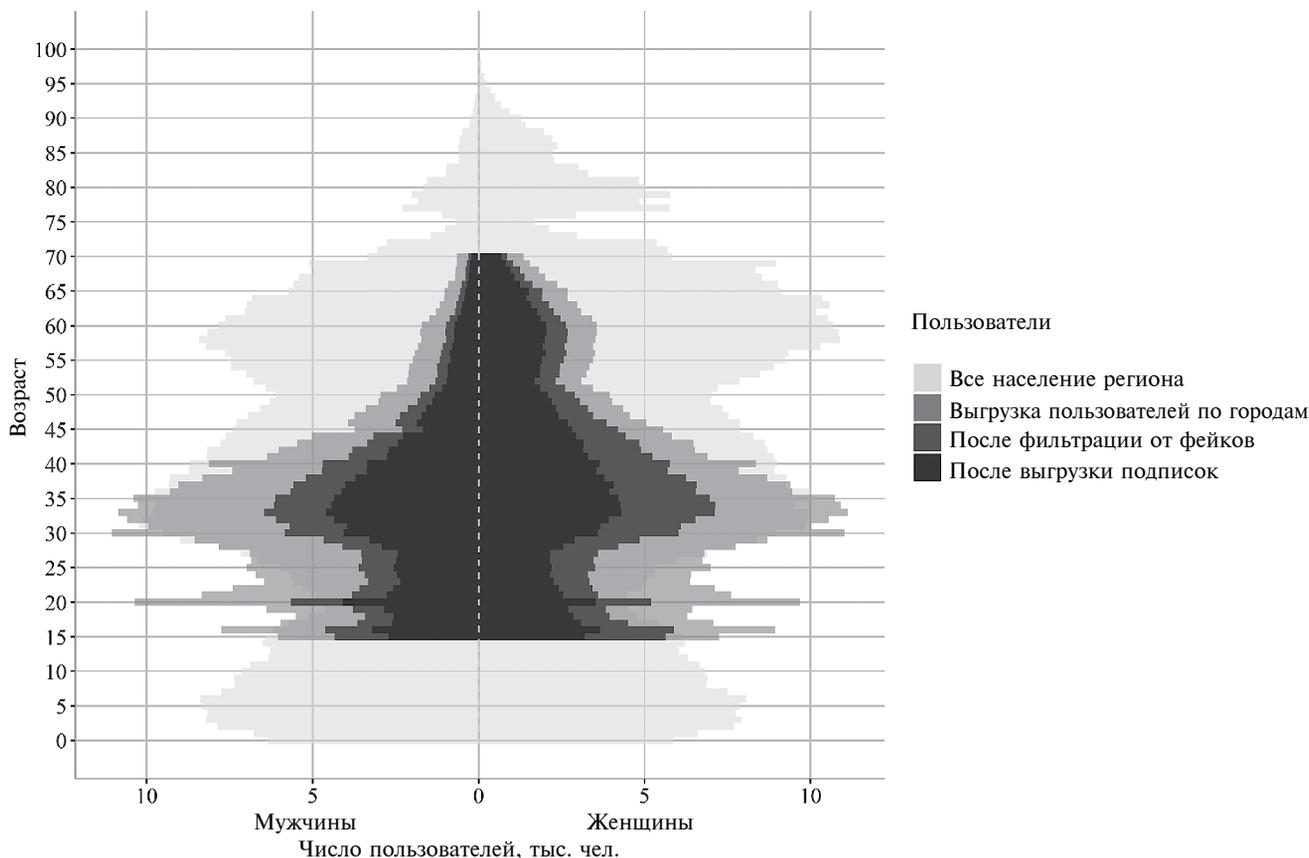


Рис. 4. Трансформация половозрастной пирамиды пользователей выгрузки “ВКонтакте” при загрузке и фильтрации данных.

шествов уменьшилось только на 2.5%, а число ребер – на целых 12.5%. Важно фильтровать данные от локальных пабликов, они обладают большой агрегирующей способностью (на них приходится 1/8 всех ребер графа). Локальные паблики показывают только территориальную принадлежность пользователя (даже не идентичность), а не его пристрастия в потреблении культурных благ. Убираем

сообщества, у которых есть только одна подписка. Они не обладают агрегирующей способностью и бесполезны в укладке графа. Число сообществ существенно сократится – с 319 до 136 тыс.

Наконец, убираем пользователей с одной подпиской или без подписок. Они тоже не обладают агрегирующей способностью при укладке графа (рис. 5).



Рис. 5. Изменение числа пользователей выборки при выгрузке данных.

Затем производится кластеризация графа, методика которой представлена на рис. 6. Важнейшая часть методики – укладка графа. Алгоритм укладки отвечает за концентрацию вершин графа в отдельные кластеры, его задача – расположить на плоскости вершины графа так, чтобы те из них, которые хорошо связаны друг с другом, находились рядом. Для этого используется алгоритм OpenOrd, его старое название – *drl*, под этим именем он до сих пор значится в пакете *igraph* в языке R. Разработан Ш. Мартином с соавторами в 2008 г. (Martin et al., 2011). В настройках алгоритма OpenOrd параметр числа отброшенных ребер задан 0.9 (стандартный – 0.8).

Выделить кластеры на укладке графа напрямую не получится. Во-первых, плотность вершин в разных сгущениях сильно различается, а алгоритмы плотностной кластеризации, например *dbscan*, не могут корректно выделять кластеры с разной плотностью точек. Во-вторых, данные сильно зашумлены (шум – точки, которые не попадают в сгущения вершин на укладке графа), а иерархическая кластеризация и *k-means* плохо работают на зашумленных данных (*k-means* в данном случае вообще не подходит – мы не знаем точно число кластеров). В-третьих, для иерархической кластеризации нельзя брать все точки на укладке (почти 400 тыс. шт.) – матрица расстояний не поместится в оперативную память персонального компьютера. В итоге, берется случайная выборка из 20 тыс. точек; используя *dbscan*, убирается шум (его плотность невелика и везде одинакова); затем с помощью иерархической кластеризации выделяются центры кластеров, к которым приписываются оставшиеся точки по принципу ближайшего соседа.

### ТИПЫ СЕТЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ

Кластеризация выполнена для графа из 386 тыс. вершин – 250 тыс. личных страниц и 136 тыс. сообществ. Кластеры действительно существуют, они хорошо выражены, сильно отличаются по размеру и плотности (рис. 7). Укладка графа интересна тем, что если провести диагональ из левого верхнего угла в правый нижний, то небольшие кластеры снизу от нее будут состоять из фейков. Хотя фейковых кластеров много, они довольно малочисленные – 35 тыс. пользователей из 250 тыс., или 14%. Пользователь может подписываться на другого пользователя, не только на сообщество – фейки часто подписываются друг на друга для повышения рейтинга. Так появляются кластеры, собранные только из пользователей. Кроме необычных кластеров из пользователей среди фейковых кластеров есть несколько тематических:

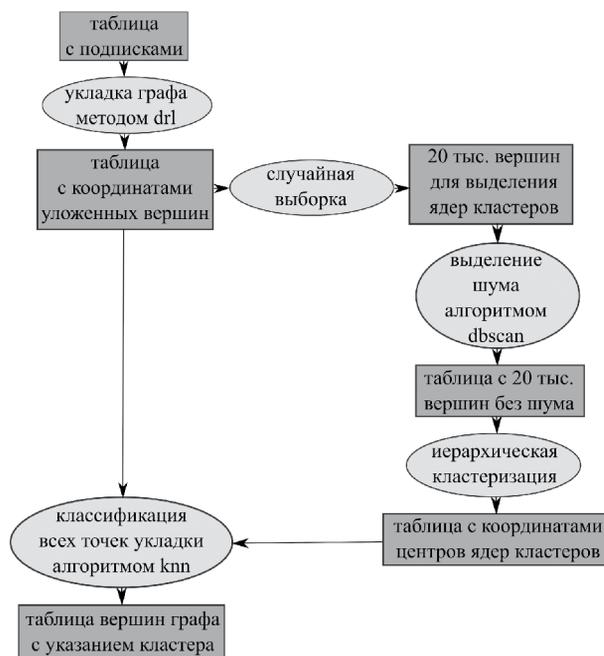


Рис. 6. Методика кластеризации графа.

- кластер, где собраны паблики для поиска работы в других городах России;
- кластер секс-знакомств, эротики и порнографии;
- два кластера из интернет-магазинов и страниц торговых предприятий;
- два религиозных кластера (православный и протестантский).

Сравнительно небольшое число оставшихся фейковых пользователей говорит о том, что методика их фильтрации выполняет свою функцию, хотя и не до конца, в первую очередь потому, что небольшая часть фейков все-таки является рабочими, неспящими. Они концентрируются в отдельные кластеры, которые можно не рассматривать в дальнейшем анализе. Этот прием использовался для исключения маркетинговых аккаунтов при исследовании русскоязычного сегмента Твиттера в центре Беркмана (Etling et al., 2012) – там тоже фейковые аккаунты объединились в один кластер, который потом просто убрали.

Для каждого кластера выполнены следующие действия (табл. 2): построена половозрастная пирамида пользователей; по каждому городу Вологодской области рассчитана доля пользователей в кластере от всех пользователей в городе; определены темы 30 пабликов, на которые подписано максимальное число пользователей.

Есть два варианта кластеров с реальными (нефейковыми) пользователями: половозрастные и специализированные (рис. 8). В половозрастных кластерах содержание сообществ соответствует полу и возрасту пользователей. Например, в кластере “Пенсионерки” будут

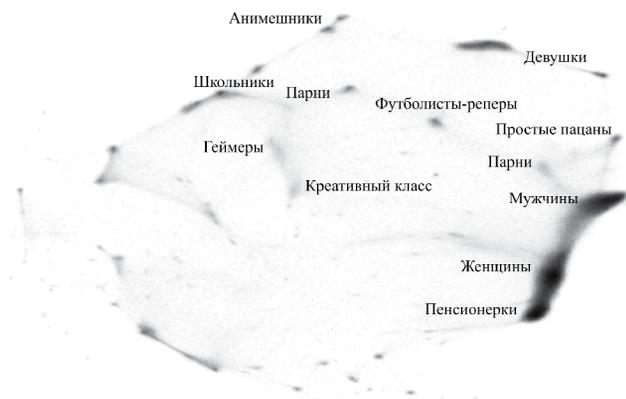


Рис. 7. Кластеры на укладке графа (ребра графа не показаны, фейковые кластеры не подписаны).

паблики о даче, рецептах, здоровье, пенсионерах, новостях, домоводстве. В таких кластерах нет какой-нибудь основной темы или нескольких тем, кроме одного исключения – на первом месте обычно с большим отрывом всегда идут юмористические паблики. Юмор всегда с поправкой на пол и возраст – у “Школьников” про учебный процесс, а у “Женщин” – про быт, отношения и котов.

В специализированных кластерах ситуация иная: там нет или есть буквально единичные примеры юмористических пабликов. Юмор всегда носит узкий специфический характер, например, циничный юмор в кластере “Футболисты-реперы”. Самая главная черта специализированных пабликов – одна или две основные темы, скажем, научпоп у “Креативного класса” или автомобили у “Простых пацанов”.

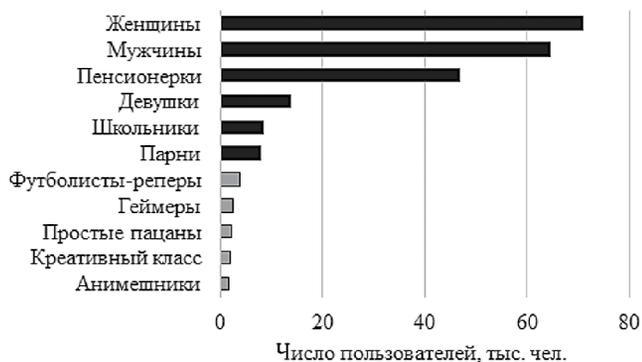
Большая часть (95%) всех пользователей принадлежит к половозрастным кластерам (“Женщины”, “Мужчины”, “Пенсионерки”, “Девушки”, “Школьники”, “Парни”). Только 5% пользователей попадает в специализированные кластеры (“Футболисты-реперы”, “Геймеры”, “Простые пацаны”, “Креативный класс”, “Анимешники”).

Обычно социологии, как уже упоминалось в обзоре литературы, рассматривают типы культурного потребления через разрез массы и элиты. В данном случае это не совсем верно. Правильнее будет говорить о наличии массы и девиаций: прогрессивных (“Креативный класс”, “Геймеры”, “Анимешники”) и консервативных (“Футболисты-реперы”, “Простые пацаны”). Здесь надо отметить, что разные школы соци-

Таблица 2. Основные характеристики типов сетевого поведения

Тип сетевого поведения/ кластер	Средний возраст, лет	Примерное соотношение мужчин и женщин, %	Основные темы 30 крупнейших сообществ	Категория людности городов, где доля кластера максимальна
“Женщины”	30–40	20/80	Женский юмор, домоводство, отношения, кулинария, ЗОЖ	крупные
“Пенсионерки”	50–60	10/90	Женский юмор, новости, кулинария, пенсионеры, здоровье, домоводство, дача	малые
“Мужчины”	30–40	90/10	Мужской юмор, кино, автомобили, отношения	доля одинакова по городам
“Школьники”	15–18	50/50	Подростковый юмор	малые
“Девушки”	17–21	10/90	Юмор для девушек, поп-культура, красота, эстетика, астрология	крупные
“Парни”	18–25	80/20	Молодежный юмор, футбол, новости, морализаторские паблики*	крупные
“Креативный класс”	30–40	80/20	Научпоп, спорт, новости, музыка, дизайн	крупные
“Геймеры”	20–30	90/10	Компьютерные игры, компьютеры, киберспорт	крупные
“Анимешники”	15–18	10:90	Аниме, рисование, астрология, к-роп	крупные
“Футболисты-реперы”	17–25	90:10	Футбол, циничный юмор, морализаторские паблики, рэп	крупные
“Простые пацаны”	15–25	90:10	Автомобили и музыка	доля не зависит от людности

Примечание. \* В морализаторских пабликах публикуют и азартно обсуждают фото неподобающего, на взгляд пользователей, поведения.



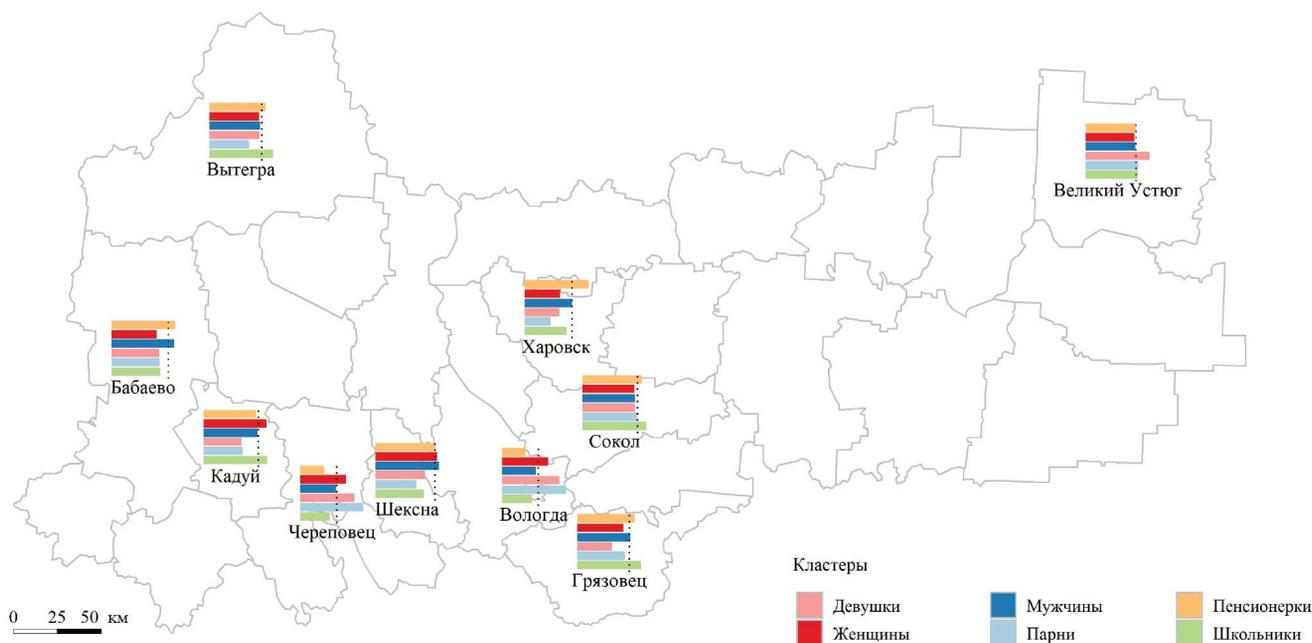
**Рис. 8.** Распределение кластеров по числу пользователей (черные – половозрастные, серые – специализированные).

ологии трактуют понятие девиации по-своему. Некоторые исследователи (Neckert, Neckert, 2002) говорят о наличии не только отрицательных девиаций (хулиганство, разбой, алкоголизм и т.д.), но и положительных (героизм, добросердечие, талант и т.д.). Термин девиация уместен еще тем, что на соответствующие кластеры действительно приходится сравнительно мало пользователей, на общем фоне это выглядит как отклонения от нормы (см. рис. 8).

### ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ТИПОВ СЕТЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ

Для картографирования типов сетевого поведения городов лучше всего подходят значки в виде диаграммы. Длина горизонтальных столбиков зависит от отношения доли кластера в городе к средней доле кластера по городам области. Все столбики пересекает вертикальная пунктирная черта, обозначающая отношение равное 1. Черта задает общий масштаб для всех городов. Это позволяет наглядно показывать соотношение между типами сетевого поведения в городе и сравнивать структуры типов сетевого поведения у городов разной людности между собой.

Структура половозрастных кластеров города зависит от его людности (рис. 9). В крупных городах – Череповце и Вологде (население около 300 тыс. чел.) – повышена доля кластеров “Женщины”, “Девушки” и “Парни”, но сильно понижена доля кластеров “Пенсионерки” и “Школьники”. Доля этих двух кластеров велика в малых городах с населением 10–20 тыс. жителей. Структура половозрастных кластеров средних городов (Великий Устюг и Сокол) строго соответствует средней по региону. Можно говорить об инверсии структуры половозрастных кластеров насе-



Длина горизонтальных столбиков диаграммы отражает отношение доли пользователей кластера в городе к средней доле пользователей кластера по городам области (вертикальная черта – отношение равно 1)

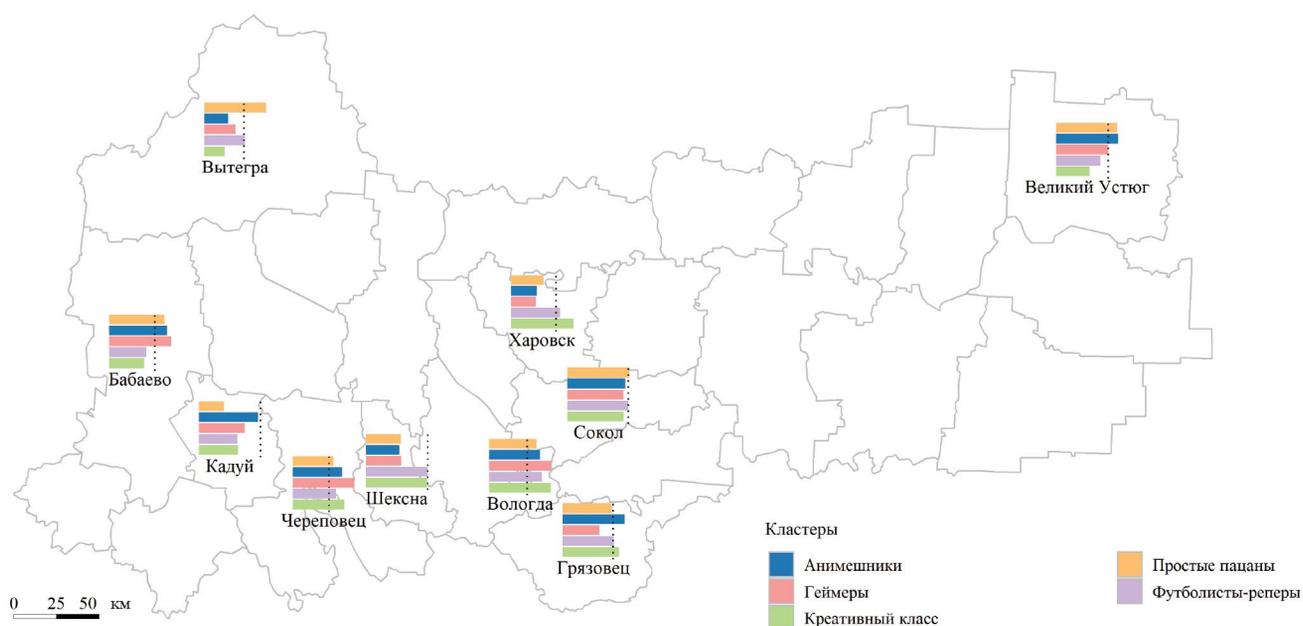
**Рис. 9.** Структура половозрастных кластеров городов Вологодской области.

ленного пункта при переходе от крупных городов к малым. Возможно, люди в трудоспособном возрасте, из которых состоят кластеры “Женщины”, “Девушки” и “Парни”, уезжают из малых городов в Череповец и Вологду на учебу или на работу, за счет чего их доля в крупных городах больше, чем в малых. Снижение доли пользователей Вологды и Череповца в младших возрастах, вероятно, связано также с тем, что в крупных городах люди этой когорты активно пользуются другими социальными сетями, например “Инстаграммом”. Не понятно, что объясняет повышенную популярность “ВКонтакте” в малых городах у женщин после 50 лет. Мужчины этого возраста там так же безразличны к “ВКонтакте”, как и в больших городах.

Структура специализированных кластеров тоже связана с людностью города (рис. 10). Доля всех специализированных кластеров в Вологде и Череповце повышена по сравнению с малыми и средними городами региона (кроме кластера “Простые пацаны”). Особенно сильно повышена доля “Креативного класса”, “Геймеров” и “Футболистов-реперов”. В промышленном Череповце (черная металлургия и минеральные удобрения) доля “Креативного класса” на 14% меньше, чем Вологде (с ее центральными функциями, информационными технологиями и точным машиностроением) – 0.91 и 1.04% соответственно. Средние города, как и в случае с половозрастными кластерами, являются отражением области. Анализировать географию

специализированных кластеров на примере малых городов не вполне корректно. Характерная доля специализированного кластера – порядка 0.5% населения города. Если на город приходится 3000 пользователей, то среднее число пользователей специализированных кластеров в малом городе – 10–20. При таком масштабе даже случайное добавление 3–4 пользователей способно существенно изменить долю кластера в городе (алгоритм укладки графа не является строго детерминированным).

Тем не менее стоит отметить повышенную долю “Креативного класса” в некоторых малых и средних городах области. Особенно это заметно в Харовске. Дело в сильных лыжных спортивных школах. Пользователи, интересующиеся лыжами (как беговыми, так и горными) часто встречаются среди типичного “креативного класса”, вроде программистов и дизайнеров, но из-за этого в кластер попали также многие спортсмены-лыжники. Важная особенность алгоритма силовой укладки графа – чем больше пользователей с характерным набором подписок на определенные сообщества, тем выше вероятность, что у них хватит агрегирующей способности собраться в отдельное, достаточно большое сгущение. В масштабах Вологодской области лыжников для этого оказалось недостаточно. Однако они выделились в отдельный маленький субкластер, рядом с большой массой “креативных” пабликов (рис. 11). Если проводить кластеризацию в масштабах всей страны или несколь-



Длина горизонтальных столбиков диаграммы отражает отношение доли пользователей кластера в городе к средней доле пользователей кластера по городам области (вертикальная черта – отношение равно 1)

Рис. 10. Структура специализированных кластеров городов Вологодской области.

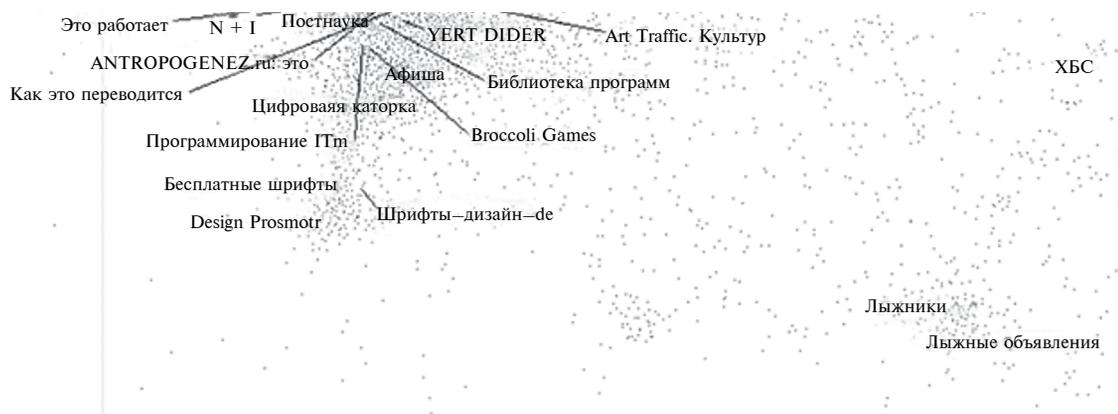


Рис. 11. Сгущение лыжников на периферии кластера “Креативный класс”.

ких регионов, вполне вероятно, что любители лыжного спорта сформируют отдельный большой кластер.

### РАЗНООБРАЗИЕ ТИПОВ СЕТЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ

Для оценки разнообразия использовалась энтропия Шеннона (Shannon, 1948) как наиболее теоретически обоснованная, хотя допустимо использовать любую меру разнообразия.

$$E = \sum_{i=1}^n w_i \times \log_2 w_i,$$

где  $E$  – разнообразие типов сетевого поведения города,  $i = 1, 2, \dots, n$  – тип сетевого поведения,  $n$  – число типов сетевого поведения,  $w_i$  – доля пользователей определенного типа сетевого поведения в численности пользователей города. Соотношение между числом пользователей в городе и разнообразием типов сетевого поведения довольно точно описывается логарифмической зависимостью (рис. 12).

Разнообразие типов сетевого поведения пропорционально логарифму численности населения города. При сопоставимой людности разнообразие выше там, где больше доля сектора услуг в структуре экономики города (рис. 13, 14). Отклонения от линии тренда на графике соотношения разнообразия и населения города (см. рис. 13) связаны именно с ролью третичного сектора. Среди малых городов выше тренда лежат транспортные центры: Вытегра (шлюзы Волго-Балтийского канала), Грязовец (компрессорная станция газопровода Ухта–Торжок, ж/д станция), Бабаево (компрессорная станция газопровода Грязовец–Выборг, ж/д станция). Ниже линии тренда располагаются промышленные центры: Кадуй (электроэнергетика, лесопереработка), Харовск (лесопиление), Шексна (лесопереработка, исправительные колонии). Средние города: Великий Устюг расположен выше линии тренда (туризм, центральные функции),

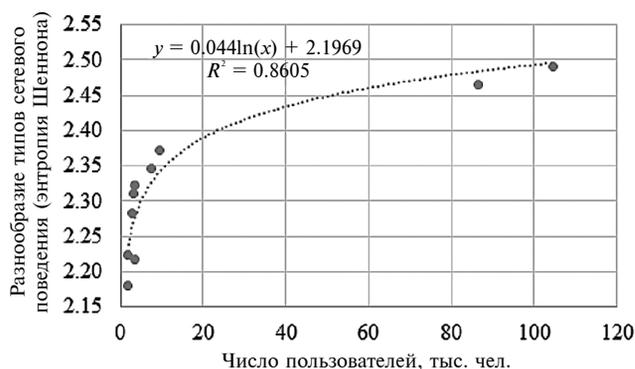


Рис. 12. Соотношение между числом пользователей в городе и разнообразием типов сетевого поведения по городам Вологодской области.

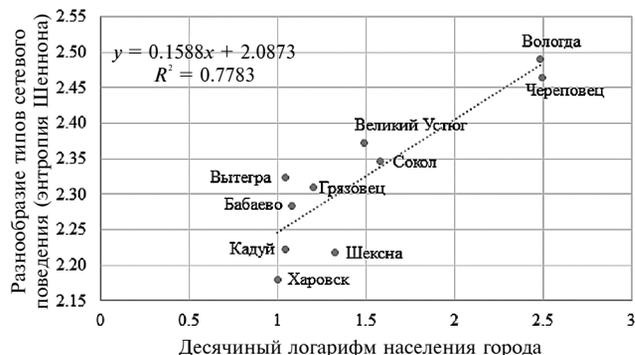


Рис. 13. Соотношение населения города и разнообразия типов сетевого поведения.

а Сокол, где развита лесопереработка, фактически, лежит на ней. Крупные города: Вологда расположена выше линии тренда, а промышленный Череповец – ниже.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Не существует единой точки зрения о соотношении потребления культурных благ и их социально-экономических факторах. В рамках

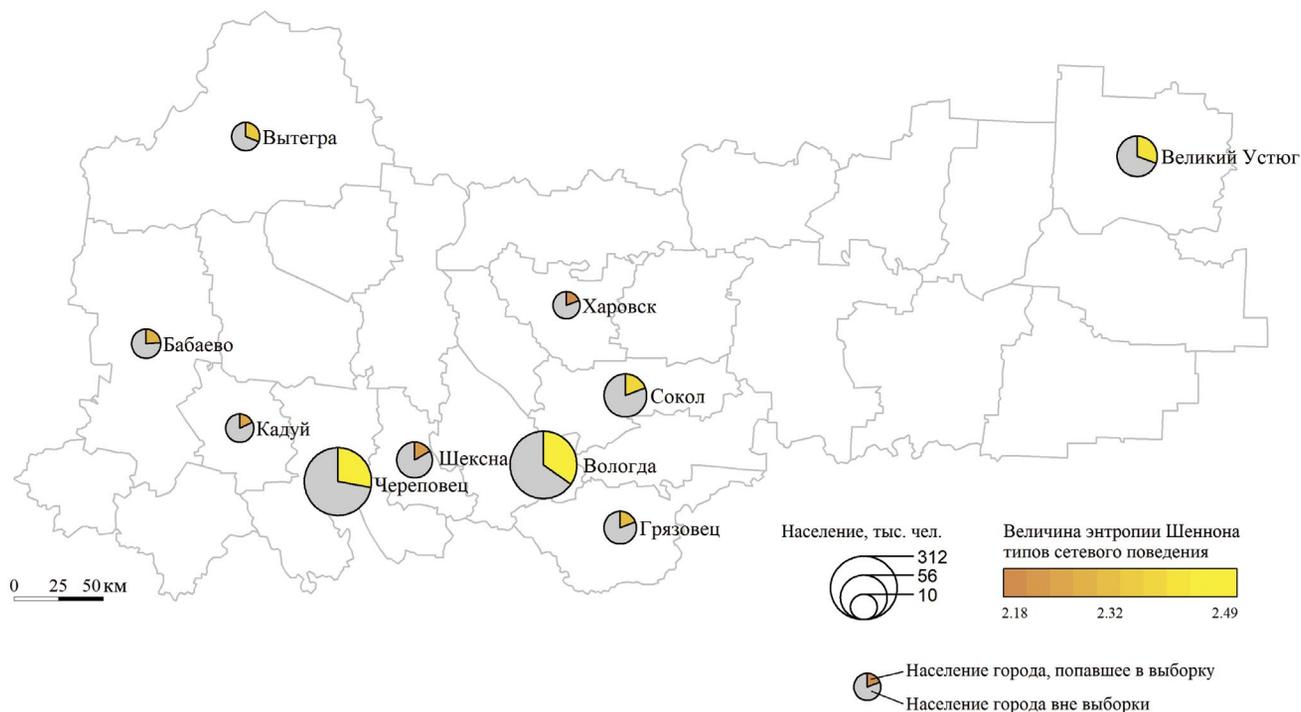


Рис. 14. Разнообразие типов сетевого поведения населения городов Вологодской области.

этого исследования показано, что вместо стандартного разделения на массу и элиту, уместнее говорить о массе и двух типах отклонений от нее — условно-прогрессивных и условно-консервативных.

Трехступенчатая фильтрация позволяет исключать фейковых пользователей социальных сетей по нескольким критериям — времени последнего посещения (две недели и более с даты выгрузки данных), числу подписчиков (фейки имеют завышенное число подписчиков для поднятия своего рейтинга), словарю статусов (фейки часто продают товары и услуги, используя статусы “ВКонтакте” для рекламы). Для корректного агрегирования вершин при кластеризации графа важно исключить сообщества с локальной повесткой и вершины с одним ребром.

В основе методики кластеризации графа пользователей и сообществ лежит его силовая укладка с помощью алгоритма OpenOrd. Выделяются два варианта кластеров (типов сетевого поведения): половозрастные и специализированные. Темы сообществ половозрастных кластеров зависят от пола и возраста типичного пользователя кластера. Единственной главной темой в половозрастном кластере всегда является юмор. Сообщества специализированных кластеров объединены уникальным для каждого кластера небольшим числом основных тем.

Структура типов сетевого поведения пользователей “ВКонтакте” в городах Вологодской

области зависит от людности города. Это справедливо как для половозрастных, так и для специализированных кластеров. Для объяснения структуры специализированных кластеров пользователей в городе важен состав его экономики. Для малых городов оценки по специализированным кластерам могут быть некорректными.

Разнообразие типов сетевого поведения пользователей в городе прямо пропорционально логарифму людности города с поправкой на долю сектора услуг. При сопоставимой людности разнообразие выше там, где доля сектора услуг больше.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волков Д., Гончаров С. Российский медиа-ландшафт: телевидение, пресса, интернет. М., 2014. 15 с.
- Волков Д., Гончаров С. Российский медиа-ландшафт 2019: телевидение, пресса, интернет и социальные сети. М., 2019. 21 с.
- Замятина Н.Ю. Метод изучения миграций молодежи по данным социальных интернет-сетей: Томский государственный университет как “центр производства и распределения” человеческого капитала (по данным социальной интернет-сети “ВКонтакте”) // Региональные исследования. 2012. № 2. С. 15–28.
- Замятина Н.Ю., Яшунский А.Д. Виртуальная география виртуального населения // Мониторинг об-

- ественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2018. № 1. С. 117–137.
- Ивлиева О.Д., Яшунский А.Д. Виртуальная урбанизация // Городские исследования и практики. 2016. № 4. С. 26–36.
- Смирнов И.П., Смирнова А.А. Активность населения как ресурс развития городов Тверской области: опыт оценки по данным сети “ВКонтакте” // Вестн. Тверского гос. ун-та. Серия: экономика и управление. 2019. № 4 (48). С. 108–116.
- Смирнов И.П., Виноградов Д.М., Алексеев А.И. К Москве или к Санкт-Петербургу? Тяготение населения Тверской области по данным сети “ВКонтакте” // Изв. РГО. 2019. Т. 151. № 6. С. 69–80.
- Соколов М.М., Соколова Н.А., Сафонова М.А. Статусные культуры, биографические циклы и поколенческие изменения в литературных вкусах. Анализ полной базы данных читательских абонементов петербургских библиотек за 2014 год // Журн. социологии и социальной антропологии. 2016. № 3. С. 116–135.
- Суслов С.И. Сетевой анализ общественно-политических онлайн-сообществ Петербурга в социальной сети “ВКонтакте”: создание карты и кластеризация // Вестн. СПбГУ. Серия 12: Психология. Социология. Педагогика. 2016а. № 4. С. 69–87.
- Суслов С.И. Сетевой анализ смежности аудиторий политических онлайн-сообществ Санкт-Петербурга в социальной сети “ВКонтакте” // Современная наука и инновации. 2016б. № 2 (14). С. 196–207.
- Хлопотов М.В., Старцева Н.В., Макаренко А.А. Исследование кластеров кинолюбителей и их тематических сообществ в социальных сетях // Вестн. Евразийской науки. 2019. № 2. С. 1–11.
- Чекмышев О.А., Яшунский А.Д. Извлечение и использование данных из электронных социальных сетей // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2014. № 62. С. 3–16.
- Bourdieu P. *Distinction: The Social Critique of the Judgment of Taste*. London: Routledge, 1984. 604 p.
- Etling B., Alexanyan K., Kelly J., Farris R., Palfrey J., Gasser U. *Public Discourse in the Russian Blogosphere: Mapping RuNet Politics and Mobilization* // Berkman Center Research Publication. 2010. Vol. 11. P. 1–46.
- Etling B., Faris R., Palfrey J., Gasser U., Kelly J., Alexanyan K., Barash V. *Mapping Russian Twitter* // Berkman Center Research Publication. 2012. Vol. 3. P. 1–16.
- Heckert A., Heckert D.M. A new typology of deviance: integrating normative and reactivist definitions of deviance // *Deviant Behavior*. 2002. Vol. 23. № 5. P. 449–479.
- Martin S., Brown W., Klavans R., Boyack K. *OpenOrd: An Open-Source Toolbox for Large Graph Layout*. In: *Visualization and Data Analysis 2011* / P.C. Wong, J. Park, M.C. Hao, C. Chens, K. Börner, D.L. Kao, J.C. Robert (Eds.). 2011. Vol. 7868.
- Peterson R.A. Understanding audience segmentation. From elite to mass and from snob to omnivore // *Poetics*. 1992. Vol. 21. № (4). P. 243–258.
- Shannon C.E. *A Mathematical Theory of Communication* // *Bell System Technical J.* 1948. Vol. 27. № 3. P. 379–423.

## Types of Network Behavior of Users of Social Network “VKontakte” in the Cities of Vologda Oblast

N. A. Sinitsyn\*

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

*\*e-mail: nicksinus@yandex.ru*

This study is based on open data of the social network “VKontakte.” The personal data of users from the cities of Vologda oblast were collected using the “VKontakte” API. Several filters were developed to exclude fake users. Complex characteristics of users were created. It reflects his tastes and interests according to his subscriptions for communities. A group of users who tend to subscribe to a certain set of communities is called a pattern of social network behavior. The patterns were defined using the developed method of graph clustering based on the force layout (OpenOrd algorithm). Eleven obtained patterns of social network behavior were divided into 2 groups: age-sex and thematic. Communities of age-sex patterns have no common theme, they have many users, they contain a lot of humorous resources. Communities of thematic patterns have one or two common themes, they are much less populated, they contain a few numbers of humorous resources. The structure of age-sex patterns in a city depends on its population. The structure of thematic patterns of a city is also influenced by the composition of its economy. The diversity of the city’s social network behavior patterns is directly proportional to its population. The diversity is related to the role of services in the local economy for cities with comparable population.

*Keywords:* cities, Vologda oblast, open data, social network, “VKontakte,” cluster analysis, graph, OpenOrd, entropy, Shannon’s entropy

## REFERENCES

- Bourdieu P. *Distinction: The Social Critique of the Judgment of Taste*. London: Routledge, 1984.
- Chekmyshev O.A., Yashunskii A.D. Data mining from electronic social networks and its applications. *Preprinty IPM Keldysha*, 2014, no. 62, pp. 3–16. (In Russ.).
- Etling B., Alexanyan K., Kelly J., Farris R., Palfrey J., Gasser U. Public Discourse in the Russian blogosphere: Mapping RuNet politics and mobilization. *Berkman Center Res. Publ.*, 2010, vol. 11, pp. 1–46.
- Etling B., Faris R., Palfrey J., Gasser U., Kelly J., Alexanyan K., Barash V. Mapping Russian Twitter. *Berkman Center Res. Publ.*, 2012, vol. 3, pp. 1–16.
- Heckert A., Heckert D.M. A new typology of deviance: integrating normative and reactivist definitions of deviance. *Deviant Behav.*, 2002, vol. 23, no. 5, pp. 449–479.
- Ivlieva O.D., Yashunskii A.D. Virtual urbanization. *Gorod. Issled. Praktiki*, 2016, no. 4, pp. 26–36. (In Russ.).
- Khlopotov M.V., Startseva N.V., Makarenko A.A. Research of cinemaddict's clusters and their thematic communities in social networks. *Vestn. Evraz. Nauki*, 2019, no. 2, pp. 1–11. (In Russ.).
- Martin S., Brown W., Klavans R., Boyack K. OpenOrd: An open-source toolbox for large graph layout. In *Visualization and Data Analysis 2011. Vol. 7868*. Wong P. C., Park J., Hao M. C., Chens C., Börner K., Kao D. L., Robert J. C., Eds. 2011.
- Peterson R.A. Understanding audience segmentation. From elite to mass and from snob to omnivore. *Poetics*, 1992, vol. 21, no. 4, pp. 243–258.
- Shannon C.E. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Tech. J.*, 1948, vol. 27, no. 3, pp. 379–42.
- Smirnov I.P., Smirnova A.A. Population activity as a source of Tver region city's development: case study of "VKontakte" social network. *Vestn. Tver. Gos. Univ. Ser.: Ekon. Upravl.*, 2019, no. 4, pp. 108–116. (In Russ.).
- Smirnov I.P., Vinogradov D.M., Alekseev A.I. Moscow or St. Petersburg? Attraction of the Tver region population according to the VKontakte network. *Izv. RGO*, 2019, vol. 151, no. 6, pp. 69–80. (In Russ.).
- Sokolov M.M., Sokolova N.A., Safonova M.A. Status cultures, biographical cycles, and generational changes in literary tastes. Analysis of the complete database of readers' subscriptions of St. Petersburg libraries for 2014. *Zh. Sotsiol. Sots. Antropol.*, 2016, no. 3, pp. 116–135. (In Russ.).
- Suslov S.I. Network analysis of St. Petersburg political online communities in the social network "VKontakte": mapping and clusterization. *Vestn. SPbGU. Ser. 12: Psikhol. Sotsiol. Pedagog.*, 2016a, no. 4, pp. 69–87. (In Russ.).
- Suslov S.I. Network analysis of the contiguity of audiences of political online communities in St. Petersburg in the social network "VKontakte". *Sovrem. Nauka Innov.*, 2016b, no. 2, pp. 196–207. (In Russ.).
- Volkov D., Goncharov S. *Rossiiskii media-landshaft: televidenie, pressa, internet* [Russian Media Landscape: Television, Press, Internet]. Moscow, 2014.
- Volkov D., Goncharov S. *Rossiiskii media-landshaft 2019: televidenie, pressa, internet i sotsial'nye seti* [Russian Media Landscape 2019: Television, Press, Internet and Social Networks]. Moscow, 2019.
- Zamyatina N.Yu. Method of studying youth migration according to social Internet networks: Tomsk State University as a "production and distribution center" of human capital (according to the social Internet network "VKontakte"). *Reg. Issled.*, 2012, no. 2, pp. 15–28. (In Russ.).
- Zamyatina N.Yu., Yashunskii A.D. Virtual geography of virtual population. *Monitor. Obshchestv. Mneniya: Ekon. Sots. Peremeny*, 2018, no. 1, pp. 117–137. (In Russ.).