

Вестник Московского университета

Серия 5 ГЕОГРАФИЯ

Издательство Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

2025 • Т. 80 • № 5

СЕНТЯБРЬ–ОКТАБРЬ

Выходит один раз в два месяца

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

СОДЕРЖАНИЕ

География и экология

- Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н. Изменение физиологического теплового комфорта на территории Крыма в 1950–2020 гг. 3
- Дубравин В.Ф., Мысленков С.А., Стонт Ж.И. Турбулентные потоки тепла в южной части Балтийского моря 17
- Трифонов Т.А., Мищенко Н.В., Шутков П.С., Быкова Е.П. Оценка состояния почвенно-растительного покрова в бассейне реки Оки по данным дистанционного зондирования 33

Эволюционная география

- Янина Т.А., Сорокин В.М., Семиколенных Д.В., Романюк Б.Ф. Сурожский этап в позднелайстоценовой истории Черного моря 45
- Кандидов М.В., Гречишкин А.О., Бобров А.В., Васильев В.А., Рослов М.С., Здравчев Н.С., Горева А.С., Новиков А.Д., Романов М.С. История расселения семейства Кирказоновые (*Aristolochiaceae s.l.*) 56

География мирового хозяйства

- Жэнь Ян, Колосов В.А. Динамика структуры торговли между Россией и Китаем с начала XXI в. 73

География городов

- Колосов В.А., Зотова М.В. Изменение системы топонимов Москвы как отражение социальной реальности 85
- Замятина Н.Ю., Никитин Б.В., Полозун А.Е. Динамика численности населения арктических городов России и Канады с середины XX в. 102
- Константинов П.И., Семенова А.А., Антипина У.И., Тимофеев М.А., Тананаев Н.И. Исследование острова тепла Якутска в летний период по данным термических микродатчиков 119

Региональные исследования

- Малхазова С.М., Копылов П.В., Букликов А.В., Сетдикова А.З., Коренной Ф.И., Орлов Д.С. Клешевые инфекции в Еврейской автономной области: картографирование, оценка и прогноз 131
- Зверьков М.С., Смелова С.С. Определение трофического статуса мелиоративного водоема по флористическому составу макрофитов 141
- Исаев А.В., Шарафутдинов Р.Н., Богданов Г.А. Литолого-геохимическая характеристика современных аллювиальных отложений среднего течения р. Большой Кокшаги 153

CONTENTS

Geography and ecology

- Stefanovich A.A., Voskresenskaya E.N.* Changes of physiological thermal comfort within the territory of the Crimea peninsula during 1950–2020..... 3
- Dubravina V.F., Myslenkov S.A., Stont Zh.I.* Turbulent heat fluxes in the southern part of the Baltic Sea 17
- Trifonova T.A., Mishchenko N.V., Shutov P.S., Bykova E.P.* State of the soil and vegetation cover within the Oka river basin 33

Evolutionary geography

- Yanina T.A., Sorokin V.M., Semikolennykh D.V., Romanyuk B.F.* The Surozhian epoch in the late Pleistocene history of the Black Sea 45
- Kandidov M.V., Grechishkin A.O., Bobrov A.V., Vasiliev V.A., Roslov M.S., Zdravchev N.S., Goreva A.S., Novikov A.D., Romanov M.S.* The history of distribution of the family Aristolochiaceae s.l. 56

Geography of the world economy

- Zhen Yang, Kolosov V.A.* Dynamic structure of bilateral trade between Russia and China since the beginning of the 21st century 73

Geography of cities

- Kolosov V.A., Zotova M.V.* Changes of the Moscow hodonym system as a way of interpreting social reality 85
- Zamyatina N.Yu., Nikitin B.V., Polozun A.E.* Population dynamics of Arctic cities in Russia and Canada since the mid-20th century 102
- Konstantinov P.I., Semenova A.A., Antipina U.I., Timofeev M.A., Tananaev N.I.* Investigation of the summer heat island in Yakutsk based on thermal microsensor data 119

Regional studies

- Malkhazova S.M., Kopylov P.V., Buklikov A.V., Setdikova A.Z., Korennoy F.I., Orlov D.S.* Tick-borne infections in the Jewish autonomous region: mapping, assessment and forecast 131
- Zverkov M.S., Smelova S.S.* Assessment of the trophic status of a reclamation pond by the floristic composition of macrophytes 141
- Isaev A.V., Sharafutdinov R.N., Bogdanov G.A.* Lithological and geochemical description of modern alluvial deposits in the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga river 153

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 913 (4):551.586

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА НА ТЕРРИТОРИИ КРЫМА В 1950–2020 гг.

А.А. Стефанович¹, Е.Н. Воскресенская²

^{1,2} *Институт природно-технических систем, лаборатория крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и изменений климата*

¹ *Мл. науч. сотр.; e-mail: amazurenko@mail.ru*

² *Зам. директора по научной работе, проф., д-р геогр. наук; e-mail: elena_voskr@mail.ru*

В работе на основе модели энергетического баланса человека и стандартного набора метеорологических данных для Крыма рассчитан биоклиматический индекс физиологически эквивалентной температуры (РЕТ), который позволяет получить оценки термического комфорта и возможных рисков для здоровья человека. Проведен комплексный анализ пространственно-временных изменений этого показателя.

Изменения РЕТ рассмотрены за период 1950–2020 гг. на 22 метеорологических станциях Крыма с использованием ежедневных данных реанализа ERA5, которые интерполировались в точки наблюдений с последующей оценкой качества полученных рядов данных. Изучено внутригодовое распределение значений РЕТ, выявлены тенденции изменения значений, а также проведен анализ изменчивости дней с экстремальными значениями РЕТ для каждого месяца. Выявлено, что в отдельные месяцы года, преимущественно в зимне-весенний период, наблюдаются тенденции наиболее значимого и выраженного роста РЕТ. В летние же месяцы отмечено увеличение вероятности наступления периодов с экстремально жаркими погодными событиями. Результаты данного исследования могут быть эффективно использованы в биоклиматическом районировании Крыма, а также в развитии курортно-туристической индустрии и других сферах рекреационной деятельности.

Ключевые слова: биоклиматический индекс, изменение климата, рекреация, физиологически эквивалентная температура (РЕТ)

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.1

ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее важных характеристик рекреационной комфортности территории является физиологический (тепловой) комфорт. Он соответствует условиям, когда система терморегуляции организма человека в состоянии физиологического покоя испытывает наименьшее напряжение. При оценке теплового комфорта учитывается комплекс метеорологических факторов: температура, влажность, скорость ветра, солнечное излучение. Зона теплового комфорта представляет собой диапазон метеорологических условий, внутри которого большинство людей испытывают комфорт [Исаев, 2001]. Однако зона комфорта не является универсальной для всех людей. Она зависит от ряда факторов, таких как климатический пояс, время года, возраст, пол, состояние здоровья и уровень активности. Знания о тепловом комфорте человека играют важную

роль в поддержании здоровья и жизнедеятельности человека, а также особенно в сфере рекреации и туризма. Несмотря на усилия, предпринятые для изучения изменений температуры в течение последнего столетия, эти результаты не могут исчерпывающе объяснить их влияние на человека.

Большинство методов, оценивающих комфортность климатических условий, основаны на расчете и анализе биоклиматических индексов, которые, в свою очередь, не только характеризуют особенности окружающей среды, но и являются индикаторами благополучия и определяют зоны комфорта и дискомфорта для человека [Андреев, 2009]. Использование биоклиматических показателей позволяет выявить связь между тепловыми индексами и потенциальными угрозами для здоровья человека. Биоклиматические индексы подбираются с учетом доступности и качества метеорологических дан-

ных, региональных особенностей территории и эффективности показателей комфортности при оценке тепловой нагрузки в течение года для исследуемого региона. В России эти показатели применяются для оценки биоклиматических условий крупных мегаполисов [Ревич, 2008; Ревич, Шапошников, 2016] и медико-климатических характеристик населенных пунктов, пригодных для организации лечебного отдыха и туризма [Акимов, 2012; Добрынина и др., 2013; Литвинов и др., 2014; Ярош и др., 2015].

В последнее время зарубежные авторы в своих работах все активнее стали использовать более сложные термальные биоклиматические индексы, основанные на энергетическом балансе человека [Farajzadeh et al., 2015; Mihailă et al., 2018; Zare et al., 2018]. Среди индексов данного типа наиболее популярен индекс физиологически эквивалентной температуры (Physiological equivalent temperature (PET) [Matzarakis, Endler, 2010]. По сравнению с другими, более простыми биоклиматическими показателями при расчетах он имеет большую вариабельность значений и, следовательно, более высокую информационную значимость. Изначально индекс PET был введен Хеппе и Майером [Hörpe, Mayer, 1987; Mayer, Hörpe, 1987]. Широкое применение он получил в странах континентальной Европы, особенно в Германии. Так, например, с помощью PET получены оценки типичных погодных условий и экстремальных событий (волн тепла) в летние месяцы в Греции [Matzarakis, 2007] и в Германии (Фрайбурге) [Matzarakis, Endler, 2010]. Встречаются интересные работы, где PET используется при оценке влияния погодных условий во время спортивных мероприятий на территории Токио во время летних Олимпийских игр в 2020 г. [Matzarakis et al., 2018] и во время чемпионата мира по футболу в Катаре в 2022 г. [Matzarakis, Fröhlich, 2015].

В России использование тепловых индексов такого типа пока не имеет заметного распространения. Возможно, это связано со сложностью их вычисления. Тем не менее отечественные авторы успешно используют индекс PET для оценки биоклиматических условий на открытых городских пространствах [Пилипенко, Скобелева, 2016]. Наибольшую популярность индекс PET получил в работах ученых из МГУ имени М.В. Ломоносова. Некоторые исследователи с помощью индекса оценивают изменение показателей смертности населения и воздействие высоких температур на его здоровье [Шартова и др., 2018а; Шартова и др., 2018б]. Авторами [Константинов и др., 2021] для одного из арктических городов проведена оценка термического стресса в летний период. А в 2021 г. была создана база данных NETCID с наиболее популярными индексами теплового комфорта, полу-

ченными из почасовых данных реанализа ERA-Interim для территории Северной Евразии на сетке с пространственным разрешением 79 км (0,75°), куда вошел и Крым [Konstantinov et al., 2022]. Однако надо отметить, что существующая база данных биоклиматических индексов не учитывает сложную орографию Крымского полуострова, которая существенно влияет на метеорологические условия и, соответственно, биоклиматические характеристики. В таких случаях необходимо вводить поправки в расчетах при использовании данных реанализа, о которых более подробно идет речь ниже, в разделе «Материалы и методы исследования». По этой причине авторы статьи были вынуждены создать новую базу данных метеорологических параметров для 22 точек расположения метеорологических станций и на ее основе рассчитать индекс PET. В климатических исследованиях Крымского региона использование реанализа с корректировками для расчета и анализа биоклиматических характеристик впервые стало применяться авторами данной статьи.

Крым является одним из наиболее привлекательных туристическо-рекреационных регионов Юга России. Конкуренцию Крыму составляет Краснодарский край, однако по климатическим характеристикам у Крыма есть свои весомые преимущества. Привлекательность полуострова, несомненно, обусловлена его уникальными природно-климатическими условиями и богатым культурно-историческим наследием. Несмотря на свои относительно небольшие размеры, полуостров разнообразен и имеет несколько зон. Территория Крыма находится на границе двух климатических поясов, что позволяет наблюдать здесь атмосферные процессы, характерные как для умеренного пояса, так и для субтропиков. Выделяют на полуострове три основных типа климата: югобережный, степной и горный. Самый мягкий климат, близкий к субтропическому, наблюдается на южном побережье Крыма и на большей части территории Большого Севастополя. Южное побережье Крыма часто сравнивают с Северным Средиземноморьем (югом Франции, севером Италии, Хорватии). Климат большей части полуострова, степной и равнинной (центр, север и запад), – континентальный, а в районах прибрежных городов Керчи, Евпатории и Феодосии – степной приморский. В Крымских горах и предгорье климат более мягкий. Соответственно, крымские метеостанции, данные с которых привлечены в работе для расчетов, размещены в различных климатических условиях в связи с влиянием гор и омывающих Крым Черного и Азовского морей. Горы задерживают приходящий холодный воздух, а моря регулируют тепло.

Оценка рекреационных условий Крымского полуострова – задача, которая требует комплексного подхода и анализа множества факторов, влияющих на комфортность отдыха. Поскольку Крым славится своими морскими курортами, опубликованные к настоящему времени работы по указанной тематике касаются преимущественно побережья. Исследование рекреационных условий основных приморских местностей для курортов Черного и Средиземного морей, а также для курортов Северо-Атлантического побережья, Балтийского и Северного морей подробно проводилось в работах [Ярош и др., 1998; 2000]. Для этого на основе доступных в конце 1990-х гг. многолетних архивных ежедневных и среднемесячных данных были рассчитаны среднеклиматические величины гидрометеорологических параметров. Однако в практической деятельности важно понимание не только климатических условий, но и их изменений на территории Крымского полуострова. Для этого необходимы исследования погодно-климатических аномалий межгодового и более низкочастотного масштабов, обусловленных глобальными процессами в системе «океан – атмосфера» [Воскресенская, 2003]. Отдельные исследования в этом направлении [Воскресенская, Ярош, 2004] выявили важную роль Северной Атлантики в формировании колебаний межгодового масштаба в Черноморском регионе, при этом среди основных дальнедействующих климатических сигналов рассматривалось Североатлантическое колебание (САК).

Комплексный анализ рекреационных условий, охватывающий как приморские, так и другие регионы Крыма, за продолжительный период времени (более 50 лет) для каждого месяца стали проводить с 2016 г. с появлением более качественных рядов данных. Такие данные позволяют изучать особенности пространственно-временных изменений среднесуточных и экстремальных значений биоклиматических индексов в городах Крыма [Стефанович и др., 2022; Стефанович, Воскресенская, 2023], а также перейти к оценке влияния глобальных процессов межгодового – междесятилетнего масштаба в системе «океан – атмосфера» на изменчивость биоклиматических показателей и их экстремальных значений [Стефанович и др., 2024; Stefanovich et al., 2023]. При этом в более ранних работах для оценки климатической комфортности Крыма применялись биоклиматические показатели, большинство из которых не учитывают физиологические реакции человека. Среди них несколько видов эквивалентных температур, ветро-холодовые индексы, весовое содержание кислорода в воздухе и другие традиционные индексы. В этой связи применение индекса PET для оценки биоклиматических условий Крыма – это качественно новый этап в развитии исследования

рекреационного потенциала на полуострове. Цель настоящей работы – изучить долговременное изменение условий теплового комфорта, включая экстремальные показатели, на территории Крыма в разные сезоны года в период с 1950 по 2020 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Доступные ежедневные данные станционных метеонаблюдений (температура воздуха, относительная влажность, атмосферное давление на уровне моря и скорость ветра) имеют многочисленные пропуски, а качественные ряды данных начинаются только с 2005 г. По этой причине в работе были использованы данные реанализа ERA5 с пространственным разрешением $0,25 \times 0,25^\circ$ за период с 1950 по 2020 г. Для характеристики биоклиматических условий и их изменений на территории Крыма в работе оценивались биоклиматические показатели в 22 точках расположения метеорологических станций (рис. 1). Пространственное распределение метеостанций в центре европейской части России в среднем составляет одну станцию на 4,6 тыс. км² [Анисимов, Жильцова, 2012]. Учитывая эти условия, представительность имеющейся в Крыму сети метеостанций достаточна для характеристики практически всей территории полуострова, за исключением Главной гряды Крымских гор и внутренних районов Тарханкутского и Керченского полуостровов.

Реанализ обеспечивает регулярную пространственную и временную структуру данных. Однако ряды данных после применения в модели ERA5 существенно сглажены. В итоге при использовании их для анализа климатических аномалий в регионах со сложными физико-географическими особенностями возникают заметные ошибки. В таких случаях необходимо применять процедуру уточнения данных. Среди основных методов можно указать региональное моделирование и статистическую коррекцию [Лубков, Стефанович, 2022]. Так как Крым имеет сложный рельеф, а реанализ ERA5 не учитывает орографию, в данной работе использовался последний – метод статистической коррекции, который позволил нивелировать искажения в данных реанализа. При этом данные из массивов реанализа интерполировались в точки наблюдений на метеостанциях методом сплайновой поверхности типа «тонкая пластина» с привлечением доступных станционных наблюдений за период с 2005 по 2020 г. [Расписание..., 2023]. Далее для каждого метеорологического параметра в один и тот же синоптический срок были рассчитаны среднеквадратические отклонения данных реанализа и станционных данных, отношение дисперсий рядов и коэффициенты корреляции. Процедура уточнения выполнялась отдельно для каждого месяца. В итоге

для каждой станции были получены новые ряды с поправками.

Индекс физиологически эквивалентной температуры PET, используемый в настоящем исследовании, является одним из наиболее показательных среди биоклиматических индексов для оценки температурного комфорта на открытых городских пространствах в течение всего года и позиционируется как универсальный [Matzarakis, Mayer, 1996; Matzarakis et al., 1999]. При этом, например,

[Matzarakis, Endler, 2009; Toy, Kántor, 2017; Zuretti et al., 2023] отмечают, что индекс PET может быть применен для всех сезонов и месяцев года, в том числе самого холодного. Однако этот выбранный индекс не является единственно пригодным для наших исследований, и в дальнейшем мы намерены протестировать и другие индексы, предлагаемые рядом авторов, например [Najafi, Najafi, 2012; Błażejczyk et al., 2013; Chen et al., 2020], для получения подобных оценок территории Крыма.



Рис. 1. Географическое положение района исследования и расположение метеостанций

Fig. 1. Geographical location of the study area and location of meteorological stations

Индекс PET представляет собой биометеорологический параметр, который характеризует тепловое восприятие человека. Он определяется как температура воздуха, при которой в типичной обстановке в помещении (без солнечного излучения и ветра) тепловой баланс человеческого тела сбалансирован с той же температурой тела и кожи, что и при сложных внешних условиях, которые необходимо оценить [Нөрре, 1999]. Индекс основан на мюнхенской модели энергетического баланса тела человека [Нөрре, 1984]. Такой индекс, с одной стороны, учитывает температуру внутренних органов,

интенсивность потоотделения, влажность кожи, а с другой – комплексное сочетание температуры воздуха, значения глобальной солнечной радиации, скорость ветра и относительную влажность.

Для расчетов PET авторы работ [Matzarakis, Endler, 2010; Matzarakis et al., 2018] предлагают использовать специальный алгоритм, с помощью которого можно определить значение индекса с учетом пола, возраста, роста, веса, термостойкости одежды, движения человека и др. для любой местности, сезона года и времени суток. Для определения граничных значений биоклиматических индек-

сов чаще всего используется метод опроса туристов с целью ранжирования субъективных ощущений (например, холодно, комфортно тепло, жарко) и сопоставления с ними соответствующих на момент опроса метеорологических факторов [Пилипенко, Скобелева, 2016]. Такой подход применяется и для определения диапазона комфортных значений индекса РЕТ (табл.).

Для получения количественной оценки индекса РЕТ в работе привлекалась диагностическая модель Rayman [Matzarakis et al., 2010]. Расчеты биоклиматического индекса проводились с использованием ежечасных данных метеорологических параметров. При расчете учитывались индивидуальные особен-

ности человека, поэтому все вычисления проводились для среднестатистического (среднего) человека со следующими параметрами: рост – 1,75 м, вес – 75 кг, возраст – 35 лет, пол – мужской. Полученные ряды РЕТ усреднялись до среднесуточных. В итоге для каждого месяца по показателю РЕТ оценивались типичные биоклиматические условия. Для оценки тенденций изменения значений индекса по каждой станции Крыма рассчитывались коэффициенты линейного тренда с оценкой статистической значимости. Далее тенденция изменения биоклиматического показателя анализировалась только для станций, на которых уровень статистической значимости тренда превышал 80%.

Таблица

Градации биоклиматического индекса РЕТ по уровню термического стресса и теплоощущению человека [Matzarakis, Mayer, 1996]

| Теплоощущение | Степень термического стресса | Значения РЕТ (для Западной и Восточной Европы), °C |
|------------------|------------------------------|--|
| Очень холодно | Экстремальный холодовой | <4 |
| Холодно | Сильный холодовой | 4–8 |
| Прохладно | Умеренный холодовой | 8–13 |
| Слегка прохладно | Небольшое холодовой | 13–18 |
| Комфортно | Нет термического напряжения | 18–23 |
| Слегка тепло | Небольшой тепловой | 23–29 |
| Тепло | Умеренный тепловой | 29–35 |
| Жарко | Сильный тепловой | 35–41 |
| Очень жарко | Сильный тепловой | >41 |

Кроме этого оценивались изменения экстремальных значений РЕТ. Среди множества существующих вариантов выделения экстремальных величин в работе использован относительный (5-й и 95-й процентиля), так как он позволяет учесть локальные особенности климата и рельефа местности. В итоге рассчитаны экстремальные величины РЕТ за период 1950–2020 гг., количество дней в каждом месяце ниже 5-го и выше 95-го процентиля, а также проведен расчет коэффициентов линейных трендов частоты экстремальных значений. Таким образом, для каждого месяца получены оценки показателя РЕТ, необходимые для биоклиматической характеристики территории Крыма в течение года с учетом сезонов.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Сезонная динамика показателя РЕТ на территории Крыма. Анализ физиологически экви-

валентной температуры, которая характеризует теплоощущение человека в зависимости от температуры воздуха, влажности и скорости ветра, проводился на основе расчетов этого показателя для каждого месяца по соответствующим данным за период с 1950 по 2020 г. Результаты расчетов для центральных месяцев сезонов года представлены на рис. 2. Полученные помесечные оценки показали, что в соответствии с приведенными в таблице градациями биоклиматического индекса РЕТ по уровню термического стресса и теплоощущения человека [Matzarakis, Mayer, 1996] в зимние месяцы (декабрь – февраль) в Крыму преобладают очень холодные погодные условия. Значения индекса опускаются ниже 4°C на всей территории полуострова, что соответствует «очень холодному» уровню теплоощущений и экстремальному холодовому стрессу (см. рис. 2А). Наиболее низкие значения (–9,8°C) отмечены на горной метеостанции Ай-Петри, а наиболее высокие (2,7°C) – на станции в Ялте.

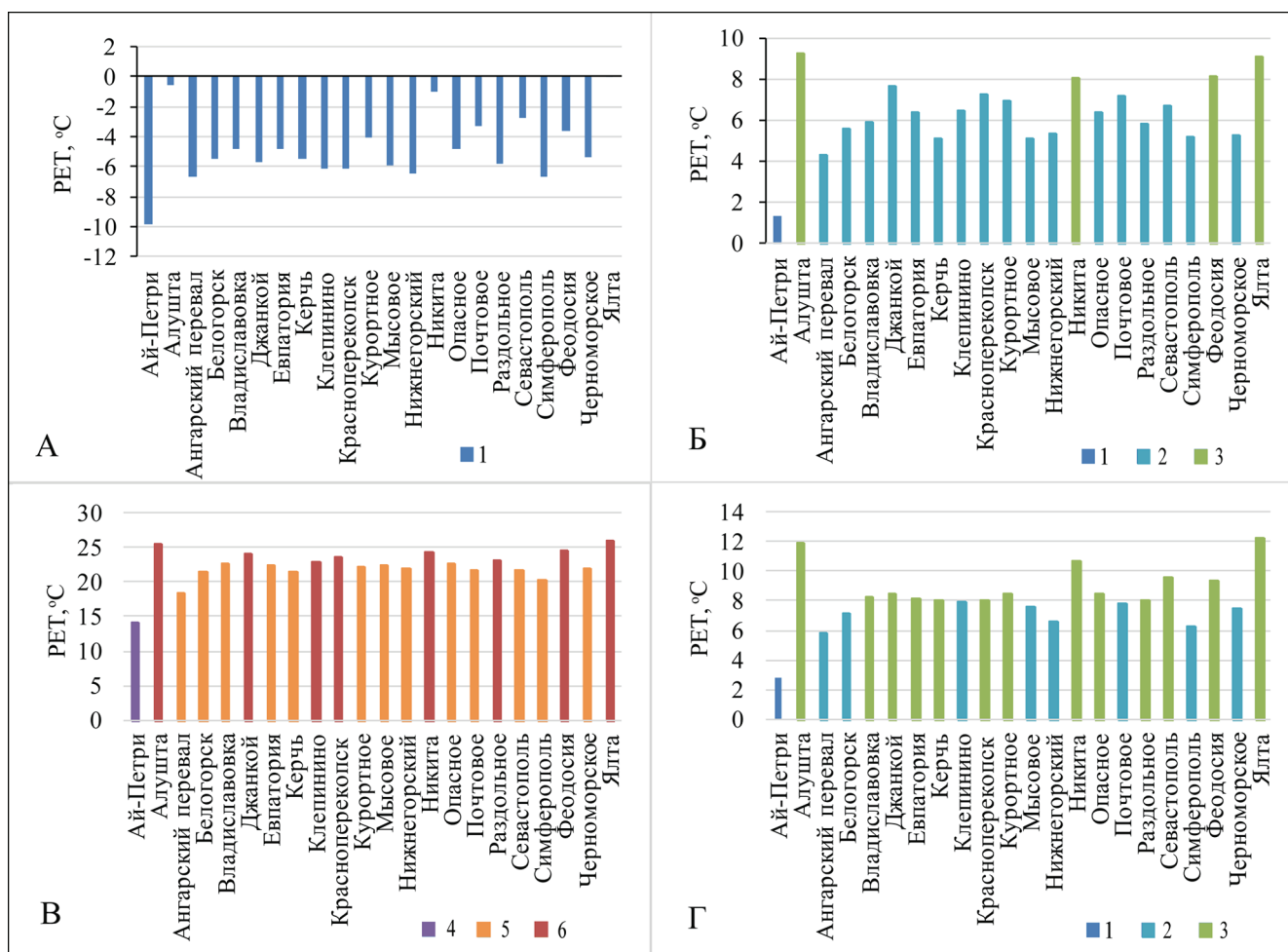


Рис. 2. Среднемесячные значений PET (°C) на станциях Крыма за период с 1950 по 2020 г. в январе (А), апреле (Б), июле (В), октябре (Г): 1 – экстремальный холодный стресс; 2 – сильный холодный стресс; 3 – умеренный холодный стресс; 4 – небольшой холодный стресс; 5 – отсутствие термического стресса; 6 – небольшой тепловой стресс

Fig. 2. Average monthly values of PET (°C) at stations in Crimea for the period 1950–2020 in January (А), April (Б), July (В), October (Г): 1 – extreme cold stress; 2 – severe cold stress; 3 – moderate cold stress; 4 – mild cold stress; 5 – no thermal stress; 6 – mild heat stress

С наступлением весны PET постепенно увеличивается. В марте из-за неустойчивой погоды на большей части полуострова все еще сохраняются отрицательные значения индекса PET с очень холодными условиями. В это время на станциях Южного берега Крыма (ЮБК), в Феодосии и Севастополе отмечаются положительные значения PET, приближающиеся к граничной отметке в 4°C. В апреле южная и юго-восточная части полуострова прогреваются быстрее, и показатели PET уже достигают значений выше 8°C, что соответствует прохладным погодным условиям и умеренному холодному стрессу (см. рис. 2Б). На остальной части Крыма все еще преобладают холодные погодные условия со значениями PET от 4 до 8°C. В мае на большем количестве станций формируются слегка прохладные погодные условия со значениями PET выше 13°C.

Комфортные условия при PET > 18°C наступают только в начале лета. Практически на всей территории полуострова, за исключением станций Ай-Петри, Ангарский перевал и Симферополь, устанавливается комфортная теплая погода. Значения PET в июне – в пределах 18–23°C, что соответствует комфортным погодным условиям, термический стресс в это время отсутствует. Июль и август – наиболее теплые месяцы в Крыму, для которых характерны не только комфортные погодные условия, но и наличие теплового стресса. Так, в июле на станциях северной, центральной и южной частей полуострова отмечается небольшой тепловой стресс со значениями PET выше 23°C (см. рис. 2В). В августе на станциях Алушта (24,4°C) и Ялта (25,5°C) тепловой стресс сохраняется, а для остальной территории Крыма характерны комфортные погодные условия.

С приходом осени значения РЕТ начинают постепенно снижаться. В сентябре на ЮБК все еще ощущаются достаточно комфортные условия со значениями РЕТ более 18°C , в то время как на остальной части полуострова становится прохладнее. Значения РЕТ составляют $13\text{--}18^{\circ}\text{C}$, может ощущаться небольшой холодовой стресс. За счет медленного остывания Черного и Азовского морей в октябре на прибрежных станциях значения РЕТ выше ($>8^{\circ}\text{C}$), чем, например, на станциях северной и центральной (т.е. степных) частей Крыма, где уже устанавливаются холодные погодные условия и ощущается сильный холодовой стресс (см. рис. 2Г). Только на ЮБК при индексе около 12°C уровень теплового комфорта в этом месяце приближается к умеренному холодовому стрессу. В ноябре на всех станциях Крыма, кроме южнобережных и Севастополя, начинается период с очень холодными погодными условиями ($\text{РЕТ} < 4^{\circ}\text{C}$), который, как показано в начале раздела, продолжается в течение зимы.

Линейные тренды среднемесячных значений РЕТ. Долговременные наблюдения климатических условий на территории Крыма показывают заметные изменения в последние десятилетия. Наиболее ярким проявлением этих изменений является рост температуры воздуха и связанных с ней биоклиматических показателей. Анализ данных метеорологических станций Крыма за последний 71-летний период выявил тенденции к повышению значений индекса РЕТ в течение года. Повсеместный рост РЕТ зафиксирован на территории Крыма практически во все месяцы года, за исключением апреля, ноября и декабря. В итоге положительный линейный тренд РЕТ наблюдается с января по март и с мая по октябрь. При этом максимальный статистически значимый рост изучаемого индекса (более 99%) приходится на март, когда его тренд составляет $3,2\text{--}3,9^{\circ}\text{C}$ за 71 год в степных районах Крыма (рис. 3А). Иллюстрации по результатам расчетов приведены только для марта и августа из-за ограничений объема статьи. Однако на ЮБК за счет географических особенностей линейный тренд в 2 раза ниже и не превышает 2°C за 71 год. Аналогичный характер распределения РЕТ, но с несколько меньшими величинами линейного тренда ($2,2\text{--}2,7^{\circ}\text{C}$) в степных районах, выявлен в рассчитанных рядах индекса января и февраля. При этом на закрытом от северных ветров ЮБК (в Ялте и Никите) тренд незначим, а в Алуште он не превышает $1,2^{\circ}\text{C}$ за 71 год. По мере уменьшения влияния Крымских гор, сдерживающих потоки холодных ветров с северной составляющей, и смягчающей роли температуры Черного моря [Бабков, 1966], величина линейного тренда увеличивается по территории полуострова в северном направлении.

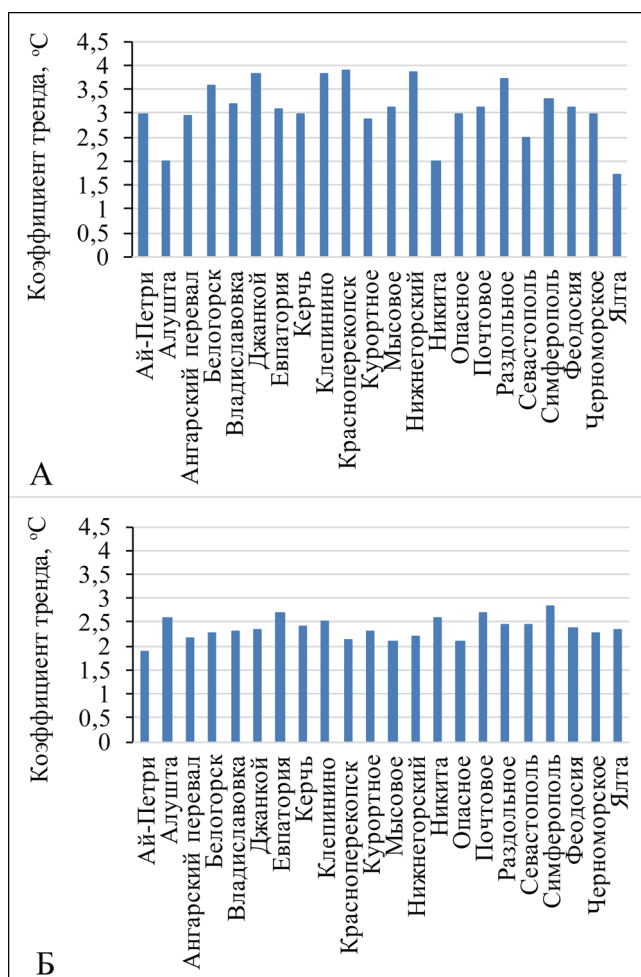


Рис. 3. Тренды среднемесячных значений РЕТ на станциях Крыма за 1950–2020 гг. в марте (А) и августе (Б)

Fig. 3. Trends in monthly average PET values at Crimean stations for 1950–2020 in March (A) and August (B)

Рост линейного тренда замедляется в конце весны и начале лета. В весенние месяцы – апрель и май, включая начало лета, – ощутимого потепления не наблюдается, а величины коэффициентов тренда РЕТ за 71-летний период на многих станциях составляют менее $1\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$. Значительное увеличение значений РЕТ наблюдается в конце лета. Особенно это заметно на станциях центральной части полуострова и приморских станциях на юге, где величина коэффициентов тренда РЕТ превышает $2,5^{\circ}\text{C}$ за 71 год (см. рис. 3Б). В течение значительного периода осени, в сентябре и октябре, на всей территории Крыма сохраняется небольшой, относительно равномерный рост значений, в среднем на $1,5^{\circ}\text{C}$ за 71 год. Наблюдаемое увеличение тренда РЕТ в конце лета и осенью свидетельствует об увеличении периода благоприятного теплового восприятия. Это, в свою очередь, может способствовать расширению продолжительности курортного сезона. В ноябре и декабре линейные тренды индекса РЕТ имеют статистическую значимость

менее 80%, поэтому их мы не рассматриваем, так же как и в апреле. Полученные результаты не противостоят выводам других исследователей относительно интенсификации процессов потепления и увеличения засушливости климата в Крыму, особенно в теплый период года, например [Парубец, 2009; Корсакова, Корсаков, 2023].

Линейные тренды экстремальных значений РЕТ. Экстремальные значения индекса РЕТ, как положительные, так и отрицательные, характеризуют особенности условий окружающей среды, которые могут представлять опасность для здоровья человека. В данном исследовании вычислялись экстремальные (95-й и 5-й процентиля) значения РЕТ на станциях Крыма. На этой основе определялись тенденции изменения количества дней с экстремальными значениями индекса в течение года. В результате была получена информация о распределении коэффициентов линейных трендов количества дней с экстремальными значениями индекса РЕТ для каждого месяца. Положительные значения коэффициентов тренда говорят о тенденции

к увеличению числа дней с экстремальными значениями индекса, в то время как отрицательные коэффициенты указывают на снижение.

Из приведенных на рис. 4 диаграмм видно уменьшение количества дней с отрицательными экстремумами РЕТ во все месяцы года, однако, тренды значимы на всей территории только с января по март, а в апреле только в степной зоне. Наиболее значимое снижение наблюдается в середине и конце зимы, а также в начале весны (рис. 4А, Б). Особенно выражено понижение числа дней с отрицательными экстремумами в марте. Наибольшее значение тренда отмечается на станции Опасное – 3,06 дней за 71 год, а наименьшее – на станции Ай-Петри – 1,45 дней за 71 год. Значимыми величинами уменьшения числа дней с отрицательными экстремумами характеризуются и летние месяцы, особенно в июле и августе (см. рис. 4В, Г). В это время значения тренда находятся в диапазоне от 1,01 дня (Керчь) до 1,89 дня за 71 год (Владиславовка). Такие тенденции говорят об увеличении числа душных дней и понижении комфортности.

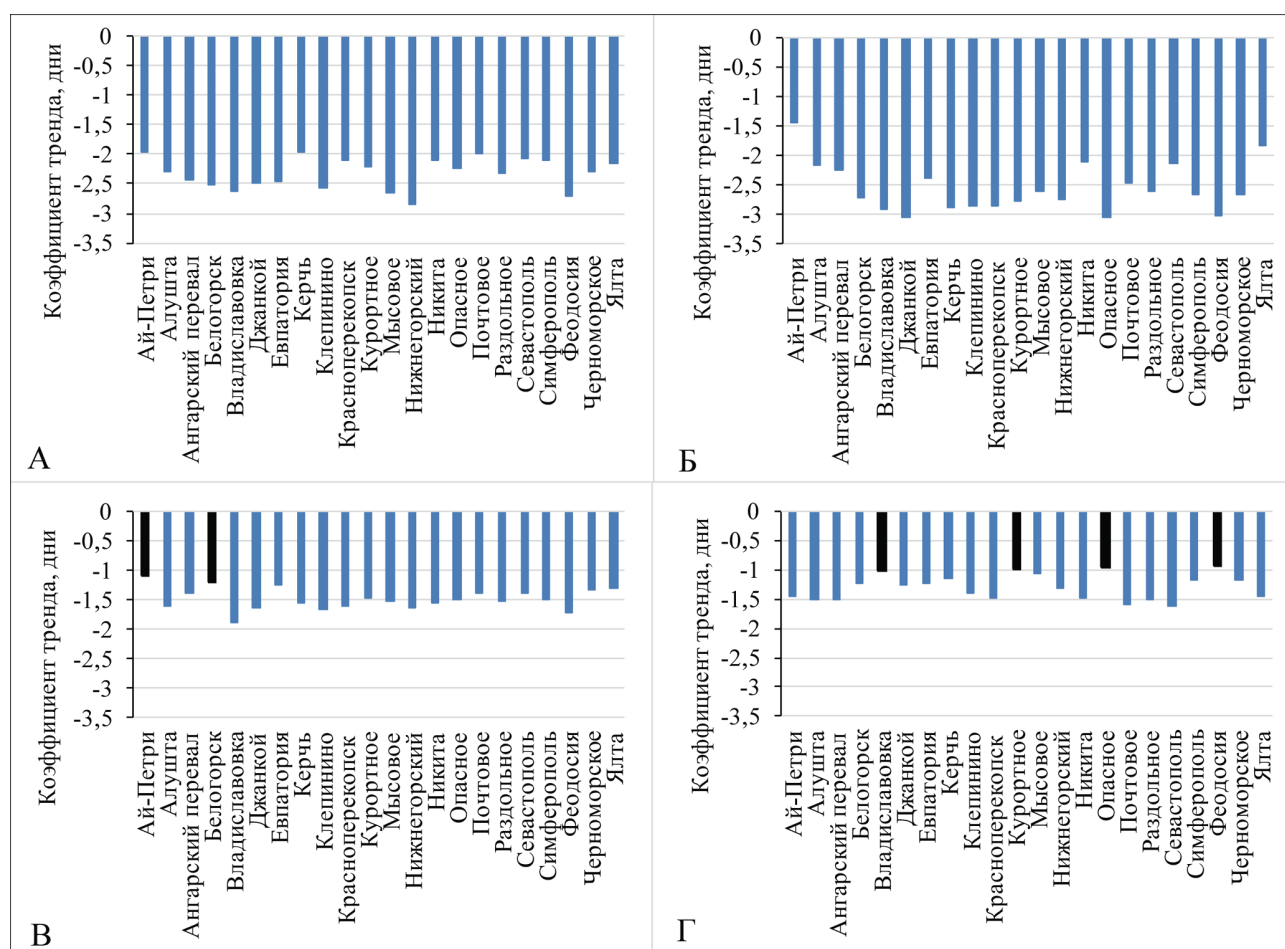


Рис. 4. Линейные тренды количества дней с экстремально низкими (ниже 5-го процентиля) среднесуточными значениями РЕТ на станциях Крыма за 1950–2020 гг. в январе (А), марте (Б), июле (В) и августе (Г) (черным цветом обозначены незначимые коэффициенты)

Fig. 4. Linear trends in the number of days with extremely low (below the 5% percentile) average daily PET values at Crimean stations for 1950–2020 in January (A), March (B), July (B) and August (Г) (insignificant coefficients are shown in black)

Изменение числа дней с положительными экстремумами РЕТ имеет противоположные тенденции. Однако, тренды незначимы в январе, феврале, апреле, ноябре, декабре и не на полном объеме станций в сентябре. Характеризуя значимые тренды, отметим следующее. В марте наблюдается заметное увеличение количества дней с экстремально высокими значениями РЕТ на станциях северной, северо-восточной, восточной, юго-восточной и юго-западной частей Крыма. Уровень статистической значимости тренда на многих станциях превышает 90%. При этом наибольшее значение тренда экстремально высокого РЕТ отмечается в Севастополе – 2,63 дня за 71 год, а более интенсивный рост числа дней с положительными экстремумами характерен для теплого периода года с мая по август и в ок-

тябре (рис. 5). Значимое увеличение числа дней с экстремально высокими значениями РЕТ наблюдается на всех станциях, величины линейного тренда различны и составляют от 1,26 до 5,47 дня за 71 год. Наибольший рост выявлен в августе в Евпатории, где значение тренда превышает 5 дней за 71 год. На других станциях значения коэффициента тренда немного меньше, но не ниже 4 дней за 71 год. Такие условия говорят об увеличении душных, жарких дней, что подтверждает и дополняет результаты ранее проведенных исследований [Стефанович, Воскресенская, 2023; Stefanovich et al., 2023]. В сентябре положительная тенденция сохраняется, но увеличение числа дней с положительными экстремумами ослабевает и составляет всего 1–1,5 дня за 71 год.

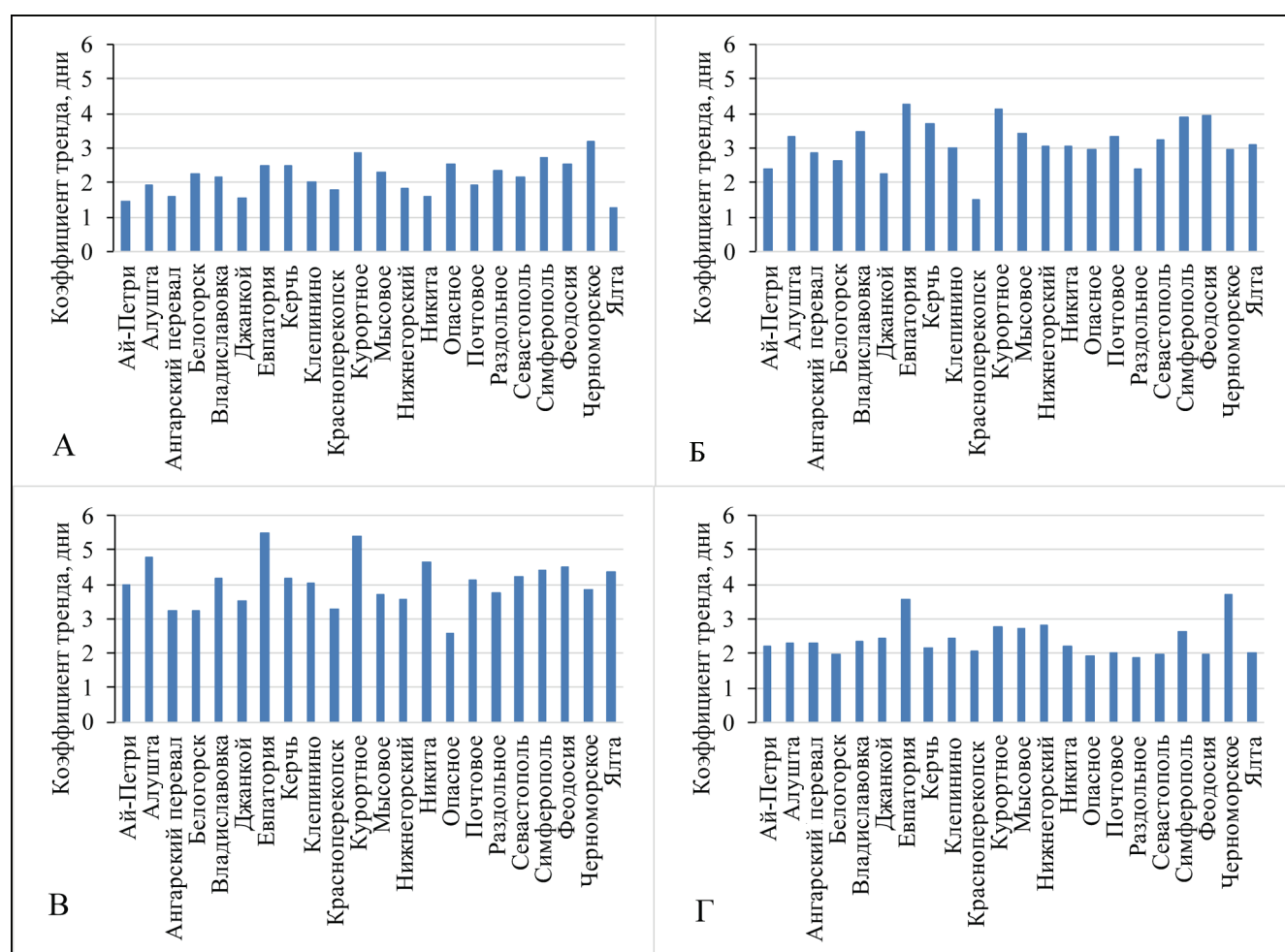


Рис. 5. Линейные тренды количества дней с экстремально высокими (выше 95-го перцентиля) среднесуточными значениями РЕТ на станциях Крыма за 1950–2020 гг. в мае (А), июле (Б), августе (В) и октябре (Г)

Fig. 5. Linear trends in the number of days with extremely high (above the 95th percentile) average daily PET values at Crimean stations for 1950–2020 in May (A), July (Б), August (В), and October (Г)

ВЫВОДЫ

Исследование изменений теплового комфорта на территории Крыма за период с 1950 по 2020 г. на основе анализа индекса физиологически эквивалентной температуры показало следующее: динамика индекса РЕТ имеет выраженную сезонность. Наиболее холодные погодные условия соответствуют зимним месяцам, а самые комфортные и теплые – лету и началу осени. При этом в разные сезоны распределение РЕТ на территории Крыма характеризуется пространственной неоднородностью. В южной и юго-восточной частях полуострова, находящихся под непосредственным влиянием Черного моря и горной местности, биоклиматические условия заметно отличаются от соответствующих условий степной зоны. Зимой, благодаря барьерному эффекту Крымских гор, защищающих от вторжения холодных воздушных масс, погодные условия на южном берегу Крыма мягче и теплее. Благодаря накопленному Черным морем теплу, условия для комфортного отдыха в осенние месяцы там остаются благоприятными на протяжении длительного времени, в отличие от остальных территорий региона.

Положительные тенденции индекса РЕТ выделены для месяцев с января по март и с мая по октябрь, что позволяет говорить о возможности расширения границ теплого периода года с комфортными значениями биоклиматических показателей в холодные месяцы и планировать на такое время перечень рекреационных мероприятий. При этом максималь-

ный линейный тренд, достигающий в степных районах Крыма 3,9°C за 71 год, приходится на март. Положительные тренды РЕТ в летние месяцы свидетельствуют о постепенном увеличении повторяемости жарких и душных погодных условий.

В долговременной динамике экстремальных значений РЕТ выявлена тенденция к уменьшению количества дней с отрицательными экстремумами РЕТ, особенно в зимний период, что может быть связано как с глобальным потеплением, так и с естественными колебаниями климата. В то же время наблюдается и значимое увеличение количества дней с положительными экстремумами РЕТ, особенно в теплый период года, что может быть результатом интенсификации экстремальных температурных событий, таких как периоды аномальной жары. Выявленные закономерности изменения экстремальных значений РЕТ позволят разработать мероприятия по адаптации к изменению климата.

В целом использование такого показателя, как физиологически эквивалентная температура, позволяет увидеть картину климатических условий полуострова в комплексе, учитывая все важные факторы, влияющие на комфорт человека. Понимание динамики и пространственного распределения этого показателя на территории Крыма необходимо для научно обоснованного долгосрочного планирования рекреационных мероприятий и разработки стратегии адаптации к изменениям климата и снижению негативных последствий экстремальных климатических событий.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Института природно-технических систем «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе «океан – атмосфера» (государственная регистрация № 124013000609-2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимов Л.М. Анализ жесткости климатических условий Белгородской области в зимний период // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2012. № 2. С. 76–81.
- Андреев С.С. Климатическая комфортность территории Южного федерального округа и ее районирование по рассчитанным значениям индекса патогенности и коэффициента потенциала самоочищения атмосферы // Метеорология и гидрология. 2009. № 8. С. 100–105.
- Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX в. и в начале XXI в. по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. 2012. Т. 37. № 6. С. 95–107.
- Бабков И.И. Климат. Симферополь: Крым, 1966. 67 с.
- Воскресенская Е.Н. Изменчивость климатических характеристик курортных местностей Черного и Средиземного морей под влиянием глобальных процессов в системе «океан – атмосфера» // Экологическая безо-
- пасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2003. № 9. С. 39–48.
- Воскресенская Е.Н., Ярош А.М. Аномалии температуры воздуха у западного и южного берегов Крыма и их значение для крымских курортов // Физиология и курортология. 2004. № 4. С. 102–114.
- Добрынина И.В., Акимов Л.М., Куропан С.А. Медико-географическая оценка климатической комфортности территории Воронежской области // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. 2013. № 1. С. 120–128.
- Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2001. 456 с.
- Константинов П.И., Варенцов М.И., Грищенко М.Ю. и др. Оценка термического стресса в арктическом городе в летний период // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11. № 2. С. 219–231. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-219-231.

- Корсакова С.П., Корсаков П.Б. Изменение климатических норм на Южном берегу Крыма за последние 90 лет // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2023. № 2(167). С. 84–95. DOI 10.25684/2712-7788-2023-2-167-84-95.
- Литвинов А.Е., Бекух З.А., Кузнецов И.К. Анализ биоклиматического потенциала некоторых курортов Западного Кавказа // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 5. С. 286–290.
- Лубков А.С., Стефанович А.А. Подход к статистической корректировке данных атмосферных реанализов с использованием метеонаблюдений на примере Крымского региона // Системы контроля окружающей среды – 2022: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Севастополь: ИП Куликов А.С., 2022. С. 81.
- Парубец О.В. Изменение климата в Крыму // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Сер. География. 2009. Т. 22(61). № 2. С. 88–96.
- Пилипенко О.В., Скобелева Е.А. К определению критериев температурного комфорта человека как показателей экологической безопасности открытых городских пространств // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. № 1(13). С. 13–20.
- Ревич Б.А. Изменение здоровья населения России в условиях изменяющегося климата // Проблемы прогнозирования. 2008. № 3. С. 140–150.
- Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Волны холода в южных городах европейской части России и преждевременная смертность населения // Проблемы прогнозирования. 2016. № 2. С. 125–131.
- Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н. Изменения комплексных биоклиматических показателей в Крыму с середины XX века // Экология человека. 2023. Т. 30. № 1. С. 65–77. DOI: 10.17816/humeco111767.
- Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н., Лубков А.С. Оценки линейных трендов биоклиматических индексов на территории Крыма // Системы контроля окружающей среды – 2022: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Севастополь: ИП Куликов А.С., 2022. С. 99.
- Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н., Лубков А.С. Проявление событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья в экстремальных аномалиях рекреационных показателей на территории Крыма // Метеорология и гидрология. 2024. № 12. С. 121–131. DOI: 10.52002/0130-2906-2024-12-121-131.
- Шартова Н.В., Шапошников Д.А., Константинов П.И. Новые подходы к разработке региональных ответных мер при воздействии волн жары на население // Проблемы теории и практики управления. 2018а. № 9. С. 66–72.
- Шартова Н.В., Шапошников Д.А., Константинов П.И. и др. Биоклиматический подход к оценке смертности населения во время аномальной жары на примере юга России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018б. № 6. С. 47–55.
- Ярош А.М., Коришунов Ю.П., Бессмертный А.Ф. и др. Сравнительная медико-климатологическая характеристика основных курортных местностей Черноморско-Средиземноморского региона. Симферополь: Таврия, 1998. 88 с.
- Ярош А.М., Савченко В.М., Бабич-Гордиенко И.В. Современное состояние изучения методов климатотерапии на курортах // Вестник физиотерапии и курортологии. 2015. № 1. С. 22–23.
- Ярош А.М., Солдатченко С.С., Коришунов Ю.П. и др. Сравнительная медико-климатологическая характеристика основных приморских курортных местностей Европы и прилегающих к ней регионов Азии и Африки. Симферополь: Сонат, 2000. 135 с.
- Blążejczyk K., Jendritzky G., Bröde P. et al. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Geographia Polonica*, 2013, vol. 86, no. 1, p. 5–10, DOI: 10.7163/GPOL.2013.1.
- Chen Y.C., Chen W.N., Chou C.C.-K. et al. Concepts and new implements for Modified Physiologically Equivalent Temperature, *Atmosphere*, 2020, vol. 11, no. 7, 694, DOI: 10.3390/atmos11070694.
- Farajzadeh H., Saligheh M., Alijani B. et al. Comparison of selected thermal indices in the northwest of Iran, *Natural Environment Change*, 2015, vol. 14, no. 1, p. 61–80.
- Höppe P. *Die Energiebilanz des Menschen*, Wiss. Mitt. Meteorol. Inst., Univ. München, 1984, no. 49, 171 p.
- Höppe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology*, 1999, vol. 43, no. 2, p. 71–75.
- Höppe P., Mayer H. Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas, *Landschaft und Stadt*, 1987, no. 19, p. 22–29.
- Konstantinov P.I., Varentsov M.I., Shartova N.V. North Eurasian Thermal Comfort Indices Dataset (NETCID): New Gridded Database for the Biometeorological Studies, *Environmental Research Letters*, 2022, vol. 17, no. 8, 085006, DOI: 10.1088/1748-9326/ac7fa9.
- Matzarakis A. Climate, thermal comfort and tourism, B. Amelung, K. Blążejczyk, A. Matzarakis (eds.), *Climate Change and Tourism – Assessment and Coping Strategies*, 2007, p. 140–154.
- Matzarakis A., Fröhlich D. University of Freiburg Sport events and climate for visitors-the case of FIFA World Cup in Qatar 2022, *International Journal of Biometeorology*, 2015, vol. 59, no. 4, p. 481–486, DOI:10.1007/s00484-014-0886-5.
- Matzarakis A., Fröhlich D., Berman S. et al. Quantifying Thermal Stress for Sport Events – The Case of the Olympic Games 2020 in Tokyo, *Atmosphere*, 2018, vol. 9, no. 12, 479, DOI: 10.3390/atmos9120479.
- Matzarakis A., Endler C. Physiologically equivalent temperature and climate change in Freiburg, *Eighth Symposium on the Urban Environment*, American Meteorological Society, Phoenix, AZ, 10–15 January 2009, vol. 4, no. 2, p. 1–8.
- Matzarakis A., Endler C. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany, *International Journal of Biometeorology*, 2010, vol. 54, no. 4, p. 479–483, DOI: 10.1007/s00484-009-0296-2.
- Matzarakis A., Mayer H. Another kind of environmental stress: thermal stress, *Newletters WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control*, 1996, no. 18, p. 7–10.
- Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature, *International Journal of Biometeorology*, 1999, vol. 43, no. 2, p. 76–84.

- Matzarakis A., Rutz F., Mayer H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the Ray-Man model, *International Journal of Biometeorology*, 2010, vol. 54, no. 2, p. 131–139, DOI: 10.1007/s00484-009-0261-0.
- Mayer H., Höppe P. Thermal comfort of man in different urban environments, *Theor. Appl. Clim.*, 1987, no. 38, p. 43–49.
- Mihăilă D., Piticar A., Briciu A.E. et al. Changes in bioclimatic indices in the Republic of Moldova (1960–2012): consequences for tourism, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2018, no. 77, p. 521–548, DOI: 10.21138/bage.2550.
- Najafi S.M.A., Najafi N. Evaluation of thermal comfort using the PMV and PPD methods (a case study of Bazaar-e-Vakil, Shiraz), *Haft Hesar Journal of Environmental Studies*, 2012, vol. 1, no. 1, p. 61–70.
- Stefanovich A.A., Voskresenskaya E.N., Maslova V.N. Extreme recreational conditions in the Black Sea resorts associated with the North Atlantic climate, *Climate*, 2023, vol. 11, no. 7, 148, DOI: 10.3390/cli11070148.
- Toy S., Kántor N. Evaluation of human thermal comfort ranges in urban climate of winter cities on the example of Erzurum city, *Environ Sci. Pollut. Res.*, 2017, vol. 24, p. 1811–1820, DOI: 10.1007/s11356-016-7902-8.
- Zare S., Hasheminejad N., Shirvan H.E. et al. Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year, *Weather and Climate Extremes*, 2018, no. 19, p. 49–57, DOI: 10.1016/j.wace.2018.01.004.
- Электронные ресурсы
- Расписание погоды. URL: <https://rp5.ru> (дата обращения 12.09.2023).
- Zuretti M., Pedrazzoli A., Ceccarelli G. et al. Multi-Disciplinary Perspectives on Pedestrian Thermal Comfort and Walkability, *51th European Transport Conference 2023 (ETC 2023)*, 6–8 September 2023, Milan (Italy), URL: <https://transformtransport.org/research/livable-streets/multi-disciplinary-perspectives-on-pedestrian-thermal-comfort-and-walkability/> (дата обращения 07.05.2025).

Поступила в редакцию 16.02.2025

После доработки 10.07.2025

Принята к публикации 28.08.2025

CHANGES OF PHYSIOLOGICAL THERMAL COMFORT WITHIN THE TERRITORY OF THE CRIMEA PENINSULA DURING 1950–2020

A.A. Stefanovich¹, E.N. Voskresenskaya²

^{1,2} *Institute of Natural and Technical Systems, Laboratory of large-scale interaction of the ocean, atmosphere and climate change*

¹ *Junior Scientific Researcher; e-mail: amazurenko@mail.ru*

² *Deputy Director of Science, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: elena_voskr@mail.ru*

A bioclimatic index of physiologically equivalent temperature (PET) was calculated based on the human energy balance model and a standard set of meteorological data for Crimea, thus allowing estimating thermal comfort and possible risks to human health. Spatiotemporal changes of the indicator were analyzed comprehensively.

Climate changes were analyzed for the period 1950–2020 at 22 meteorological stations in Crimea using ERA5 reanalysis data, which were interpolated to observation points and evaluated as for the quality of acquired data series. The intra-annual distribution of PET values was studied, trends in value changes were identified, and the variability of days with extreme PET values for each month was analyzed. The trends of the most significant and pronounced increase of PET were revealed for particular months, mainly in the winter-spring period. In summer months, the increasing probability of periods with extremely hot weather events is noted. The results of the study could be effectively used in the bioclimatic zoning of Crimea, as well as in the development of resort and tourism industry and other recreation activities.

Keywords: bioclimatic index, climate change, recreation, physiologically equivalent temperature (PET)

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Natural and Technical Systems “Fundamental and applied research into the patterns and mechanisms of formation of regional changes in the natural environment and climate under the influence of global processes in the ocean-atmosphere system” (state registration no. 124013000609-2).

REFERENCES

- Akimov L.M. Analiz zhestkosti klimaticheskikh uslovii Belgorodskoi oblasti v zimnii period [Analysis of the severity of climatic conditions in the Belgorod region in winter], *Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta, Ser. Geografiya, Geoekologiya*, Voronezh, 2012, no. 2, p. 76–81. (In Russian)
- Andreev S.S. Klimaticheskaya komfortnost' territorii Yuzhnogo federal'nogo okruga i ee raionirovanie po rasschitannym znacheniyam indeksa patogennosti i koeffitsienta potentsiala samoochishcheniya atmosfery [Climatic comfort of the territory of the Southern Federal District and its zoning based on calculated values of the pathogenicity index and the coefficient of self-purification potential of the atmosphere], *Meteorologiya i gidrologiya*, 2009, no. 8, p. 100–105. (In Russian)
- Anisimov O.A., Zhil'tsova E.L. Ob otsenkakh izmenenij klimata regionov Rossii v XX v. i v nachale XXI v. po dannym nablyudenij [On the assessments of climate changes in the regions of Russia during the 20th century and the beginning of the 21st century based on observation data], *Meteorologiya i gidrologiya*, 2012, vol. 37, no. 6, p. 95–107. (In Russian)
- Babkov I.I. Klimat [Climate], Simferopol', Krym Publ., 1966, 67 p. (In Russian)
- Blażejczyk K., Jendritzky G., Bröde P. et al. An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI), *Geographia Polonica*, 2013, vol. 86, no. 1, p. 5–10, DOI: 10.7163/GPOL.2013.1.
- Chen Y.C., Chen W.N., Chou C.C.-K. et al. Concepts and new implements for Modified Physiologically Equivalent Temperature, *Atmosphere*, 2020, vol. 11, no. 7, 694, DOI: 10.3390/atmos11070694.
- Dobrynina I.V., Akimov L.M., Kurolap S.A. Mediko-geograficheskaya otsenka klimaticheskoy komfortnosti territorii Voronezhskoi oblasti [Medical and geographical assessment of climatic comfort of the Voronezh Region], *Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta, Ser. Geografiya, Geoekologiya*, Voronezh, 2013, no. 1, p. 120–128. (In Russian)
- Farajzadeh H., Saligheh M., Alijani B. et al. Comparison of selected thermal indices in the northwest of Iran, *Natural Environment Change*, 2015, vol. 14, no. 1, p. 61–80.
- Höppe P. *Die Energiebilanz des Menschen*, Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München, 1984, no. 49, 171 p.
- Höppe P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology*, 1999, vol. 43, no. 2, p. 71–75.
- Höppe P., Mayer H. Planungsrelevante Bewertung der thermischen Komponente des Stadtklimas, *Landschaft und Stadt*, 1987, no. 19, p. 22–29.
- Isaev A.A. *Ekologicheskaya klimatologiya* [Ecological climatology], Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2001, 456 p. (In Russian)
- Konstantinov P.I., Varentsov M.I., Grishchenko M.Yu. et al. Otsenka termicheskogo stressa v arkticheskom gorode v letnii period [Assessment of thermal stress in an Arctic city in summer], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2021, vol. 11, no. 2, p. 219–231, DOI 10.25283/2223-4594-2021-2-219-231. (In Russian)
- Konstantinov P.I., Varentsov M.I., Shartova N.V. North Eurasian Thermal Comfort Indices Dataset (NETCID): New Gridded Database for the Biometeorological Studies, *Environmental Research Letters*, 2022, vol. 17, no. 8, 085006, DOI: 10.1088/1748-9326/ac7fa9.
- Korsakova S.P., Korsakov P.B. Izmenenie klimaticheskikh norm na Yuzhnom beregu Kryma za poslednie 90 let [Changes in climatic norms on the southern coast of Crimea over the past 90 years], *Biologiya rastenii i sadovodstvo: teoriya, innovatsii*, 2023, no. 2(167), p. 84–95, DOI 10.25684/2712-7788-2023-2-167-84-95. (In Russian)
- Litvinov A.E., Bekukh Z.A., Kuznetsov I.K. Analiz bioklimaticheskogo potentsiala nekotorykh kurortov Zapadnogo Kavkaza [Analysis of the bioclimatic potential of several resorts in the Western Caucasus], *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2014, vol. 16, no. 5, p. 286–290. (In Russian)
- Lubkov A.S., Stefanovich A.A. [Approach to statistical adjustment of atmospheric reanalysis data using meteorological observations on the example of the Crimean region], *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy – 2022: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Environmental Monitoring Systems – 2022: Abstracts of the International Scientific and Practical Conference], Sevastopol', IP Kulikov A.S. Publ., 2022, p. 81. (In Russian)
- Matzarakis A. Climate, thermal comfort and tourism, B. Amelung, K. Blazejczyk, A. Matzarakis (eds.), *Climate Change and Tourism – Assessment and Coping Strategies*, 2007, p. 140–154.
- Matzarakis A., Fröhlich D. University of Freiburg Sport events and climate for visitors-the case of FIFA World Cup in Qatar 2022, *International Journal of Biometeorology*, 2015, vol. 59, no. 4, p. 481–486, DOI: 10.1007/s00484-014-0886-5.
- Matzarakis A., Fröhlich D., Bermon S. et al. Quantifying Thermal Stress for Sport Events – The Case of the Olympic Games 2020 in Tokyo, *Atmosphere*, 2018, vol. 9, no. 12, 479, DOI: 10.3390/atmos9120479.
- Matzarakis A., Endler C. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany, *International Journal of Biometeorology*, 2010, vol. 54, no. 4, p. 479–483, DOI: 10.1007/s00484-009-0296-2.
- Matzarakis A., Endler C. Physiologically equivalent temperature and climate change in Freiburg, *Eighth Symposium on the Urban Environment, American Meteorological Society*, Phoenix, AZ, 10–15 January 2009, vol. 4, no. 2, p. 1–8.
- Matzarakis A., Mayer H. Another kind of environmental stress: thermal stress, *Newletters WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control*, 1996, no. 18, p. 7–10.
- Matzarakis A., Mayer H., Iziomon M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature, *International Journal of Biometeorology*, 1999, vol. 43, no. 2, p. 76–84.
- Matzarakis A., Rutz F., Mayer H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the Ray-Man model, *International Journal of Biometeorology*, 2010, vol. 54, no. 2, p. 131–139, DOI: 10.1007/s00484-009-0261-0.
- Mayer H., Höppe P. Thermal comfort of man in different urban environments, *Theor. Appl. Clim.*, 1987, no. 38, p. 43–49.

- Mihăilă D., Piticar A., Briciu A.E. et al. Changes in bioclimatic indices in the Republic of Moldova (1960–2012): consequences for tourism, *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2018, no. 77, p. 521–548, DOI: 10.21138/bage.2550.
- Najafi S.M.A., Najafi N. Evaluation of thermal comfort using the PMV and PPD methods (a case study of Bazaar-e-Vakil, Shiraz), *Haft Hesar Journal of Environmental Studies*, 2012, vol. 1, no. 1, p. 61–70.
- Parubets O.V. Izmenenie klimata v Krymu [Climate change in Crimea], *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo, Seriya: Geografiya*, 2009, vol. 22(61), no. 2, p. 88–96. (In Russian)
- Pilipenko O.V., Skobeleva E.A. K opredeleniyu kriteriev temperaturnogo komforta cheloveka kak pokazatelei ekologicheskoi bezopasnosti otkrytykh gorodskikh prostranstv [On the definition of human temperature comfort criteria as indicators of environmental safety of open urban spaces], *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii*, 2016, vol. 1, no. 13, p. 13–20. (In Russian)
- Revich B.A. Climate change alters human health in Russia, *Studies on Russian Economic Development*, 2008, no. 3, p. 311–317.
- Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Cold Waves in Southern Cities of European Russia and Premature Mortality, *Studies on Russian Economic Development*, 2016, no. 2, p. 210–215.
- Shartova, N.V., Shaposhnikov D.A., Konstantinov P.I. Novye podkhody k razrabotke regional'nykh otvetnykh mer pri vozdeistvii voln zhary na naselenie [New approaches to the development of regional responses to heat waves], *Problemy teorii i praktiki upravleniya*, 2018, no. 9, p. 66–72. (In Russian)
- Shartova N.V., Shaposhnikov D.A., Konstantinov P.I. et al. Bioklimaticheskii podkhod k otsenke smernosti nasele-niya vo vremya anomal'noi zhary na primere yuga Rossii [Bioclimatic approach to the assessment of population mortality during heat waves: case study of the South of Russia], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 6, p. 47–55. (In Russian)
- Stefanovich A.A., Voskresenskaya E.N. Izmeneniya kompleksnykh bioklimaticheskikh pokazatelei v Krymu s serediny XX veka [Changes in complex bioclimatic indicators in Crimea since the middle of the 20th century], *Ekologiya cheloveka*, 2023, vol. 30, no. 1, p. 65–77, DOI: 10.17816/humeco111767. (In Russian)
- Stefanovich A.A., Voskresenskaya E.N., Lubkov A.S. Manifestation of El Nino and La Nina Events in the Extreme Anomalies of Recreational Indicators in Crimea, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2024, vol. 49, no. 12, p. 1118–1125, DOI: 10.3103/S1068373924120112.
- Stefanovich A.A., Voskresenskaya E.N., Lubkov A.S. [Estimates of linear trends of bioclimatic indices in the territory of Crimea], *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy – 2022: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Environmental Monitoring Systems – 2022: Abstracts of the International Scientific and Practical Conference], Sevastopol', IP Kulikov A.S. Publ., 2022, p. 99. (In Russian)
- Stefanovich A.A., Voskresenskaya E.N., Maslova V.N. Extreme recreational conditions in the Black Sea resorts associated with the North Atlantic climate, *Climate*, 2023, vol. 11, no. 7, 148, DOI: 10.3390/cli11070148.
- Toy S., Kántor N. Evaluation of human thermal comfort ranges in urban climate of winter cities on the example of Erzurum city, *Environ Sci. Pollut. Res.*, 2017, vol. 24, p. 1811–1820, DOI 10.1007/s11356-016-7902-8.
- Voskresenskaya E.N. Izmenchivost' klimaticheskikh kharakteristik kurortnykh mestnostei Chernogo i Sredizemnogo morei pod vliyaniem global'nykh protsessov v sisteme "ocean – atmosfera" [Variability of climatic characteristics of resort areas of the Black and Mediterranean Seas under the influence of global processes in the ocean-atmosphere system], *Ekologicheskaya bezopasnost' pri-brezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, 2003, no. 9, p. 39–48. (In Russian)
- Voskresenskaya E.N., Yarosh A.M. Anomalii temperatury vozdukha u zapadnogo i yuzhnogo beregov Kryma i ikh znachenie dlya krymskikh kurortov [Air temperature anomalies near the western and southern coasts of Crimea and their significance for Crimean resorts], *Fiziologiya i kurortologiya*, 2004, no. 4, p. 102–114. (In Russian)
- Yarosh A.M., Korshunov Yu.P., Bessmertnyi A.F. et al. *Sravnitel'naya mediko-klimatologicheskaya kharakteristika osnovnykh kurortnykh mestnostei Chernomorsko-Sredizemnomorskogo regiona* [Comparative medical and climatological characteristics of the main resort areas of the Black Sea-Mediterranean region], Simferopol', Tavriya Publ., 1998, 88 p. (In Russian)
- Yarosh A.M., Savchenko V.M., Babich-Gordienko I.V. Sovremennoe sostoyanie izucheniya metodov klimatoterapii na kurortakh [Current state of resort-based study of climatotherapy methods], *Vestnik fizioterapii i kurortologii*, 2015, no. 1, p. 22–23. (In Russian)
- Yarosh A.M., Soldatchenko S.S., Korshunov Yu.P. et al. *Sravnitel'naya mediko-klimatologicheskaya kharakteristika osnovnykh primorskikh kurortnykh mestnostei Evropy i privileyushchikh k nei regionov Azii i Afriki* [Comparative medical and climatological characteristics of the main coastal resort areas of Europe and adjacent regions of Asia and Africa], Simferopol', Sonat Publ., 2000, 135 p. (In Russian)
- Zare S., Hasheminejad N., Shirvan H.E. et al. Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year, *Weather and Climate Extremes*, 2018, no. 19, p. 49–57, DOI: 10.1016/j.wace.2018.01.004.
- Web sources*
- Raspisanie pogody [Weather schedule], URL: <https://rp5.ru> (access date 12.09.2023). (In Russian)
- Zuretti M., Pedrazzoli A., Ceccarelli G. et al. Multi-Disciplinary Perspectives on Pedestrian Thermal Comfort and Walkability, *51th European Transport Conference 2023 (ETC 2023)*, 6–8 September 2023, Milan (Italy), URL: <https://transformtransport.org/research/livable-streets/multi-disciplinary-perspectives-on-pedestrian-thermal-comfort-and-walkability/> (access date 07.05.2025).

Received 16.02.2025

Revised 10.07.2025

Accepted 28.08.2025

ТУРБУЛЕНТНЫЕ ПОТОКИ ТЕПЛА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

В.Ф. Дубравин¹, С.А. Мысленков², Ж.И. Стонт³^{1,3} Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии; Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН¹ Вед. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: v_dubravina@mail.ru² Ст. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук; e-mail: stasoocean@gmail.com³ Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: ocean_stont@mail.ru

Данная работа посвящена анализу турбулентных потоков тепла для нескольких точек в Балтийском море (платформа D6, станции Аркона и Дарский порог) с применением различных методик расчета. Расчеты потоков явного и скрытого тепла выполнены при помощи аэродинамического метода, а также на основе алгоритма COARE с разными параметризациями. Для расчетов привлекались данные метеостанций, реанализа, моделирования и измерения параметров волнения, а также измерений заякоренной термоксы на морской ледостойкой стационарной платформе D6. В работе рассматривается период с января по декабрь 2016 г. В результате было установлено, что при использовании методики COARE с параметризацией Charnok по сравнению с аэродинамическим методом при постоянных коэффициентах обмена теплом и влагой величина потока явного тепла увеличивается на 15%, скрытого тепла – на 6%. Наибольшие различия в величинах потоков, рассчитанных разными методиками, наблюдаются во время сильных штормов с высотой волн более 3 м и могут превышать 50 Вт/м².

На основе дисперсионного и гармонического анализа рядов потоков тепла получены оценки долей суточной, синоптической и сезонной изменчивости, а также оценки параметров гармоник суточного и годового хода.

Ключевые слова: взаимодействие океана и атмосферы, суточный и сезонный ход, юго-восточная Балтика, COARE, платформа D6

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.2

ВВЕДЕНИЕ

В системе взаимодействия океана и атмосферы большая роль принадлежит турбулентным потокам явного (Q_H) и скрытого тепла (Q_E), которые обеспечивают тепло- и влагообмен, что во многом определяет климатические процессы. Балтийское море является средиземным (внутриматериковым) морем и имеет затрудненный водообмен с Мировым океаном, поэтому изменения температуры воды практически полностью регулируются через обмен тепла с атмосферой [Döscher, Meier, 2004]. Для Балтийского моря актуальны различные экологические проблемы, так или иначе связанные с климатическими колебаниями температуры воды [Александров, 2010; Rak, Wiczorek, 2012]. Температура воды является одним из важнейших факторов, определяющих состояние водных экосистем, что отражено в работах по исследованию пространственного и вертикального распределения температуры вод Балтийского моря [Störmer, 2011; Дубравин, 2014].

Анализ результатов моделирования турбулентных потоков тепла в Балтийском море при различных климатических сценариях представлен в

[Döscher, Meier, 2004]. В работе [Larsén et al., 2006] приведены результаты измерений потоков тепла в нескольких точках в Балтийском море. В работе [Дубравин, 2014] на основании гидрометеорологических данных из атласа [State and Evolution..., 2008] для 11 гидрометеорологических районов за период 1951–2000 гг. выполнена оценка климатических средних (для месяцев и года) потоков явного и скрытого тепла по методике С.К. Гулева [Гулев, Украинский, 1989; Лаппо и др., 1990]. Рассмотрена сезонная изменчивость этих потоков, по данным гармонического анализа в сезонном ходе выявлено преобладание годовой волны. Кроме того, сравнение полученных расчетов Q_H , Q_E и суммарного потока Q с результатами других исследователей выявило их значительное превышение относительно данных из [Omstedt, 2009] или [Meier, Döscher, 2002], однако соотношения между потоками явного и суммарного тепла или скрытого и суммарного тепла схожи ($Q_H/Q = 0,22–0,24$ или $Q_E/Q = 0,76–0,78$). Отсюда следует вывод, что различия в результатах расчета потоков тепла разными авторами определяются различиями в величине коэффициентов

турбулентного тепло- и влагообмена C_T и C_E или масштабов пространственно-временного усреднения ξ_H и ξ_E . На основе гидрометеорологических данных мониторинговой сети MARNET Института исследований Балтийского моря имени Лейбница за 2003–2016 гг. с дискретностью 1 час на ст. Аркона, Дарский порог и Киль получены оценки потоков явного и скрытого тепла, рассчитанных по методике [Ефимов и др., 1985; Дубравин и др., 2019]. В работе [Аверкиев, Дубравин, 2020] по тем же данным мониторинговой сети MARNET за 2003–2016 гг. на станциях Аркона и Дарский порог в южной Балтике дана количественная оценка влияния осреднения на рассчитанные значения потока влаги в случаях, если они рассчитаны непосредственно по данным ежечасных наблюдений и в случае расчета по осредненным данным. Сравнение значений испарения, рассчитанных по данным ежечасных наблюдений и затем осредненных за сутки, месяц, год и рассчитанных по осредненным величинам гидрометеорологических параметров на станциях в южной Балтике, показало, что осреднение параметров за сутки допустимо практически без потери точности (ошибка не более 2–4%). «Осреднение значений гидрометеорологических параметров за период месяц приводит к ошибкам (занижению) в рассчитанных значениях испарения на 20–30%. При осреднении за период порядка года ошибка возрастает на 35% и более» [Аверкиев, Дубравин, 2020, с. 79]. Эти величины близки к полученным ранее для открытых районов океанов и морей, но несколько меньше (на 20–25%), чем полученные для акваторий умеренных широт с большой синоптической изменчивостью гидрометеорологических характеристик в [Гулев, Украинский, 1989, Лаппо и др., 1990].

На сегодняшний день при анализе потоков тепла в основном используют расчетные данные, так как данные прямых измерений потоков в океане крайне редки. Одним из классических методов расчета потоков явного и скрытого тепла является аэродинамический метод [Гулев, Украинский, 1989; Лаппо и др., 1990]. В последнее время в основном для подобных расчетов используется алгоритм COARE [Fairall et al., 2003], где в балк-формулах может учитываться коротковолновая и длинноволновая радиация, а также шероховатость моря, обусловленная ветровым волнением. Алгоритм COARE 3.0 успешно применяется для расчета потоков тепла в различных акваториях Мирового океана [Cronin et al., 2019; Gulev, Belyaev, 2012; Myslenkov et al., 2021].

В настоящей статье выполнен анализ турбулентных потоков явного и скрытого тепла за 2016 г. для южной части Балтийского моря. Расчеты выполнены с применением различных методик на основе уникальных инструментальных данных (темпера-

тура воды, метеорологические параметры, характеристики ветрового волнения), полученных на морской ледостойкой стационарной платформе D6 (далее – МЛСП). Кроме того, для региональной детализации оценок потоков тепла в районе исследований также были привлечены расчеты потоков по методике Constant на станциях Аркона и Дарский порог. По нашему мнению, это тем более важно, поскольку эти три станции располагаются в трех гидрометеорологических районах (B09, B10 и B11) [Дубравин, 2014, рис. 5], для которых, в том числе в [State and Evolution..., 2008], приведены климатические среднемесячные значения гидрометеорологических элементов за период 1951–2000 гг., что позволяет сравнить наши результаты за 2016 г. с климатическими средними. Цель работы заключается в анализе величины потоков тепла и влаги, полученных разными методиками без учета поправок на пространственно-временное усреднение ξ_H и ξ_E , а также в получении количественных оценок вкладов суточной, синоптической и сезонной изменчивости потоков тепла, поскольку в большинстве работ, посвященных расчетам потоков тепла и влаги, используются данные наблюдений с месячным осреднением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Морская ледостойкая стационарная платформа D6 расположена в 22 км от берега в Калининградской области в юго-восточной части Балтийского моря. В 2015 г. на середине переходного мостика платформы была установлена термокоса из 10 датчиков Starmon mini (производитель Star Oddi, Исландия) [Мысленков и др., 2017]. Датчики расположены на горизонтах: 0,1, 1, 3, 5, 8, 10, 13, 24, 28 м. Глубина моря в месте установки составляет 29 м. Дискретность измерений температуры составляет 1 мин, точность $\pm 0,025^\circ\text{C}$. В расчетах потоков тепла использовалась осредненная за 1 час температура воды верхнего датчика, однако при наличии высоких волн верхние датчики иногда оказывались на поверхности, что однозначно определялось по характерному шуму в записях температуры. В этой ситуации использовалась температура с более глубоких горизонтов.

В 2016 г. на платформе был установлен ультразвуковой волнограф LogAlevel. Высота установки прибора над водой составила около 8 м, частота измерения уровня 5 Гц и точность измерения уровня 1 см. По полученным данным вычислялась высота значительных волн (как среднее от $\frac{1}{3}$ наибольших волн) и период T_z (zero-crossing). В данной работе использованы данные волнографа за период с 26 октября по 22 декабря 2016 г. Также дополнительно использовались данные

моделирования параметров волнения на основе модели SWAN с временной дискретностью 1 час, рассчитанные на основе данных реанализа NCEP/CFSv2 в качестве атмосферного форсинга. Из данных моделирования использовалась высота значительных волн и пиковый период T_p . Также из модели было получено среднее соотношение периодов $T_p / T_z = 1,36$ для точки в районе платформы D6 за период с 26.10. по 22.12.2016, которое использовалось для пересчета T_z , полученного по данным измерений, в T_p . Более подробное описание методики и результатов моделирования волнения представлено в работе [Myslenkov, Medvedeva, 2019]. Также из реанализа NCEP/CFSv2 были получены данные о коротковолновой и длинноволновой радиации, которые используются в расчетах по алгоритму COARE.

Для расчета потоков тепла использованы данные метеостанции МиниКРАМС-4, установленной на платформе D6. Скорость ветра на станции измеряется на высоте 32 м над уровнем моря. Температура воздуха и точки росы измеряется на высоте 27 м.

Кроме того, в работе были использованы данные натуральных наблюдений с дискретностью 1 час за температурой воды и воздуха, относительной влажностью, атмосферным давлением на уровне моря и скоростью ветра W на станциях Аркона и Дарский порог (с метеодатчиками на высоте 10 и 9 м соответственно) мониторинговой сети MARNET.

Анализ потоков тепла и влаги по различным методикам в районе платформы и станций, местоположение которых представлено на рис. 1, был выполнен за период с 1 января по 31 декабря 2016 г. с дискретностью 1 час.

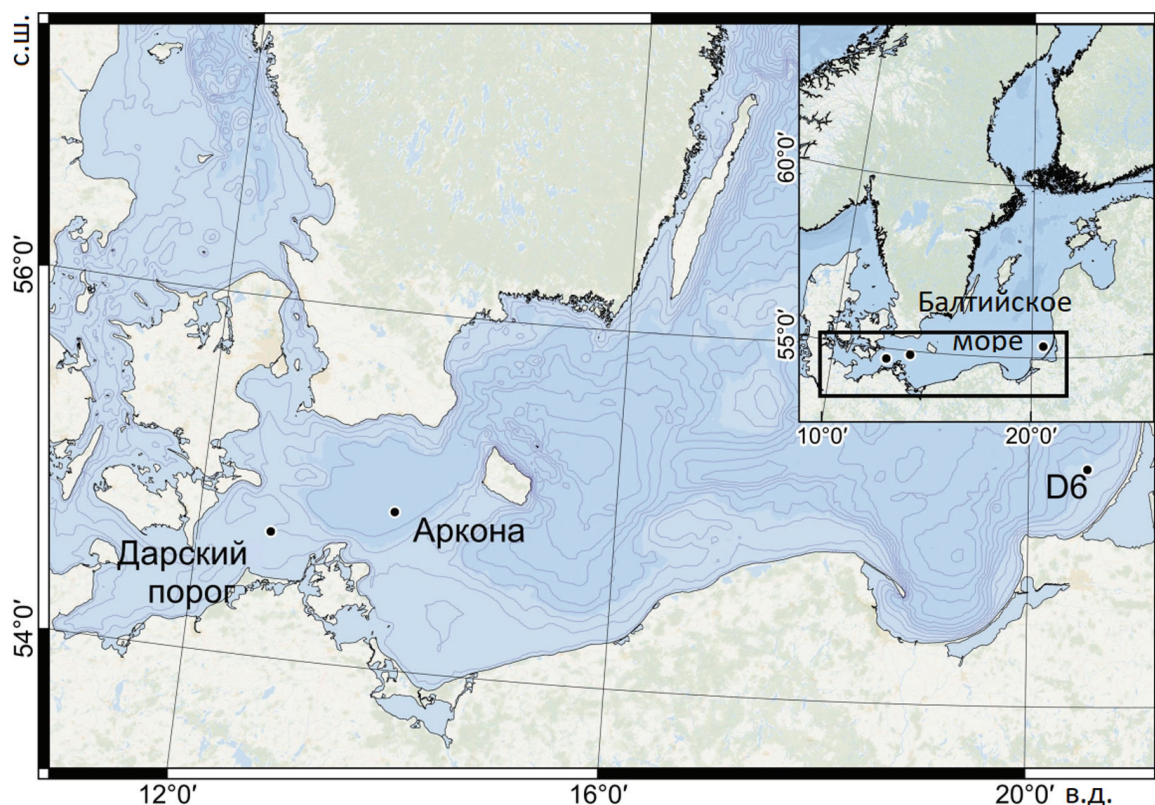


Рис. 1. Район исследований, расположение станций мониторинговой сети MARNET и морской ледостойкой стационарной платформы D6

Fig. 1. Research area, location of stations of the MARNET monitoring network and the D6 offshore ice-resistant stationary platform

Для расчета потоков тепла использовались несколько разных методик. Сначала расчеты были выполнены на основе аэродинамического метода с использованием постоянных коэффициентов обмена теплом и влагой (методика из [Ефимов и др., 1985], которую в дальнейшем будем именовать методикой Constant) по формулам:

$$Q_H = C_p \rho C_T (T_w - T_a) W, \quad (1)$$

$$Q_E = L 0,622 P_0^{-1} \rho C_E (E_{0w} - e_a) W, \quad (2)$$

где C_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении; ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; C_T и C_E – коэффициенты обмена теплом (число Шмидта)

и влагой (число Дальтона); T_w – температура воды, °C; T_a – температура воздуха, °C; W – модуль скорости ветра, м/с; L – удельная (скрытая) теплота парообразования – 2256 кДж/кг (при $T_w = 100^\circ\text{C}$); P_0 – атмосферное давление на уровне моря, гПа; E_{0w} – максимальная упругость водяного пара (гПа) при температуре воды T_w ; e_a – упругость водяного пара, гПа.

Коэффициенты обмена зависят от скорости ветра W , перепадов температуры $\Delta T = T_w - T_a$ и влажности $\Delta e = E_{0w} - e_a$, а также от высоты z , на которой выполнялись измерения. Многообразие подходов к параметризации процессов обмена привело к весьма широкому диапазону значений коэффициентов обмена теплом и влагой, предлагаемых разными авторами. Различные оценки коэффициентов можно найти в [Бортковский, 1971; Гулев, Украинский, 1989; Лаппо и др., 1990; Ефимов и др., 1985; Радикевич, 1970; Blanc, 1985]. В нашем случае для высоты 10 м согласно рекомендациям в [Ефимов и др., 1985] использованы $C_T = C_E = 1,3 \cdot 10^{-3}$.

Для расчетов по методу Constant выполнено приведение данных наблюдений за температурой воздуха T_a и температурой точки росы T_d к стандартной высоте 10 м на основе линейной интерполяции, а для скорости ветра W – по формуле Хельмана [Руховодство..., 2008]:

$$W_h = W_{10}(0,233 + 0,656 \log_{10}(h + 4,75)), \quad (3)$$

где W_h – скорость ветра на высоте h ; W_{10} – скорость ветра на высоте 10 м.

Также для расчета потоков тепла применялся алгоритм COARE 3.0 [Fairall et al., 2003]. Алгоритм COARE 3.0 является одним из современных методов для расчета потоков тепла и учитывает помимо основных метеорологических параметров компоненты коротковолновой и длинноволновой радиации. В алгоритме COARE коэффициенты обмена вычисляются для каждого расчетного шага согласно теории подобия Монина–Обухова, с учетом стратификации приземного слоя атмосферы [Fairall et al., 2003].

В алгоритме COARE 3.0 используется переменный параметр шероховатости, зависящий от скорости ветра на основе формулы [Charnock, 1955]:

$$z_0 = \frac{\alpha u_*^2}{g} + \frac{0,11a}{u_*}, \quad (4)$$

где α – параметр Чарнока; a – коэффициент кинематической вязкости; u_* – скорость трения. Параметр Чарнока $\alpha = 0,011$ при скорости ветра $W_{10} < 10$ м/с, $\alpha = 0,018$ при скорости ветра $W_{10} < 18$ м/с, $\alpha = 0,011 + 0,007 \cdot (W_{10} - 10)/8$ для скорости ветра от 10 до 18 м/с.

В нашем случае в конфигурации алгоритма COARE 3.0 для входных данных о скорости ветра

задавался горизонт 32 м, для температуры и влажности воздуха 27 м над уровнем моря, для температуры воды глубине 1 м. В алгоритме COARE использовалась стандартная встроенная параметризация для перехода от температуры воды на заданной глубине к температуре воды поверхностной пленки, которая непосредственно взаимодействует с атмосферой.

Также существует несколько разных параметризаций параметра шероховатости с учетом скорости ветра и параметров ветровых волн. В своих расчетах мы использовали параметр шероховатости, рассчитываемый по формуле [Taylor, Yelland, 2001]:

$$z_0 = H_s a_1 \left(\frac{H_s}{L_p} \right)^{b_1} \frac{0,11a}{u_*}; a_1 = 1200; b_1 = 4,5, \quad (5)$$

где H_s – высота значительных волн; L_p – длина волны на спектральном пике, вычисляется как $L_p = 1,56 \cdot T_p^2$; где T_p – пиковый период (данные об H_s и T_p получены по данным моделирования или по данным измерений). Существует также параметризация [Oost et al., 2002], где учитывается длина волны на спектральном пике и возраст волн. Согласно результатам работы [Myslenkov et al., 2021], использование параметризаций [Taylor, Yelland, 2001] и [Oost et al., 2002] в Баренцевом море (где среднемноголетняя высота ветровых волн составляет 1–2 м) дает очень схожие результаты, поэтому мы ограничились использованием только одной из них.

Для анализа суточной, синоптической и сезонной изменчивости потоков тепла была использована модель временного ряда, подробно описанная в работе [Дубравин, 2014]. В этой модифицированной модели из [Лаппо и др., 1990] исходный ряд (ИР) раскладывается на короткопериодную (КП) (высоочастотную) и долгопериодную (ДП) (низкочастотную) изменчивость. КП состоит из нерегулярной внутрисуточной изменчивости (ВСИ), регулярного суточного хода (СХ) и синоптической изменчивости (СИ). ДП складывается из нерегулярной внутригодовой изменчивости (ВГИ), регулярного сезонного хода (СезХ) и межгодовой изменчивости (МГИ):

$$\text{ИР} = \text{КП} + \text{ДП} = \text{ВСИ} + \text{СХ} + \text{СИ} + \text{ВГИ} + \text{СезХ} + \text{МГИ}. \quad (6)$$

Технология оценки отдельных членов (6) близка по смыслу к использованной в [Лаппо и др., 1990]. Метод основан на последовательном сглаживании исходного ряда скользящим средним. При соответствующих значениях окна осреднения можно получать остаточную дисперсию разных временных масштабов. После того как ИР был сглажен скользящим месячным осреднением и получен ряд

$$\text{ДП} = \text{ВГИ} + \text{СезХ} + \text{МГИ}, \quad (7)$$

производилась оценка членов в рамках модели [Лаппо и др., 1990]. СезХ получается из многолетнего ряда ИР после осреднения значений для каждого ме-

сяца за все годы, МГИ – из многолетнего ряда после осреднения за каждый год, ВГИ – как остаточная.

Поскольку в настоящей работе рассматривался только 2016 г., вклад межгодовой и внутригодовой изменчивости отсутствует (равен нулю), и тогда

$$\text{ДП} = \text{СезХ}. \quad (8)$$

Вычитание ДП из ИР даст короткопериодную изменчивость КП

$$\text{КП} = \text{ИР} - \text{ДП}, \quad (9)$$

или

$$\text{КП} = \text{ВСИ} + \text{СХ} + \text{СИ}. \quad (10)$$

Сглаживание КП с периодом сутки дает возможность получить реализацию – СИ, осреднение КП за каждый час – СХ, после чего составляющая ВСИ получается как остаточная.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ потоков тепла по данным разных методик расчета. Рассмотрим изменения основных гидрометеорологических параметров среды за 2016 г.: временной ход скорости ветра, темпе-

ратуры воды и воздуха в районе расположения платформы D6 представлен на рис. 2. Температура воздуха на D6 меняется от -13°C в январе (с повышением до $-4\ldots-6^{\circ}\text{C}$ на Арконе и Дарском пороге) до 30°C в июне (до 22°C в июле на Арконе или до 25°C в августе на Дарском пороге). Температура воды не опускается ниже чем $2,4\text{--}2,5^{\circ}\text{C}$ по данным МЛСП D6 и на Арконе или чем $1,8^{\circ}\text{C}$ на Дарском пороге. В апреле – сентябре на D6, марте – июне на Арконе, в феврале – июне и сентябре на Дарском пороге температура воздуха выше, чем температура воды. Средняя скорость ветра с апреля по сентябрь находится в диапазоне $\sim 4\text{--}9$ на D6 или $\sim 6\text{--}7$ м/с на Арконе и Дарском пороге, а в осенне-зимний период средние скорости повышаются до $\sim 6\text{--}15$ на D6 или $6\text{--}10$ м/с на Арконе и Дарском пороге. Такое распределение основных гидрометеорологических характеристик в районе расположения МЛСП D6 по сравнению с Арконой и Дарским порогом определяется большей континентальностью климата в районе МЛСП D6, близостью побережья и большей удаленностью от Атлантического океана.

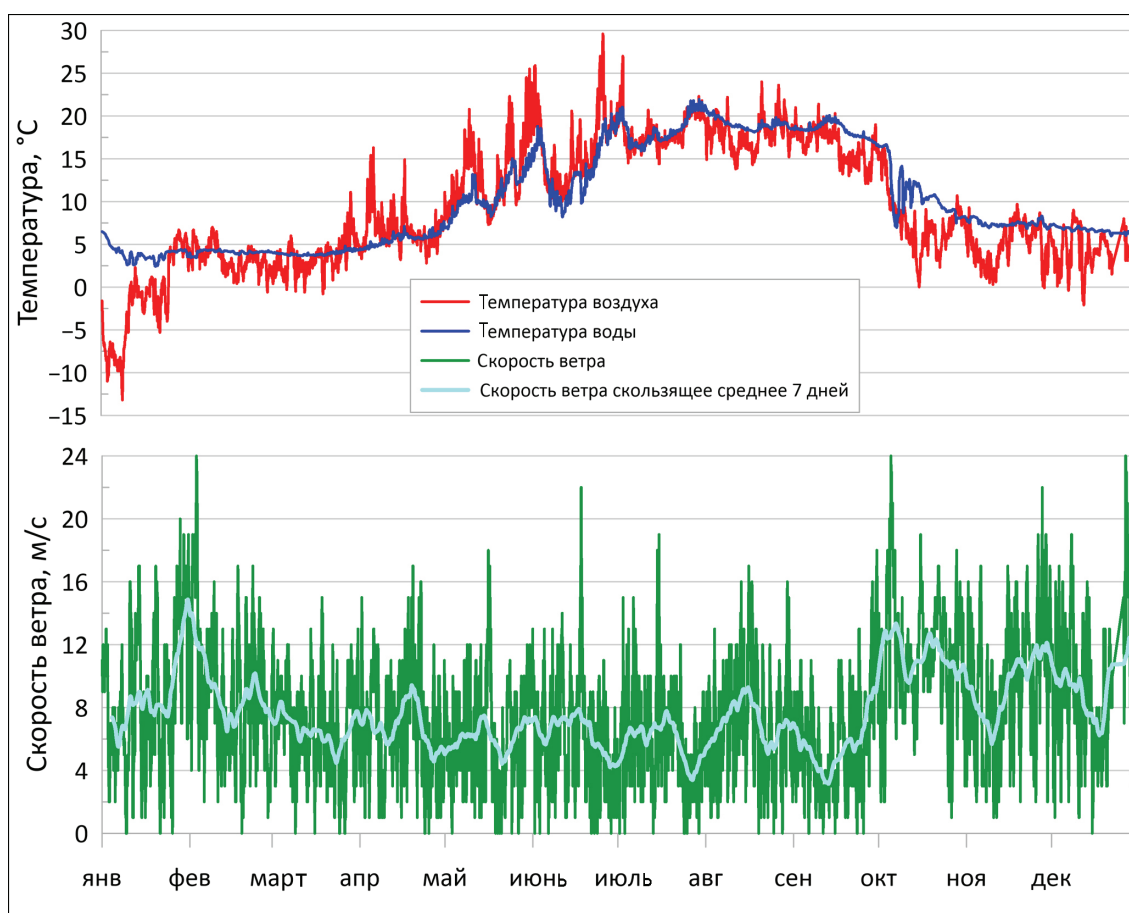


Рис. 2. Изменение скорости ветра, температуры воды и воздуха с 1 января по 31 декабря 2016 г. по данным, полученным с платформы D6

Fig. 2. Changes in wind speed, water and air temperature from January 1 to December 31, 2016, according to the D6 platform data

Примем следующие обозначения: потоки, рассчитанные по методике [Ефимов и др., 1985], обозначим как Constant, потоки, рассчитанные по методике COARE с параметризацией шероховатости по Чарноку, – как COARE Charnock, потоки, рассчитанные по методике COARE с параметризацией шероховатости по методике и входными данными о параметрах волнения из модели SWAN, – как COARE Taylor-Yelland SWAN, а при использовании аналогичной методики и данных измерений волнографа – COARE Taylor-Yelland Wave Measurements.

Потоки явного и скрытого тепла, рассчитанные за 2016 г. при помощи разных методик, на МЛСП D6, представлены на рис. 3. В период с января по февраль и с октября по декабрь преобладают положительные значения потоков явного и скрытого тепла. Максимальные значения потока явного тепла наблюдаются в январе, а для скрытого тепла – в октябре. Расчеты показали, что большую часть года

значения потоков, полученных по разным методикам, в том числе с использованием измерений параметров ветрового волнения, приблизительно одинаковы. Наибольшие различия наблюдаются в январе, октябре и декабре во время близких к максимальным значений.

Методика Constant, как правило, дает наименьшие значения, а COARE Taylor-Yelland SWAN – самые большие. Например, 2 января на D6 максимальное значение потока явного тепла по методике Constant составило 204 Вт/м^2 , по COARE Charnock – 324 Вт/м^2 , по COARE Taylor-Yelland SWAN – 322 Вт/м^2 . Кроме того, разности более 40 Вт/м^2 между потоками явного тепла по разным методикам наблюдались в период с октября по декабрь. В потоках скрытого тепла наблюдается схожая картина: максимальные разности могут превышать 50 Вт/м^2 , однако в среднем все методики дают похожие величины.

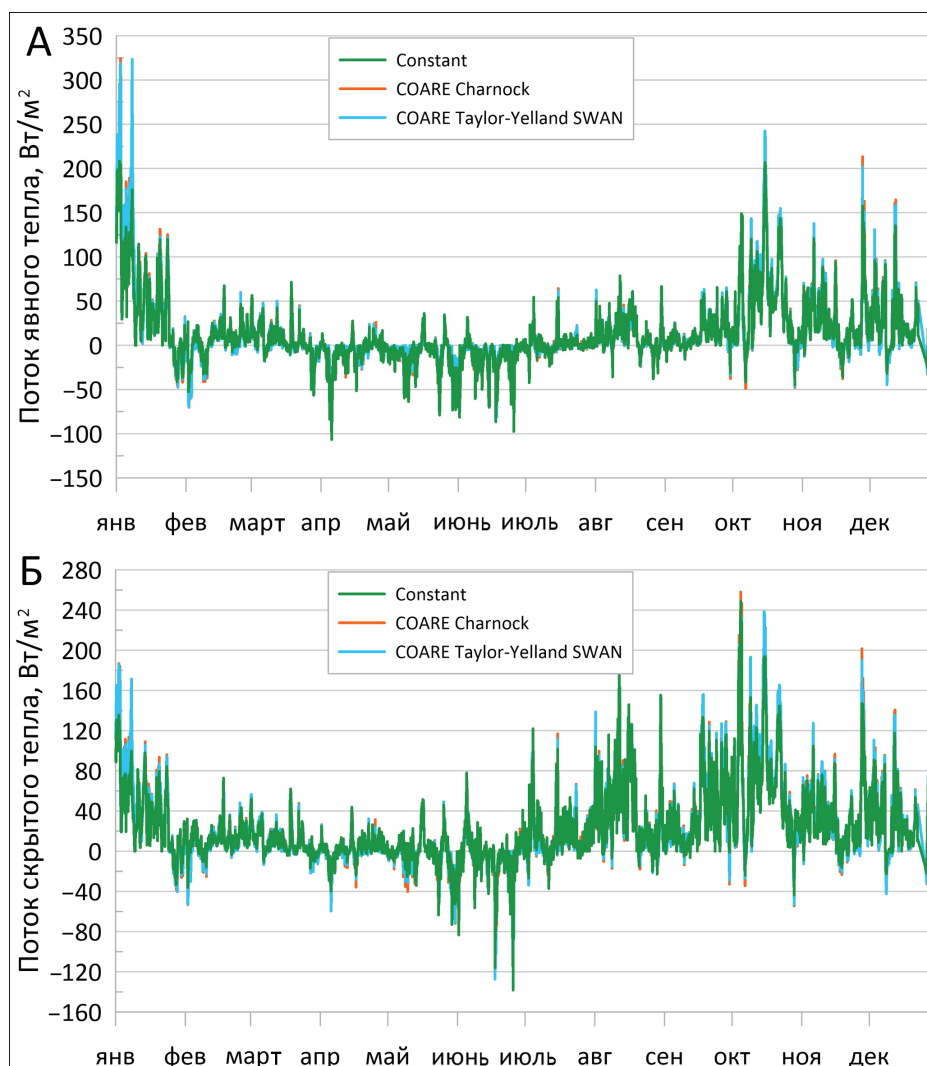


Рис. 3. Изменение потоков явного (А) и скрытого (Б) тепла с 1 января по 31 декабря 2016 г., рассчитанных по разным методикам на платформе D6

Fig. 3. Changes in sensible (A) and latent (B) heat flux from January 1 to December 31, 2016, calculated using different methods on the D6 platform

В таблице 1 представлены средние за весь 2016 г. значения потоков явного и скрытого тепла, полученные разными методиками вблизи МЛСП D6, а также по данным станций Аркона и Дарский порог по методике Constant. Как можно видеть, среднегодовые потоки тепла и влаги на всех точках положительные, т. е. направлены из моря в атмосферу. В среднем поток скрытого тепла на МЛСП D6 и в Арконе примерно в 2 раза больше, чем явного. На станции Дарский порог поток явного тепла несколько меньше, чем на D6, а поток скрытого тепла значительно больше, что говорит о сильных региональных различиях исследуемых параметров.

По методике COARE Charnock поток явного тепла получился на 15%, а для скрытого тепла на 6% больше, а по COARE Taylor-Yelland SWAN на 16% для Q_H и на 5% для Q_E , чем по методике Constant (табл. 1). В среднем за весь год коэффициент C_T по методу COARE Charnock получился равным $0,92 \cdot 10^{-3}$, а при близкой к нейтральной стратификации (разность температур $\pm 1^\circ\text{C}$, что составляет 37% от длины ряда) $C_T = 0,84 \cdot 10^{-3}$. Таким образом, различия в получившихся значениях потоков по сравнению с методом Constant в основном обусловлены различным описанием шероховатости.

Таблица 1

Среднегодовые потоки явного и скрытого тепла, рассчитанные по разным методикам на платформе D6 и станциях Аркона и Дарский порог за 2016 г.

| Метод | Поток явного тепла, Вт/м ² | Поток скрытого тепла, Вт/м ² | Отношение потока явного тепла к Constant, % | Отношение потока скрытого тепла к Constant, % |
|---------------------------|---------------------------------------|---|---|---|
| D6 | | | | |
| Constant | 12,7 | 22,8 | 100 | 100 |
| COARE Charnock | 14,6 | 24,1 | 115 | 106 |
| COARE Taylor-Yelland SWAN | 14,7 | 24,0 | 116 | 105 |
| Аркона | | | | |
| Constant | 14,3 | 29,2 | 100 | 100 |
| Дарский порог | | | | |
| Constant | 11,3 | 47,7 | 100 | 100 |

Далее более детально рассмотрим изменение потоков тепла в районе МЛСП с 26 октября по 22 декабря 2016 г., когда выполнялись измерения параметров ветрового волнения, что позволило использовать данные измерений параметров волнения для методики COARE Taylor-Yelland Wave Measurements (рис. 4). Видно, что наибольшие различия в потоках явного и скрытого тепла наблюдаются 28 ноября. В это время наблюдался шторм – скорость ветра достигала 22 м/с, высота значительных волн составляла до 4 м. Поток явного тепла по методике Constant 28 ноября составлял 157 Вт/м², по COARE Charnock – 213 Вт/м², а по COARE Taylor-Yelland Wave Measurements – 208 Вт/м². Для потока скрытого тепла во время шторма 28 ноября разности также превышают 40 Вт/м². Для средних (за рассматриваемый период) величин потоков расчеты на основе разных методик могут отличаться на величину до 8% (табл. 2). По оценкам в [Blanc, 1985], при экстремальных скоростях ветра потоки Q_H могут возрастать втрое, а Q_E – вчетверо относительно средних

значений. Для максимума потоков 28 ноября максимальная скорость ветра 22 м/с наблюдалась только в течение 1 часа, поэтому потоки тепла, рассчитанные по методу COARE Charnock, больше, чем по методикам с учетом параметров волнения, так как для развития волн необходимо более длительное воздействие ветра. Для нескольких штормов в декабре 2016 г. методики, учитывающие параметры волн, напротив, дают большие значения потоков тепла, нежели метод COARE Charnock. Таким образом, можно сделать вывод, что при сильных штормах оценки потоков тепла с использованием параметризаций, учитывающих коэффициент Чарнока и параметры ветрового волнения, могут существенно различаться с оценками по методике Constant.

Структура временных рядов потоков явного и скрытого тепла. С учетом небольших различий в расчетах среднегодовых значений потоков тепла, рассчитанных по разным методикам (см. табл. 1), для анализа временной структуры потоков тепла использовалась методика Constant [Ефимов и др., 1985].

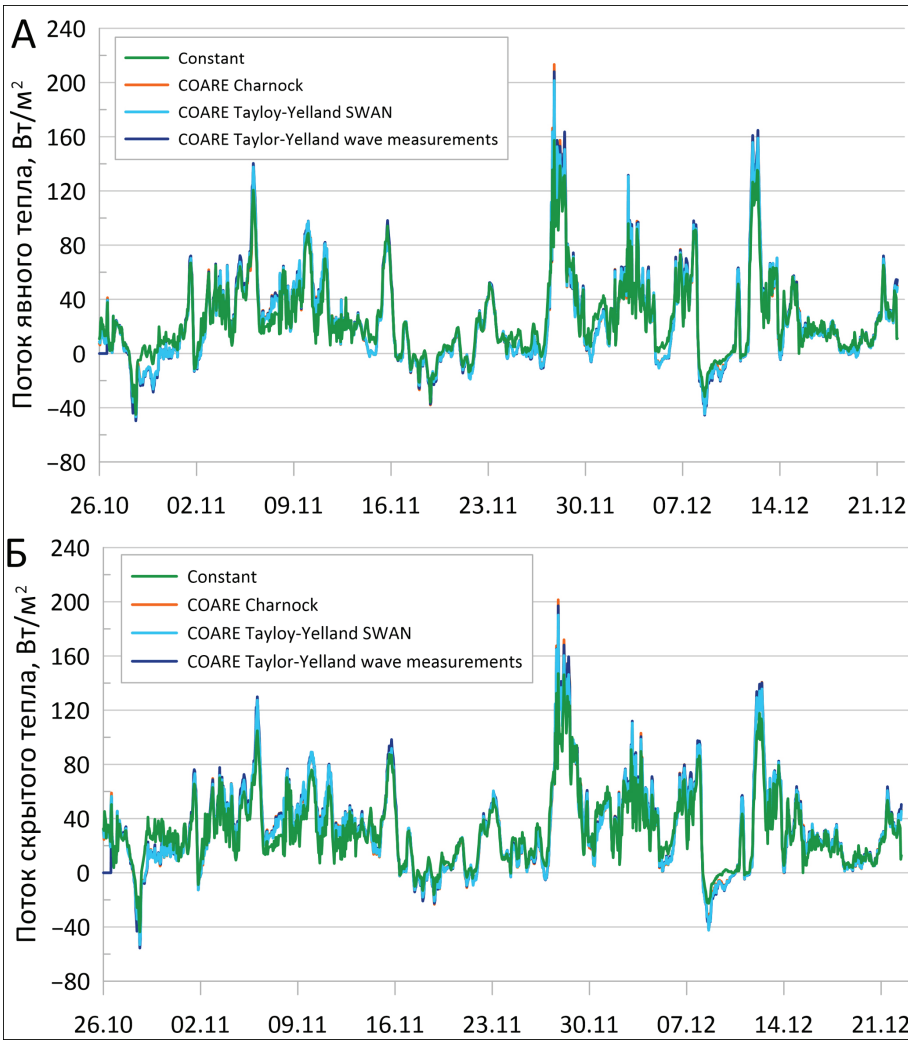


Рис. 4. Изменение потоков явного (А) и скрытого (Б) тепла с 26 октября по 22 декабря 2016 г. на платформе D6
Fig. 4. Changes in the flows of sensible (A) and latent (B) heat from October 26 to December 22, 2016, on the D6 platform

Таблица 2

Средние и максимальные значения потоков явного и скрытого тепла, рассчитанные по разным методикам вблизи МЛСП D6 за период с 26 октября по 22 декабря 2016 г.

| Метод | Поток явного тепла, Вт/м² | Поток скрытого тепла, Вт/м² | Отношение потока явного тепла к Constant, % | Отношение потока скрытого тепла к Constant, % |
|--|---------------------------|-----------------------------|---|---|
| Среднее/максимум | | | | |
| Constant | 24,9/157,3 | 30,2/147,0 | 100/100 | 100/100 |
| COARE Charnock | 24,5/213,4 | 32,0/201,5 | 98/136 | 106/137 |
| COARE Taylor-Yelland SWAN | 24,3/201,5 | 31,8/190,3 | 98/128 | 105/129 |
| COARE Taylor-Yelland Wave Measurements | 24,8/208,0 | 32,5/197,7 | 100/132 | 108/134 |

Анализ временных рядов показал, что по данным МЛСП D6 относительная доля дисперсии КП в общую дисперсию ИР для потоков тепла (Q_{IP} , Q_E и Q) составляет ~62–64%, а доля ДП соответствен-

но – 36–38% (табл. 3). При этом наибольшие вклады в дисперсию исходного ряда вносят СИ (~45–47%) и СезХ (~36–38%), а наименьший вклад приходится на СХ (0,5–0,7%). На станции Аркона оценки дисперсии

схожи с оценками для МЛСП D6, однако вклад СИ меньше, чем вклад СезХ для потоков явного тепла, а для потоков скрытого тепла, наоборот, преобладает вклад СИ. На станции Дарский порог для потоков явного тепла преобладает сезонная изменчивость (51%), а для потоков скрытого тепла – синоптическая (56%).

Вклад суточной компоненты в потоках тепла Q_H , Q_E и Q ($\leq 1\%$) довольно мал относительно дисперсии всего годового ряда, что согласуется с подобным анализом для других метеорологических параметров в этом районе – температуры, давления, скорости ветра [Дубравин, 2014]. Однако в летние месяцы на масштабах синоптического периода суточный ход гидрометеорологических характеристик и, следовательно, потоков тепла может иметь значительное влияние [Мысленков и др., 2017].

Следует отметить, что данные таблицы 3 подтверждают вывод, сделанный в [Лаппо и др., 1990;

Дубравин, 2014], о том, что структура временных рядов (включая суточную составляющую) для гидрометеорологических параметров, в том числе и в южной части Балтики, зависит как от характера самого параметра, так и от местоположения.

Среднегодовые аномалии регулярного суточного хода потоков тепла в районе МЛСП D6 представлены на рис. 5. Для всех потоков тепла на D6 максимум аномалии в суточном ходе наступает ночью – в 4 часа, а минимум – в 15 часов; фаза роста наступает в 11 часов, фаза падения – в 13 часов; размах суточных колебаний меняется от 7,8–8,0 Вт/м² для Q_H и Q_E до 15,8 Вт/м² для Q . На станциях Аркона и Дарский порог для всех потоков тепла максимум аномалий наступает между 02 и 06 часами, а минимум – между 10 и 23 часами; размах суточных колебаний для Q_H – 6,1–9,4 Вт/м², для Q_E – 2,9–3,4 Вт/м² и для Q – 6,9–10,5 Вт/м².

Таблица 3

Дисперсия (Вт²/м⁴) и относительная доля (%) дисперсии потоков явного Q_H , скрытого Q_E и суммарного Q тепла (по методике Constant) вблизи МЛСП D6 и на станциях Аркона и Дарский порог за 2016 г.

| Элемент | Дисперсия | | | | |
|-----------------|-----------|------------------|-------|--------|----------------|
| | Общая | Короткопериодная | | | Долгопериодная |
| | | СХ | ВСИ | СИ | |
| СезХ | | | | | |
| МЛСП D6 | | | | | |
| Q_{HP} Вт²/м⁴ | 1201,2 | 6,6 | 172,5 | 565,1 | 457,0 |
| Q_{HP} % | 100 | 0,6 | 14,4 | 47,0 | 38,0 |
| Q_E Вт²/м⁴ | 1174,9 | 8,0 | 212,3 | 527,2 | 427,4 |
| Q_E % | 100 | 0,7 | 18,1 | 44,8 | 36,4 |
| Q Вт²/м⁴ | 4436,5 | 27,5 | 708,4 | 2044,9 | 1655,7 |
| Q % | 100 | 0,6 | 16,0 | 46,1 | 37,3 |
| Аркона | | | | | |
| Q_{HP} Вт²/м⁴ | 1371,5 | 4,5 | 131,5 | 555,0 | 680,5 |
| Q_{HP} % | 100 | 0,3 | 9,6 | 40,5 | 49,6 |
| Q_E Вт²/м⁴ | 2773,5 | 0,6 | 393,8 | 1365,7 | 1013,4 |
| Q_E % | 100 | 0,02 | 14,2 | 49,3 | 36,5 |
| Q Вт²/м⁴ | 7194,6 | 5,9 | 779,2 | 3224,7 | 3184,8 |
| Q % | 100 | 0,1 | 10,8 | 44,8 | 44,3 |
| Дарский порог | | | | | |
| Q_{HP} Вт²/м⁴ | 1466,6 | 10,2 | 155,0 | 555,1 | 746,3 |
| Q_{HP} % | 100 | 0,7 | 10,6 | 37,8 | 50,9 |
| Q_E Вт²/м⁴ | 2981,5 | 1,1 | 447,9 | 1665,9 | 866,6 |
| Q_E % | 100 | 0,04 | 15,0 | 55,9 | 29,1 |
| Q Вт²/м⁴ | 7341,2 | 10,5 | 880,7 | 3657,8 | 2792,2 |
| Q % | 100 | 0,1 | 12,0 | 49,9 | 38,0 |

Примечание. Короткопериодной (регулярного суточного хода – СХ, нерегулярной внутрисуточной – ВСИ и синоптической – СИ составляющих) и долгопериодной (регулярного сезонного хода – СезХ).

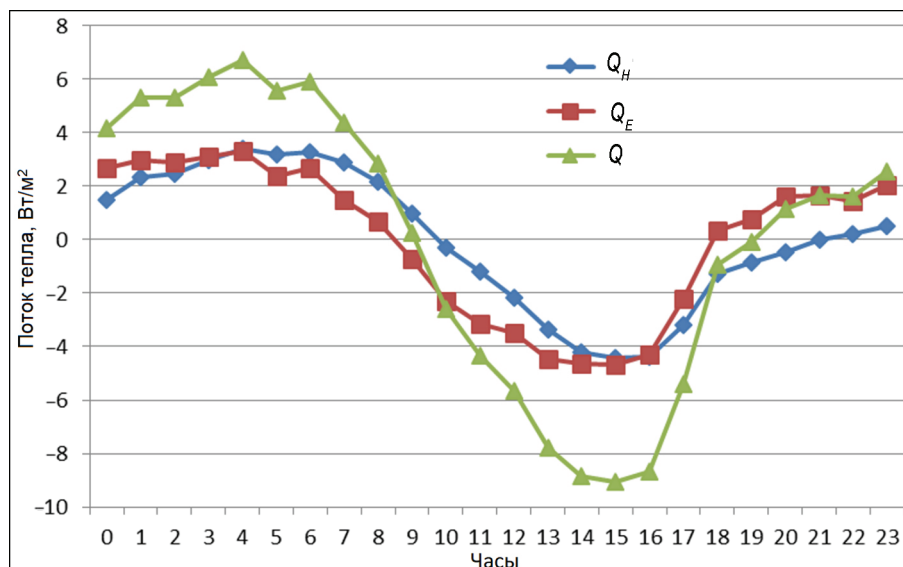


Рис. 5. Осредненные за 2016 г. аномалии регулярного суточного хода потоков явного, скрытого и суммарного тепла (Вт/м^2) на платформе D6

Fig. 5. Average anomalies of the regular diurnal cycle of sensible, latent and total heat flux (W/m^2) on the D6 platform for 2016

В таблице 4 представлены гармонические постоянные среднегодового и внутригодового (среднемесячного) суточного хода для потоков тепла Q_H , Q_E и Q на станциях МЛСП Д6, Аркона и Дарский порог. В районе платформы Д6 средний за 2016 г. суточный ход всех потоков тепла характеризуется преобладанием суточной волны, с квотой (вклад в общую дисперсию) суточной гармоникой ($q_I = 0,90\text{--}0,92$). Вклад в СХ всех потоков тепла полусуточной гармоникой не превышает 0,07. На станциях Аркона и Дарский порог только для потоков Q_H и Q характерно преобладание суточной гармоникой в среднегодовом суточном ходе ($q_I = 0,86\text{--}0,96$), при вкладе полусуточной – $q_{II} = 0,03\text{--}0,07$. Для Q_E , наоборот, преобладает полусуточная гармоника $q_{II} = 0,45\text{--}0,64$, при снижении вклада суточной до $q_I = 0,01\text{--}0,15$.

Для всех потоков на Д6 и для Q_H и Q на станциях Аркона и Дарский порог амплитуды суточной гармоникой составляет $A_I = 2,8\text{--}7,0 \text{ Вт/м}^2$, а для Q_E на станциях Аркона и Дарский порог амплитуды суточной гармоникой снижается до $A_I = 0,2\text{--}0,4 \text{ Вт/м}^2$, при амплитудах полусуточной волны на всех станциях для Q_H и Q_E – $A_{II} = 0,7\text{--}1,2 \text{ Вт/м}^2$, а для Q – $A_{II} = 0,8\text{--}1,9 \text{ Вт/м}^2$.

Для всех потоков на МЛСП Д6 и для Q_H и Q на станциях Аркона и Дарский порог соотношения амплитуд суточной к полусуточной составляет $A_I/A_{II} = 3,5\text{--}5,7$, а для Q_E на станциях Аркона и Дарский порог соотношения амплитуд снижается до $A_I/A_{II} = 0,1\text{--}0,6$.

Что касается внутригодовой изменчивости гармоник суточного хода потоков Q_H , Q_E и Q , то общие

закономерности для всех гармоник потоков тепла не наблюдаются. Однако можно отметить, что на всех станциях для всех потоков минимальные величины амплитуды суточной волны A_I отмечаются в феврале – апреле, за исключением Q на станции Аркона, для которой минимум A_I наступает в октябре, а максимальные величины амплитуды суточной волны A_I отмечаются в августе – октябре, за исключением Q_E на Д6, для которой максимум A_I наступает в июне. Или для квоты суточной гармоникой q_I : на Д6 для всех потоков минимальные величины вклада q_I отмечаются в декабре, а максимальные – в феврале и июне; на станции Аркона минимумы вклада для Q_H , Q_E и Q наступают в феврале, июле и октябре соответственно, а максимумы – в июле – августе; на станции Дарский порог минимумы вклада для Q_H , Q_E и Q наступают в мае, апреле и январе соответственно, а максимумы – в ноябре, октябре и мае (табл. 4).

Далее рассмотрим сезонную изменчивость потоков тепла. Изменение среднемесячных значений потоков представлено на рис. 6. На всех станциях максимальные значения потоков тепла наблюдаются в январе или октябре, а минимальные – в марте, мае или июне. При этом для потоков явного и скрытого тепла наибольшие значения наблюдаются на станции Дарский порог в январе ($Q_H = 87,8 \text{ Вт/м}^2$) и октябре ($Q_E = 93,6 \text{ Вт/м}^2$), а наименьшие – на МЛСП Д6 в июне ($Q_H = -15,0 \text{ Вт/м}^2$) и на станции Аркона в мае ($Q_E = -6,5 \text{ Вт/м}^2$); для потоков суммарного тепла наибольшее значение наблюдается на станции Дарский порог в январе ($Q = 174,3 \text{ Вт/м}^2$), а наименьшее – на Д6 в июне ($Q = -21,2 \text{ Вт/м}^2$).

Таблица 4

Гармонические постоянные суточного хода потоков явного Q_H , скрытого Q_E и суммарного Q тепла ($Вт/м^2$) вблизи МЛСП D6 и на станциях Аркона и Дарский порог, осредненного за 2016 г. (верхняя строка), и размах СХ, осредненного помесечно (нижняя строка)

| Элемент | Гармоники | | | | | | A _I /A _{II} | A ₀ |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------|
| | I (суточная волна) | | | II (полусуточная волна) | | | | |
| | Амплитуда A _I | Фаза _I | Квота _I | Амплитуда A _{II} | Фаза _{II} | Квота _{II} | | |
| D6 | | | | | | | | |
| Q _H (1) | 3,5 | 36,5 | 0,92 | 0,9 | −135,3 | 0,06 | 4,0 | 12,9 |
| | 2,0 (II)– 7,8 (X) | −1,4 (IV)– 114,1 (II) | 0,57 (XII)– 0,94 (II) | 0,4 (II)– 2,3 (V) | −179,7 (IV)– 167,9 (IX) | 0,03 (II)– 0,27 (XII) | 1,4 (XII)– 5,6 (II) | |
| Q _E (1) | 3,8 | 64,3 | 0,90 | 1,0 | −126,0 | 0,07 | 3,6 | 23,0 |
| | 1,9 (IV)– 9,1 (VI) | 10,9 (XI)– 139,7 (II) | 0,42 (XII)– 0,1 (II) | 0,2 (II)– 2,5 (IX) | −174,5 (IX)– 168,2 (I) | 0,01 (IX)– 0,24 (XII) | 1,3 (XII)– 11,9 (II) | |
| Q (1) | 7,0 | 51,0 | 0,91 | 1,9 | 130,2 | 0,07 | 3,7 | 35,9 |
| | 4,4 (II)– 15,6 (X) | 16,9 (III)– 126,6 (II) | 0,52 (XII)– 0,92 (VI) | 0,6 (II)– 4,7 (V) | −179,1 (IX)– 158,2 (II) | 0,02 (II)– 0,25 (XII) | 1,4 (XII)– 7,3 (II) | |
| Аркона | | | | | | | | |
| Q _H (1) | 2,8 | 19,6 | 0,93 | 0,7 | −108,1 | 0,05 | 4,3 | 14,3 |
| | 0,5 (II)– 7,9 (VIII) | −152,4 (II)– 60,4 (XI) | 0,05 (II)– 0,97 (VII) | 0,2 (VII)– 3,6 (I) | −158,7 (VII)– 153,3 (V) | 0,004 (VII)– 0,38 (III) | 0,8 (II)– 14,7 (VII) | |
| Q _E (1) | 0,4 | −19,2 | 0,15 | 0,7 | −0,4 | 0,45 | 0,6 | 29,2 |
| | 1,6 (III)– 8,5 (VIII) | −147,2 (XII)– 177,7 (XI) | 0,09 (VII)– 0,86 (VIII) | 0,3 (XII)– 4,7 (VII) | −164,6 (II)– 160,7 (VIII) | 0,62 (VII)– 0,02 (XII) | 0,4 (VII)– 6,4 (XII) | |
| Q (1) | 3,2 | 14,9 | 0,88 | 0,8 | −50,5 | 0,06 | 3,9 | 43,5 |
| | 0,4 (X)– 16,2 (VIII) | −163,7 (X)– 137,9 (XI) | 0,01 (X)– 0,93 (VIII) | 0,6 (V)– 6,9 (I) | −158,7 (II)– 129,5 (VIII) | 0,01 (XII)– 0,59 (X) | 0,1 (X)– 13,0 (V) | |
| Дарский порог | | | | | | | | |
| Q _H (1) | 4,4 | 38,8 | 0,96 | 0,8 | −119,6 | 0,03 | 5,7 | 11,3 |
| | 0,9 (II)– 8,6 (VIII) | −173,1 (II)– 63,0 (IX) | 0,08 (II)– 0,97 (VII) | 0,4 (V)– 2,5 (XI) | −149,7 (V)– 114,8 (VI) | 0,003 (V)– 0,31 (II) | 0,5 (II)– 18,2 (V) | |
| Q _E (1) | 0,2 | −141,4 | 0,01 | 1,2 | −12,0 | 0,64 | 0,1 | 47,7 |
| | 0,6 (IV)– 6,3 (X) | −177,9 (VIII)– 118,2 (V) | 0,07 (IV)– 0,89 (X) | 0,1 (II)– 7,1 (VII) | −129,1 (XI)– 129,7 (II) | 0,003 (II)– 0,61 (VII) | 0,6 (VII)– 16,1 (II) | |
| Q (1) | 4,3 | 38,8 | 0,86 | 1,2 | −49,9 | 0,07 | 3,5 | 59,0 |
| | 2,5 (II)– 12,5 (VII) | −166,5 (X)– 80,1 (VIII) | 0,23 (I)– 0,90 (V) | 0,7 (III)– 8,0 (VII) | −139,7 (X)– 63,7 (VIII) | 0,02 (V)– 0,45 (I) | 0,7 (I)– 7,1 (V) | |

Примечание. Римскими цифрами в скобках отмечен месяц наступления экстремумов соответствующей гармонике СХ потоков тепла Q_H , Q_E и Q .

В таблице 5 представлены гармонические постоянные сезонного хода потоков тепла. Сезонный ход потоков тепла вблизи МЛСП D6 характеризуется преобладанием годовой гармоник: квота составляет 0,76–0,79; амплитуда для Q_E и Q_H – 25,9–26,3 $Вт/м^2$. Дата максимума гармоник сезонного хода – октябрь – ноябрь, полугодовая гармоника выражена слабо. На станциях Аркона и Дарский порог в потоках тепла присутствует в сезонном ходе максимум в январе (на платформе D6 он выражен слабее),

поэтому квота годовой гармоник здесь меньше и составляет ~0,4–0,6. Полугодовая гармоника, также как и на D6, выражена слабо, однако возрастает вклад четвертьгодовой волны на станциях Аркона и Дарский порог до $q_{IV} = 0,13$ –0,14 и $q_{IV} = 0,23$ –0,25 соответственно.

Из-за отсутствия инструментальных измерений потоков тепла на платформе D6 мы не смогли провести валидацию расчетных значений потоков и не можем однозначно утверждать, какой метод

расчета лучше. Основная ценность полученных результатов заключается в том, что приведены возможные разности в потоках, рассчитанных по разным методикам как в ежечасных, так и в среднегодовых значениях, что может быть полезно для решения различных климатических задач. Следует отметить, что представленные в работе [Rutgersson et al., 2001] результаты сопоставления

потоков тепла на острове Готланд, по данным измерений и по результатам моделирования, свидетельствуют о значительном расхождении оценок. Погрешности для средних за период с мая по декабрь 1998 г. значений явного и скрытого тепла составляют около 15 и 30 Вт/м² соответственно, что ставит под сомнение использование модельных расчетов.

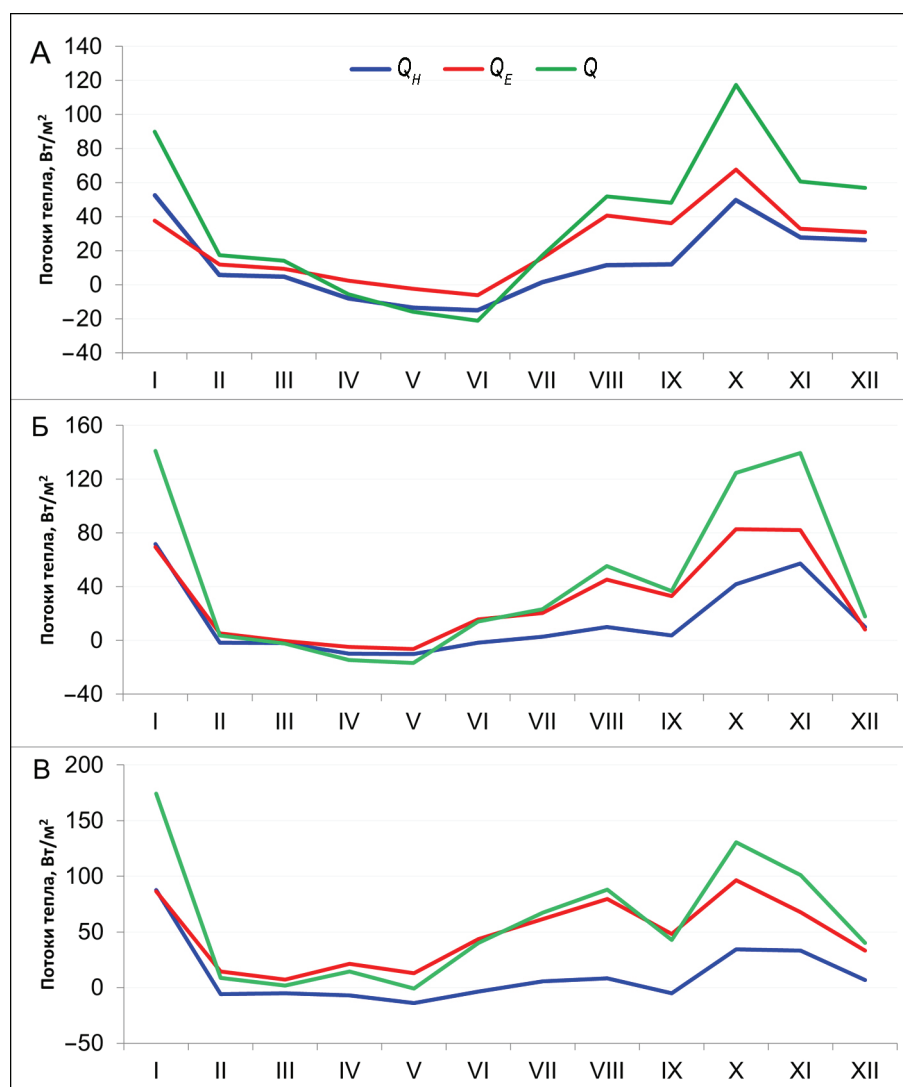


Рис. 6. Сезонный ход потоков явного, скрытого и суммарного тепла (Вт/м²) на платформе D6 (А) и станциях Аркона (Б) и Дарский порог (В) за 2016 г.

Fig. 6. Seasonal variability of sensible, latent and total heat flux (W/m²) on the D6 platform (A) and Arkona (B) and Darss sill (B) stations for 2016

Мы провели сравнение полученных нами данных за 2016 г. с различными климатическими средними величинами потоков тепла. По оценкам для г. Балтийска (Калининградская обл.) по методике С.К. Гулева [Гулев, Украинский, 1989] за период 1867–1955 гг. среднее значение потока явного тепла составляет 21,8 Вт/м², для потока скрытого тепла – 47,2 Вт/м² [Дубравин, 2014]. В этой же работе представлены оценки потоков тепла по данным гидро-

метеорологических элементов за 1951–2000 гг. для 11 морских районов и средние значения Балтийского моря. Для южной части Балтики средние значения потока явного тепла составляют 10,4–17,7 Вт/м², а скрытого тепла – 59,4–62,9 Вт/м², при средних для моря $Q_H = 17,6$ Вт/м² и $Q_E = 57,6$ Вт/м². Сравнение расчетов (см. табл. 1) с климатическими картами потоков тепла [Дубравин, 2014, рис. 21–22], рассчитанными для морских районов, осредненных за

1951–2000 гг., выявило сходство в пространственном распределении потоков (уменьшение потоков явного тепла и увеличение потока скрытого тепла от D6 к Дарскому порогу). Однако абсолютные величины потоков тепла и влаги согласно климатическим картам потоков тепла для морских районов отличаются от потоков за 2016 г. по нашим расчетам,

что объясняется различием методик – для расчета климатических средних потоков тепла использовалась методика С.К. Гулева [Гулев, Украинский, 1989; Лаппо и др., 1990], вводились дополнительные поправки (множители) на пространственно-временное усреднение, для среднего года они: $\xi_H = 1,30$ и $\xi_E = 1,56$.

Таблица 5

Гармонические постоянные сезонного хода потоков явного Q_H , скрытого Q_E и суммарного Q тепла (Вт/м²) вблизи МЛСП D6 и станциях Аркона и Дарский порог за 2016 г.

| Элемент | Гармоники | | | | | | A _I /A _{II} | A ₀ |
|--------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|----------------|
| | I (годовая волна) | | | II (полугодовая волна) | | | | |
| | Амплитуда A _I | Дата _I | Квота _I | Амплитуда A _{II} | Дата _{II} | Квота _{II} | | |
| D6 | | | | | | | | |
| Q _H (1) | 26,3 | 09.11 | 0,76 | 2,2 | 18.01 (18.07) | 0,01 | 12,1 | 12,9 |
| Q _E (1) | 25,9 | 13.10 | 0,79 | 6,7 | 27.02 (27.08) | 0,05 | 3,8 | 23,0 |
| Q(1) | 50,8 | 27.10 | 0,78 | 7,5 | 19.02 (19.08) | 0,02 | 6,8 | 35,9 |
| Аркона | | | | | | | | |
| Q _H (1) | 26,9 | 09.11 | 0,53 | 7,9 | 03.06 (03.12) | 0,05 | 3,4 | 14,3 |
| Q _E (1) | 35,4 | 10.10 | 0,62 | 2,5 | 05.05 (05.11) | 0,003 | 14,3 | 29,2 |
| Q(1) | 60,5 | 23.10 | 0,57 | 9,6 | 27.05 (27.11) | 0,01 | 6,3 | 43,5 |
| Дарский порог | | | | | | | | |
| Q _H (1) | 23,2 | 18.11 | 0,36 | 11,6 | 19.06 (19.12) | 0,09 | 2,0 | 11,3 |
| Q _E (1) | 31,5 | 20.09 | 0,57 | 8,1 | 27.06 (27.12) | 0,04 | 3,9 | 47,7 |
| Q(1) | 48,1 | 15.10 | 0,41 | 19,6 | 22.06 (22.12) | 0,07 | 2,5 | 59,0 |

ВЫВОДЫ

Выполнен анализ турбулентных потоков явного и скрытого тепла за 2016 г. для трех точек в южной части Балтийского моря (юго-восточной часть Балтики, Арконская впадина и Дарский порог) с применением различных методик расчета.

Средние за 2016 г. потоки тепла, рассчитанные по методике Constant, для всех точек составляют для явного тепла 11,3–14,3 Вт/м²; поток скрытого тепла на D6 и в Арконе примерно в 2 раза больше, чем явного, и составляет 23,0–29,2 Вт/м², а на станции Дарский порог поток скрытого тепла в 4 раза больше явного – 47,7 Вт/м². Это говорит о значительных региональных различиях исследуемых параметров в 2016 г., поскольку по данным мониторинговой сети MARNET получены средние за 2003–2016 гг. потоки явного и скрытого тепла на станциях Аркона ($Q_H = 13,1$ и $Q_E = 43,5$ Вт/м²) и Дарский порог ($Q_H = 7,2$ и $Q_E = 36,9$ Вт/м²) с дискретностью 1 час.

При использовании методики с использованием формулы Чарнока для параметра шероховатости по сравнению с методикой Constant величина потока явного тепла увеличивается на 15%, скрытого

тепла – на 6%. Наибольшие различия в величинах потоков, рассчитанных разными методиками, наблюдаются во время сильных штормов и могут превышать 50 Вт/м².

В районе исследований относительная доля дисперсии короткопериодной изменчивости в общую дисперсию исходного ряда для потоков явного тепла возрастает с запада на восток – от 49 до 62%, а для потоков скрытого тепла, наоборот, убывает от 71% на станции Дарский порог до 64% на станции Аркона и МЛСП D6. Доля долгопериодной изменчивости для потоков явного тепла, соответственно, растет с востока на запад – от 38 до 51%, а для потоков скрытого тепла, наоборот, убывает – от 29 до 36%. Наибольший вклад в дисперсию исходного ряда приходится на сезонный ход только для потоков явного тепла на станциях Аркона и Дарский порог – 50–51%, в остальных случаях преобладает доля синоптической изменчивости – 45–56%, а наименьший вклад для всех потоков на всех точках приходится на суточный ход – $\leq 1\%$. Таким образом, результаты дисперсионного анализа подтверждают вывод, что структура временных рядов гидрометеоро-

рологических параметров зависит как от характера самого параметра, так и от его местоположения.

Анализ среднегодовых аномалий регулярного суточного хода показал, что наиболее правильным суточным ходом отличаются все потоки тепла на Д6, для которых максимум аномалии в суточном ходе наступает ночью – в 04 ч, а минимум – в 15 ч; размах суточных колебаний меняется от 7,8–8,0 для Q_H и Q_E до 15,8 Вт/м² для Q . На станциях Аркона и Дарский порог для всех потоков тепла максимум аномалий наступает между 02 и 06 ч, а минимум – между 10 и 23 ч; фаза роста – 3–15 ч., фаза падения – 9–21 ч; размах суточных колебаний для Q_H – 6,1–9,4 Вт/м², для Q_E – 2,9–3,4 Вт/м² и для Q – 6,9–10,5 Вт/м².

В сезонной изменчивости можно отметить высокие значения потоков тепла в январе, октябре и ноябре на всех станциях. Максимальное положительное значение суммарного потока тепла наблюдается в январе на станции Дарский порог и составляет 174 Вт/м². Максимальное значение отрицательного

суммарного потока тепла (–21,2 Вт/м²) наблюдается на МЛСП Д6 в июне.

Основная ценность полученных результатов заключается в региональной детализации оценок потоков явного, скрытого и суммарного тепла, полученных по разным методикам, как с часовым интервалом, так и в средних значениях, что может быть полезно для решения различных климатических задач. Расчеты показали, что большую часть года значения потоков, полученных по разным методикам, – Constant, с использованием формулы Чарнока для параметра шероховатости или параметризации Тэйлора-Йелланда, учитывающей в явном виде влияние высоты волны, – отличаются мало, а основные различия наблюдаются в период штормов. На практике, по крайней мере для Балтийского моря, полученные результаты могут быть использованы для учета возможных расхождений при использовании того или иного метода расчета потоков тепла, с достаточной точностью.

Благодарности. Интерпретация метеоданных выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025) (В.Ф. Дубравин, Ж.И. Стонт). Работа С.А. Мысленкова выполнена за счет гранта РНФ (проект № 24-17-00155), анализ потоков тепла при поддержке темы государственного задания ИФА РАН № 125020501524-9. Авторы благодарны ООО «Морское венчурное бюро» за предоставленные метеоданные, а также ООО «ЛУКОЙЛ-КМН» за возможность установки термокосы и за помощь в организации наблюдения на МЛСП Д6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверкиев А.С., Дубравин В.Ф. Точность расчета испарения при разных периодах осреднения по данным наблюдений в южной Балтике // Гидрометеорология и экология. 2020. № 58. С. 68–82.
- Александров С.В. Влияние климатических изменений на уровень эвтрофирования Куршского залива // Вестник Рос. гос. ун-та им. И. Канта. 2010. Вып. 1. С. 49–57.
- Бортковский Р.С. Расчет турбулентных потоков тепла, влаги и количества движения над морем по данным судовых измерений // Метеорология и гидрология. 1971. № 3. С. 93–98.
- Гулев С.К., Украинский В.В. Роль различных временных масштабов в процессах энергообмена океана и атмосферы // Изв. АН СССР. ФАО. 1989. Т. 25. № 7. С. 675–687.
- Дубравин В.Ф. Эволюции гидрометеорологических полей в Балтийском море. Калининград: Капрос. 2014. 438 с.
- Дубравин В.Ф., Капустина М.В., Стонт Ж.И. Оценки потоков тепла на границе вода–воздух в юго-западной части Балтики (2003–2016) // Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151. № 4. С. 15–26.
- Ефимов В.В., Тимофеев Н.А., Сычев Е.Н. и др. О расчете коэффициентов тепло- и влагообмена между океаном и атмосферой // Изв. АН СССР. ФАО. 1985. Т. 21. № 7. С. 664–667.
- Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе «океан – атмосфера» и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 336 с.
- Мысленков С.А., Кречик В.А., Соловьев Д.М. Анализ температуры воды в прибрежной зоне Балтийского моря по спутниковым данным и измерениям термокосы // Труды Гидрометцентра России. 2017. № 364. С. 159–169.
- Радикевич В.М. О расчете потоков тепла, влаги и количества движения // Океанология. 1970. Т. X. Вып. 5. С. 878–882.
- Руководство по авиационной метеорологии. 2008. Заказ № 8896. 179 с.
- Blanc T.V. Variation of Bulk-Derived Surface Flux, Stability, and Roughness Results Due to the of Different Transfer Coefficient Schemes, *J. Phys. Oceanogr.*, 1985, vol. 15, no. 6, p. 650–669.
- Charnock H. Wind stress on a water surface, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, vol. 81, p. 639–640.
- Cronin M.F., Gentemann C.L., Edson J. et al. Air-Sea Fluxes With a Focus on Heat and Momentum, *Frontiers in Marine Science*, 2019, vol. 6, 450, DOI: 10.3389/fmars.2019.00430.
- Döscher R., Meier H.E. Simulated sea surface temperature and heat fluxes in different climates of the Baltic Sea, *Ambio*, 2004, vol. 33, no. 4/5, p. 242–248.
- Fairall C.W., Bradley E.F., Hare J.E. et al. Bulk Parameterization of Air – Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm, *J. Climate*, 2003, vol. 16, p. 571–591.
- Gulev S., Belyaev K. Probability Distribution Characteristics for Surface Air – Sea Turbulent Heat Fluxes over the Global Ocean, *J. Climate*, 2012, vol. 25, p. 184–206.

- Larsén X., Smedman A., Högström U. Air – sea exchange of sensible heat over the Baltic Sea, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 2006, vol. 130, p. 519–539.
- Meier H.E.M., Döscher R. Simulated water and heat cycles of the Baltic Sea using a 3D coupled atmosphere-ice-ocean model, *Boreal. Env. Res.*, 2002, vol. 7, p. 327–334.
- Myslenkov S.A., Medvedeva A.Yu. Wave energy resources of the Baltic Sea and coastal zone of the Kaliningrad Region, *Fundamental and Applied Hydrophysics*, 2019, vol. 12, no. 2, p. 34–42.
- Myslenkov S., Shestakova A., Chechin D. The impact of sea waves on turbulent heat fluxes in the Barents Sea according to numerical modeling, *Atmos. Chem. Phys.*, 2021, vol. 21, p. 5575–5595.
- Omstedt A. *Baltic Sea marine system: In introduction*, University of Gothenburg, Göteborg, 2009, 37 p.
- Oost W.A., Komen G.J., Jacobs C.M.J. et al. New evidence for a relation between wind stress and wave age from measurements during ASGAMAGE, *Bound. Lay. Meteorol.*, 2002, vol. 103, p. 409–438.
- Rak D., Wieczorek P. Variability of temperature and salinity over the last decade in selected regions of the southern Baltic Sea, *Oceanologia*, 2012, no. 54(3), p. 339–354.
- Rutgersson A., Smedman A., Omstedt A. Measured and simulated latent and sensible heat fluxes at two marine sites in the Baltic Sea, *Boundary-Layer Meteorology*, 2001, vol. 99, p. 53–84.
- State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment*, R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund (eds.), 2008.
- Störmer O. Climate Change Impacts on Coastal Waters of the Baltic Sea, *Global Change and Baltic Coastal Zones*, Dordrecht, 2011, vol. 1, p. 51–69.
- Taylor P.K., Yelland M.J. The Dependence of Sea Surface Roughness on the Height and Steepness of the Waves, *J. Phys. Ocean.*, vol. 31, p. 572–590.

Поступила в редакцию 12.11.2024

После доработки 23.04.2025

Принята к публикации 28.08.2025

TURBULENT HEAT FLUXES IN THE SOUTHERN PART OF THE BALTIC SEA

V.F. Dubravin¹, S.A. Myslenkov², Zh.I. Stont³

^{1,3} Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology;
A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences

¹ Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: v_dubravin@mail.ru

² Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Physics and Mathematics; e-mail: stasocan@gmail.com

³ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ocean_stont@mail.ru

The study deals with the analysis of turbulent heat flux for several sites in the Baltic Sea (D6 platform, Arkona station and Darss Sill station) using various calculation methods. Sensible and latent heat fluxes were calculated using the aerodynamic method, as well as the COARE algorithm with different parameterizations. The calculations were based on data from weather stations, reanalysis, modeling, and measurement of wind wave parameters, as well as measurements of the anchored thermistor chain on the D6 IROP. The study covers the period from January to December 2016. As a result, it was found that when using the COARE method with Charnok parameterization, with constant coefficients of heat and moisture exchange (Constant method), the amount of sensible heat flux increases by 15%, and that of latent heat by 6% as compared to the aerodynamic method. The greatest differences in the flux values calculated by different methods are observed during severe storms with wave heights of more than 3 m and can exceed 50 W/m².

The proportions of daily, synoptic, and seasonal variability, as well as the harmonic parameters of the daily and annual course, were estimated based on the dispersion and harmonic analysis of the heat flux series.

Keywords: ocean-atmosphere interaction, diurnal and seasonal cycle, South-Eastern Baltic Sea, COARE, D6 Platform

Acknowledgements. The interpretation of meteorological data was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for IO RAS (theme no. FMWE-2024-0025) (V.F. Dubravin, Zh.I. Stont). The work of S.A. Myslenkov was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 24-17-00155); heat flux analysis was supported under the state assignment of IAP RAS no. 125020501524-9. The authors are grateful to Sea Venture Bureau LLC for providing meteorological data, as well as to LUKOIL-KMN LLC for the opportunity to install a thermistor chain and the assistance in organizing observations on the D6 IROP.

REFERENCES

- Aleksandrov S.V. Vliyanie klimaticheskikh izmenenii na uroven' evtrofirovaniya Kurshskogo zaliva (The impact of climate change on the level of eutrophication in the Curonian Lagoon), *Vestn. Baltijskogo federal'nogo un-ta im. I. Kanta, Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki*, 2010, no. 1, p. 49–57. (In Russian)
- Averkiev A.S., Dubravin V.F. Tochnost' rascheta ispareniya pri raznykh periodakh osredneniya po dannym nablyudenii v Yuzhnoi Baltike [Calculation accuracy of evaporation at different averaging periods by observation data in the Southern Baltic], *Gidrometeorologiya i Ekologiya*, 2020, no. 58, p. 68–82. (In Russian)
- Blanc T.V. Variation of Bulk-Derived Surface Flux, Stability, and Roughness Results Due to the of Different Transfer Coefficient Schemes, *J. Phys. Oceanogr.*, 1985, vol. 15, no. 6, p. 650–669.
- Bortkovskii R.S. Raschet turbulentnykh potokov tepla, vlagi i kolichestva dvizheniya nad morem po dannym sudovykh izmerenii [Calculation of turbulent heat, moisture and momentum flows over the sea according to ship measurements], *Meteorologiya i gidrologiya*, 1971, no. 3, p. 93–98. (In Russian)
- Charnock H. Wind stress on a water surface, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, vol. 81, 639–640.
- Cronin M.F., Gentemann C.L., Edson J. et al. Air-Sea Fluxes With a Focus on Heat and Momentum, *Front. Mar. Sci.*, 2019, vol. 6, 430.
- Döscher R., Meier H.E. Simulated Sea surface temperature and heat fluxes in different climates of the Baltic Sea, *Ambio*, 2004, vol. 33, no. 4/5, p. 242–248.
- Dubravin V.F. Evolyutsii gidrometeorologicheskikh polei v Baltiskom more [Evolution of hydrometeorological fields in the Baltic Sea], Kaliningrad, Kapros Publ., 2014, 438 p. (In Russian)
- Dubravin V.F., Kapustina M.V., Stont Zh.I. Otsenki potokov tepla na granitse voda-vozdukh v yugo-zapadnoi chasti Baltiki (2003–2016) [Estimates of heat fluxes at the water-air border in the South-Western part of the Baltic Sea (2003–2016)], *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2019, vol. 151, no. 4, p. 15–26. (In Russian)
- Efimov V.V., Timofeev N.A., Sychev E.N. et al. O raschete koeffitsientov teplo- i vlagoobmena mezhdru okeanom i atmosferoi [Estimate of the Ocean-Atmosphere exchange], *Izv. AN SSSR. FAO*, 1985, vol. 21, no. 7, p. 664–667. (In Russian)
- Fairall C.W., Bradley E.F., Hare J.E. et al. Bulk Parameterization of Air – Sea Fluxes: Updates and Verification for the COARE Algorithm, *J. Climate*, 2003, vol. 16, p. 571–591.
- Gulev S., Belyaev K. Probability Distribution Characteristics for Surface Air – Sea Turbulent Heat Fluxes over the Global Ocean, *J. Climate*, 2012, vol. 25, p. 184–206.
- Gulev S.K., Ukrainskii V.V. Rol' razlichnykh vremennykh masshtabov v protsessakh energo-obmena okeana i atmosfery [The role of different time scales in the processes of ocean and atmosphere energy exchange], *Izv. AN SSSR. FAO*, 1989, vol. 25, no. 7, p. 675–687. (In Russian)
- Lappo S.S., Gulev S.K., Rozhdestvenskii A.E. *Krupno-masshtabnoe teplovoe vzaimodejstvie v sisteme okean-atmosfera i energoaktivnye oblasti Mirovogo okeana* [Large-scale thermal interaction within the ocean-atmosphere system and the energy-active areas of the World Ocean], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990, 336 p. (In Russian)
- Larsén X., Smedman A., Höglström U. Air – sea exchange of sensible heat over the Baltic Sea, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 2006, vol. 130, p. 519–539.
- Meier H.E.M., Doscher R. Simulated water and heat cycles of the Baltic Sea using a 3D coupled atmosphere-ice-ocean model, *Boreal. Env. Res.*, 2002, vol. 7, p. 327–334.
- Myslenkov S.A., Medvedeva A.Yu. Wave energy resources of the Baltic Sea and coastal zone of the Kaliningrad Region, *Fundamental and Applied Hydrophysics*, 2019, vol. 12, no. 2, p. 34–42.
- Myslenkov S., Shestakova A., Chechin D. The impact of sea waves on turbulent heat fluxes in e Barents Sea according to numerical modelling, *Atmos. Chem. Phys.*, 2021, vol. 21, p. 5575–5595.
- Myslenkov S.A., Krechik V.A., Solov'ev D.M. Analiz temperatury vody v pribrezhnoi zone Baltiskogo morya po sputnikovym dannym i izmereniyam termokosy [Water temperature analysis in the coastal zone of the Baltic Sea based on thermistor chain measurements and satellite data], *Trudy Gidromettsentra Rossii*, 2017, no. 364, p. 159–169. (In Russian)
- Omstedt A. *Baltic Sea marine system: In introduction*, University of Gothenburg, Göteborg, 2009, 37 p.
- Oost W.A., Komen G.J., Jacobs C.M.J. et al. New evidence for a relation between wind stress and wave age from measurements during ASGAMAGE, *Bound. Lay. Meteorol.*, 2002, vol. 103, p. 409–438.
- Radikevich V.M. O raschete potokov tepla, vlagi i kolichestva dvizheniya [On the calculation of heat, moisture and momentum fluxes], *Okeanologiya*, 1970, vol. x, vyp. 5, p. 878–882. (In Russian)
- Rak D., Wiczorek P. Variability of temperature and salinity over the last decade in selected regions of the southern Baltic Sea, *Oceanologia*, 2012, no. 54(3), p. 339–354.
- Rukovodstvo po aviatsionnoi meteorologii* [Guidance on aeronautical meteorology], 2008, Zakaza no. 8896, ISBN 978-92-9231, 179 p. (In Russian)
- Rutgersson A., Smedman A., Omstedt A. Measured and Simulated Latent and Sensible Heat Fluxes at Two Marine Sites in the Baltic Sea, *Boundary-Layer Meteorology*, 2001, vol. 99, p. 53–84.
- State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005*, A Detailed 50-year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment, Editors, R. Feistel, G. Nausch, N. Wasmund (eds.), 2008.
- Störmer O. Climate Change Impacts on Coastal Waters of the Baltic Sea, *Global Change and Baltic Coastal Zones*, Dordrecht, Springer, 2011, vol. 1, p. 51–69.
- Taylor P.K., Yelland M.J. The Dependence of Sea Surface Roughness on the Height and Steepness of the Waves, *J. Phys. Ocean.*, 31, 572–590.

Received 12.11.2024

Revised 23.04.2025

Accepted 28.08.2025

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ РЕКИ ОКИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Т.А. Трифонова¹, Н.В. Мищенко², П.С. Шутов³, Е.П.Быкова⁴

^{1,4} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения

^{2,3} Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, институт биологии и экологии

¹ Проф., д-р биол. наук; e-mail: tatrifon@mail.ru

² Проф., д-р биол. наук; e-mail: natmich3@mail.ru

³ Мл. науч. сотр.; e-mail: pav.shutov59@mail.ru

⁴ Ст. науч. сотр., канд. биол. наук; e-mail: elebyk2008@rambler.ru

Исследование проведено в бассейне р. Оки, площадью 245 тыс. км². Водосбор расположен в европейской части Российской Федерации и относится к Волжскому бассейну. На основе анализа данных дистанционного зондирования рассматривается динамика почвенно-продукционных процессов и структуры землепользования на его территории. Природный комплекс бассейна р. Оки представляет собой сложную комбинацию различных ландшафтов, каждый из которых характеризуется разнообразным составом геоморфологических и почвенно-растительных структур. Для оценки состояния ландшафтов в качестве ключевых участков выделены водосборные бассейны притоков, полностью входящие в каждый определенный ландшафт. В каждом таком бассейне определена структура землепользования. По данным дистанционного зондирования MODIS primary productivity – v 6.1, в программной среде ArcGis 10.8 в каждом из изучаемых бассейнов произведен расчет показателей фитопродуктивности в углеродных единицах с 2000 по 2015 г. для пика вегетационного сезона (середины июля) в малых (ключевых) речных бассейнах. Проведена оценка запаса органического углерода почвы в целом бассейне Оки. Проанализирована тенденция динамики чистой и валовой первичной продукции, запаса органического углерода почв в ключевых речных бассейнах р. Оки, находящихся в различных ландшафтных провинциях. Установлено, что периоды повышения и снижения продукции в разных ландшафтах, в основном, совпадают, однако размах этих изменений и стабильность показателей продуктивности различаются. Показано, что размер и структура земельных угодий значительно влияют на показатели фитопродукции ландшафтов. Выявлены основные тренды динамики чистой первичной продукции в малых речных бассейнах и в бассейне всей Оки. Показано, что для интегральной оценки обширных речных бассейнов необходимо использовать несколько уровней оценки в зависимости от целей исследования. Первый уровень – оценка параметров функционирования целого бассейна. Второй – анализ «вложенных» ландшафтов и бассейнов, который позволяет учесть разнонаправленные процессы внутри единой водосборной системы. В данном случае предлагается использовать ключевые участки, представленные более мелкими репрезентативными речными бассейнами.

Ключевые слова: ландшафтный подход исследования, данные дистанционного зондирования MODIS, вегетационные индексы, валовая и чистая первичная продукция экосистем, динамика почвенно-продукционных процессов

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.3

ВВЕДЕНИЕ

Продуктивность растительного покрова традиционно считается важнейшей характеристикой состояния и устойчивости экосистем, играющей незаменимую роль в сохранении биоразнообразия. В оценке состояния почвенно-растительного покрова различных территорий широкое применение получили материалы многозональной космической съемки, которые позволяют оперативно оценивать его пространственно-временную динамику и экстраполировать результаты наземных измерений [Золотокрылин и др., 2013; Тишков и др., 2021; Хорошев, 2021].

Большую популярность приобретают модели, позволяющие оценить продуктивность экосистем по ряду индексов, рассчитываемых по дистанционным данным. К наиболее распространенным относятся NDVI – вегетационный индекс, EVI – усовершенствованный вегетационный индекс, LAI – листовой индекс, FPAR – индекс поглощенной фотосинтетической активной радиации. В настоящее время все чаще используются открытые глобальные данные MODIS о валовой первичной продуктивности – GPP, для изучения углеродного цикла, связанного с наземными экосистемами [Hashimoto et al., 2012; Дьяконов и др., 2017;

Zhang, Zeng, 2018; Robinson et al., 2018; Chen et al., 2019; Varghese, Behera, 2019].

Однако, несмотря на многочисленный ряд исследований, отсутствуют общепринятые подходы для оценки, анализа и прогноза биологической продуктивности экосистем. Хотя создана и активно используется обширная база данных биопродукционных характеристик экосистем, полученных наземными методами, их использование не всегда дает сопоставимые результаты при проведении сравнительных оценок различных ландшафтов на протяжении длительного времени [Prince, 2019; Dedeoglu et al., 2020; Васильев, 2020]. Кроме того, получение динамичных рядов наземными методами является очень трудоемким. Использование дистанционных данных в этих случаях является предпочтительным и имеет много преимуществ [Bin et al., 2019; Wang et al., 2020].

Для того чтобы провести комплексную характеристику состояния почвенно-растительного покрова территорий, в исследованиях применяется комплекс углеродных показателей, а также привлекается анализ данных о структуре и особенностях землепользования. Такой набор вполне всеобъемлюще позволяет охарактеризовать устойчивость экосистемы, а также выявить степень антропогенного влияния на территории речного бассейна. Известно, что при определенных почвенно-биоклиматических условиях в течение определенного промежутка времени экосистема способна «самовоспроизводиться», т. е. воспроизводить продукцию – фитомассу [Трифонова, Мищенко, 2013].

В настоящее время чрезвычайно актуальны вопросы функционирования ландшафтов в границах одной или соседствующих природно-климатических зон, отличающихся антропогенной нагрузкой [Vagge, Chiaffarelli, 2023], структурой землепользования [Chen et al., 2023], почвенно-растительным покровом [Герасимова и др., 2014]. Эти характерные черты оказывают влияние на фитопродуктивность и накопление углерода в почве [Nabiollahi et al., 2021]. В связи с этим встает необходимость изучения динамики продукционных процессов, а также причин изменения структуры землепользования, выявляя определяющие их факторы в заданном ландшафте [Menichetti, 2017].

В качестве методов оценки состояния почвенно-растительного покрова и его динамики большое распространение получают методы дистанционного зондирования. Наличие разнообразных баз данных позволяет изучать экосистемы в динамическом развитии с использованием таких показателей, как валовая и чистая продукция, затраты растений на дыхание, динамика углерода и др. [Turner et al., 2006; Werf van der et al., 2009; Wu et al., 2010; Dong et al., 2019]. Актуальным является изучение показателей

продуктивности в углеродных единицах, эти данные широко используются для оценки углеродного баланса и стабильности экосистем. В настоящее время все чаще используются открытые глобальные данные MODIS о валовой первичной продукции (GPP) для изучения углеродного цикла, связанного с наземными экосистемами [Turner et al., 2006; Wu et al., 2010; Liu et al., 2023].

Анализ состояния экосистем и особенностей землепользования целесообразно проводить в различных природно-территориальных комплексах, среди которых важная роль отводится речным бассейнам [Трифонова, 2005].

Интенсивно развивается бассейновый подход при таких исследованиях. Методы статистического анализа наиболее эффективны при применении бассейнового подхода к изучению экосистем, т. к. наряду с зональным типом геопространства бассейн является важной функциональной геоморфологической единицей. Бассейн реки необходимо рассматривать как основную биосферную систему, в пределах которой целесообразно проводить анализ состояния природно-антропогенных экосистем и особенностей землепользования [Трифонова, 2005; Богданова и др., 2016].

Настоящее исследование посвящено оценке показателей фитопродуктивности, структуры землепользования и почвенного углерода в динамике за период с 2000 по 2015 г. в пределах водосбора реки Оки и его малых речных бассейнов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования явился целый водосбор реки Оки, его ландшафтные провинции и малые речные бассейны притоков, расположенные на его территории. Исследование базируется на бассейновом и ландшафтном подходах к районированию территории. Данные подходы основаны на разных принципах и в данном исследовании взаимодополняют друг друга.

В настоящей работе в качестве ключевых участков были определены территории более мелких речных бассейнов, образованных притоками Оки.

Согласно почвенно-ландшафтному районированию Восточно-Европейской равнины, бассейн Оки находится в двух географических поясах (бореальном и суббореальном), двух почвенно-биоклиматических областях и трех почвенно-ландшафтных зонах [National Atlas..., 2011].

Работа выполнена с применением геоинформационного анализа данных дистанционного зондирования и картографической информации о почвенно-растительном покрове.

Векторизация речной сети и определение границ водоразделов проведена на основе цифровой моде-

ли рельефа (ЦМР). Входными данными являлась радарная топографическая съемка Земли – SRTM 30 (Shuttle radar topographic mission).

Типы земельных угодий определены на основе HDF растров за четыре даты: 2001, 2005, 2009, 2017 гг. по открытым данным аппаратуры MODIS. Для более детального анализа структуры землепользования использовалась система деградации земель Trend.Earth (модуль «Наземный покров», European Space Agency, пространственное разрешение данных 100 м).

Запасы органического углерода в почве определены по данным продовольственной организации ООН (ФАО) на основе модуля Trend.Earth ГИС пакета QGIS v. 2.18. Данные генерализированы по структуре всемирной базы данных почвенного покрова SoilGrids Международного информационного центра по почвам на глубине 0–30 см.

Расчет показателей продукции в углеродных единицах основан на данных MODIS GPP/NPP. В ходе расчета баланса углерода получены следующие показатели (для пика вегетационного сезона (середина июля) в период с 2000 по 2015 г.): валовая первичная продукция (gross primary production), гС/м² (GPP); чистая первичная продукция (net primary production), гС/м² (NPP); общие затраты на дыхание автотрофов, гС/м² (RE).

Полученный набор растровых сцен формата HDF обрабатывался инструментами переклассификации и зональной статистики ГИС пакета ArcGis.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Картографирование и анализ ландшафтно-бассейновой структуры бассейна реки Оки. В бассейне Оки выделяется восемь ландшафтных провинций (Волжско-Клязьминская, Клинско-Дмитровская, Смоленско-Московская, Мещера, Среднерусская, Окско-Цнинская, Мокаша-Тешинская, Окско-Донская), характеризующихся разнообразием почвенно-растительного покрова, структурой землепользования, сельскохозяйственной освоенностью.

Определение ключевых речных бассейнов (ключевых участков). В пределах всего бассейна р. Оки были выделены более мелкие бассейны, в пределах которых определено состояние почвенно-растительного покрова. Выбор ключевых участков в виде бассейнов объясняется тем, что, как известно, водосборные бассейны имеют однотипную геоморфологическую структуру, сформированную вокруг определенной системы водотоков. Следовательно, особенности строения и функционирования почвенно-растительного покрова внутри бассейна будут в значительной мере определяться характером ландшафта, в пределах которого сформирован конкретный водосбор.

Выполнено сопоставление границ малых речных бассейнов с ландшафтными провинциями и определены ландшафтно-однородные и ландшафтно-неоднородные малые водосборы. Далее из количества ландшафтно-однородных бассейнов выбраны восемь ключевых бассейнов, репрезентативных для каждой из восьми ландшафтных провинций. Таким образом, каждый ключевой бассейн характеризует наиболее типичные сочетания почвенно-растительных условий, морфологических особенностей и условий землепользования в каждой ландшафтной провинции.

Ключевые речные бассейны соответствуют следующим параметрам:

- 1) каждый бассейн представляет одну из ландшафтных провинций бассейна Оки и полностью расположен на ее территории, т. е. характеризуется ландшафтной однородностью;
- 2) имеют сопоставимые площади;
- 3) участки отличаются структурой землепользования, в том числе площадями, занятыми сельскохозяйственными угодьями.

В границах ключевых бассейнов произведена оценка динамики состояния почвенно-растительного покрова и сельскохозяйственной освоенности (структура землепользования, площади сельскохозяйственных угодий, содержание органического углерода в почве, фитопродукционные процессы).

Расположение ключевых речных бассейнов представлено на карте (рис. 1).

Структура землепользования бассейна Оки. В целом структура землепользования полного бассейна р. Оки сбалансирована по составу различных земель и на 40% составлена лесными землями, а на 50% – пахотными. За период с 2000 по 2015 г. наблюдается положительная динамика лесных земель (рост на 2%) и отрицательная динамика пастбищно-пахотных земель (снижение от –1 до –2%) (рис. 2).

Основная часть лесных массивов сосредоточена в Волжско-Клязьминской и Мещерской провинциях (63–80%).

В таблице 1 показана структура землепользования в пределах ключевых бассейнов. Бассейны, характеризующие Среднерусскую (4), Мокша-Тешинскую (8) и Окско-Донскую (5) ландшафтные провинции, на 72–85% состоят из пахотных угодий (см. табл. 1; рис. 3).

Распределение фитопродуктивности в бассейне Оки в целом и на водосборах, образованных ее притоками. В целом в бассейне р. Оки за период с 2000 по 2015 г. средняя многолетняя величина чистой первичной продукции составила 37 гС/м², а вариабельность показателя средняя ($V = 19\%$). Анализ динамики позволил установить, что на фоне годовых колебаний имеется небольшой положительный

тренд чистой первичной продукции (ЧПП). Валовая первичная продукция характеризуется средним многолетним значением 57 гС/м² и отличается боль-

шей стабильностью (коэффициент вариации 14%), соответственно затраты на дыхание автотрофов уменьшаются (см. рис. 3).

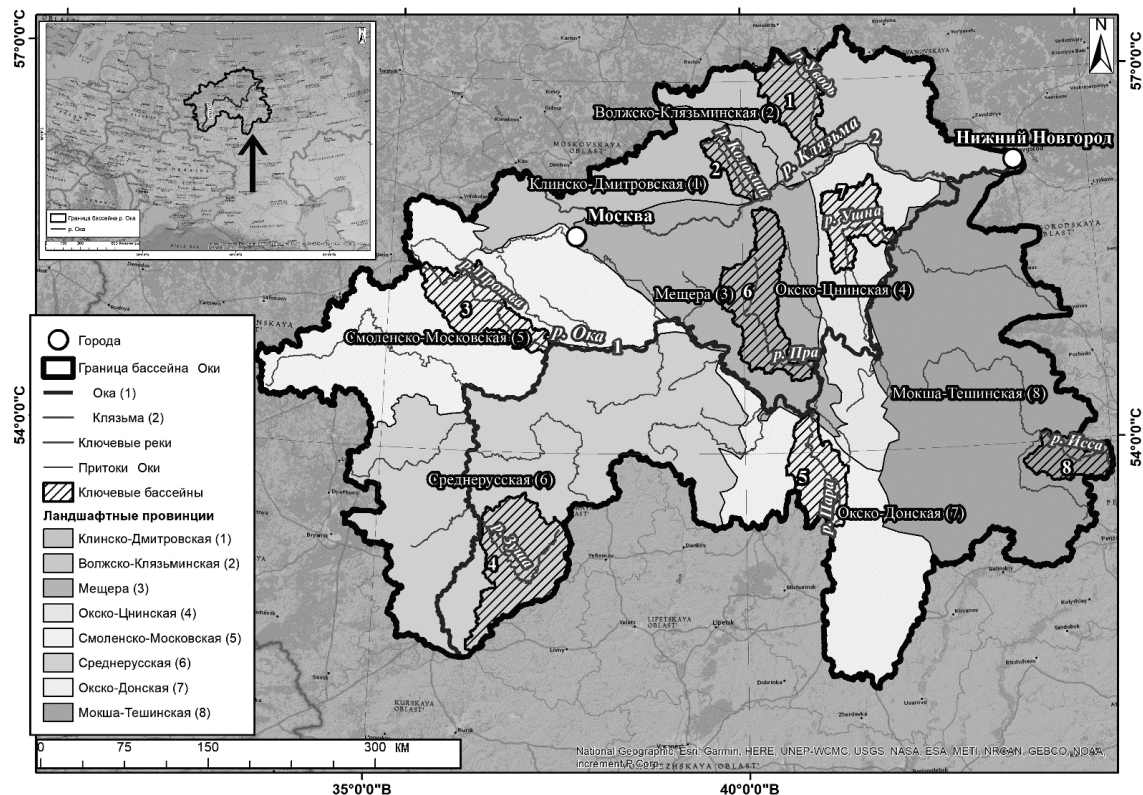


Рис. 1. Ландшафтные провинции и малые ключевые бассейны Оки:
1 – Уводь; 2 – Колокша; 3 – Протва; 4 – Зуша; 5 – Пара; 6 – Пра; 7 – Ушна; 8 – Исса

Fig. 1. Landscape provinces and small key basins within the Oka River catchment area:
1 – Uvod River; 2 – Koloksha River; 3 – Protva River; 4 – Zusha River; 5 – Para River; 6 – Pra River; 7 – Ushna River; 8 – Issa River

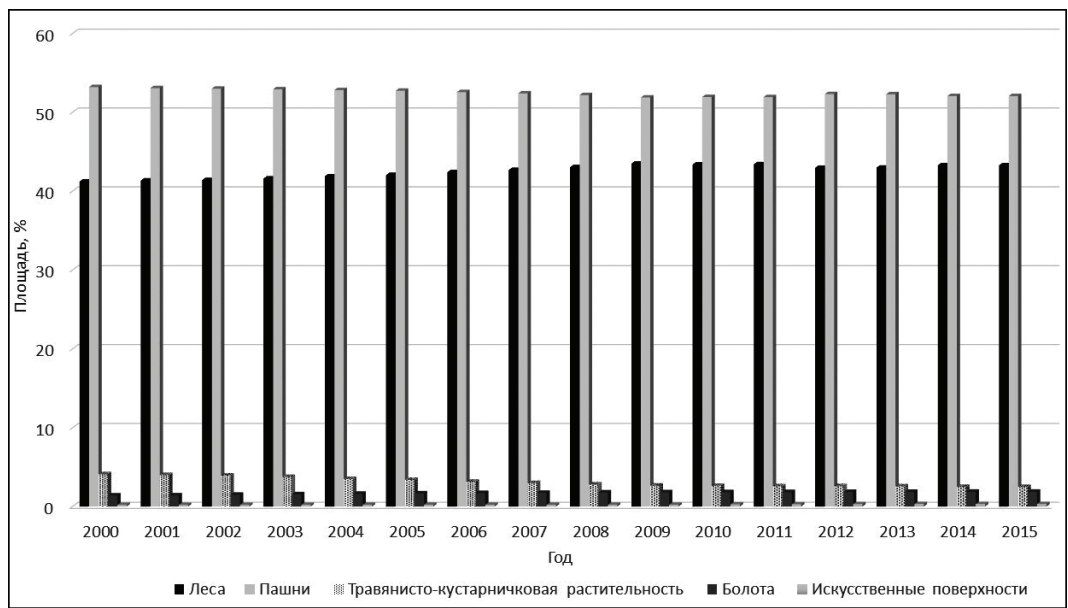


Рис. 2. Динамика структуры землепользования бассейна Оки
Fig. 2. Dynamics of the land use structure in the Oka River catchment area

Таблица 1

Структура землепользования ключевых речных бассейнов (2015)

| Ключевой бассейн | Ландшафтная провинция | Динамика земельных угодий с 2000 по 2015 г., % | Структура землепользования, % | | | | | |
|---|-----------------------|--|-------------------------------|-------|---|--------|-------------------|----------------|
| | | | Лес | Пашня | Травянисто-кустарниковая растительность | Болота | Населенные пункты | Водные объекты |
| Речные бассейны с преобладанием лесных земель | | | | | | | | |
| Увось (1) | Волжско-Клязьминская | Лес 4,9 Пашня –5,9 | 63 | 30 | 5 | 0,4 | 1,4 | 0,7 |
| Пра (6) | Мещерская | Лес –1,5 Пашня 1,9 | 80 | 14 | 2 | 1,0 | 0,3 | 0,0 |
| Протва (3) | Смоленско-Московская | Лес 1,0 Пашня –0,6 | 57 | 34 | 4 | 0,2 | 4 | 0,6 |
| Ушна (7) | Окско-Цнинская | Лес 4,8 Пашня –1,9 | 76 | 23 | 0,9 | 0,4 | 0,4 | 0,1 |
| Речные бассейны с равномерным распределением типов земель | | | | | | | | |
| Колокша (2) | Клинско-Дмитровская | Лес 1,7 Пашня –2,1 | 50 | 45 | 3 | 0,1 | 1,0 | 0,6 |
| Речные бассейны с преобладанием пахотных земель | | | | | | | | |
| Зуша (4) | Среднерусская | Лес 1,5 Пашня –1,6 | 25 | 72 | 2 | 0,0 | 0,7 | 0,2 |
| Исса (8) | Мокша-Тешинская | Лес 1,6 Пашня –1,6 | 13 | 85 | 2 | 0,0 | 0,3 | 0,2 |
| Пара (5) | Окско-Донская | Лес –1,5 Пашня 1,9 | 12 | 85 | 2 | 0,0 | 1,0 | 0,6 |



Рис. 3. Динамика валовой первичной продукции и чистой первичной продукции в бассейне Оки (линии тренда обозначены сплошным цветом без маркеров)

Fig. 3. Dynamics of gross primary production and net primary production in the Oka River catchment area (trend lines are indicated by solid color without markers)

Фитопродукционные процессы ключевых речных бассейнов. Анализ динамики фитопро-
дукционных процессов выполнен для восьми
репрезентативных ключевых речных бассейнов,
расположенных в различных ландшафтных про-
винциях. Графики динамики чистой первичной

продукции с линиями трендов за период с 2000
по 2015 г. для речных бассейнов, наиболее отли-
чающихся по данному показателю, представлены
на рисунке 4, а вариабельность ЧПП и средние
значения продуктивности за анализируемый пе-
риод – в таблице 2.

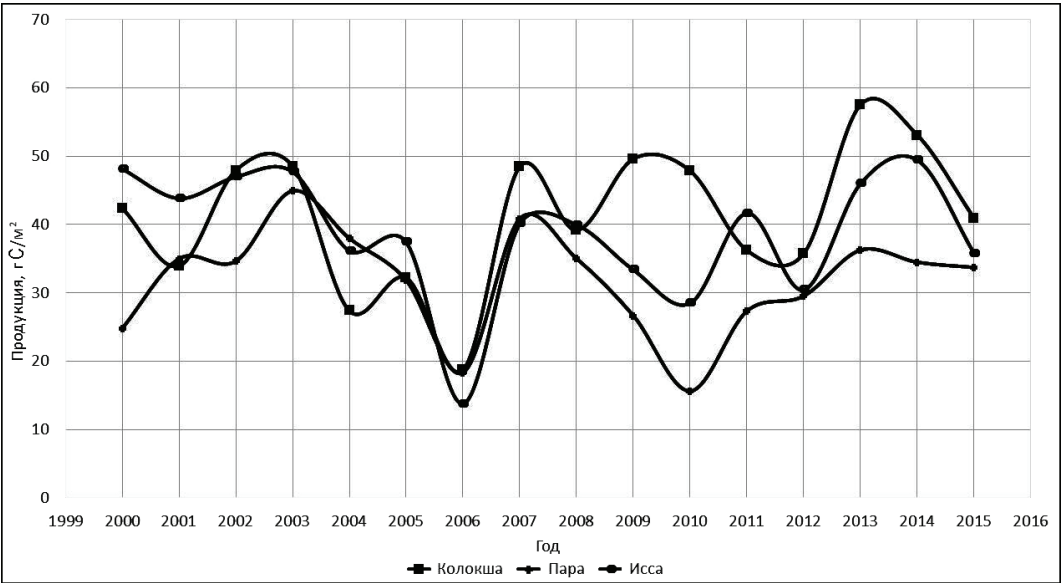


Рис. 4. Динамика чистой первичной продукции ключевых речных бассейнов и бассейна Оки с 2000 по 2015 г.
Fig. 4. Dynamics of net primary production in key river basins and the Oka River catchment area from 2000 to 2015

Таблица 2

Фитопродуктивность бассейна Оки и ключевых речных бассейнов

| Ключевой бассейн | Ландшафтная провинция | Площадь бассейна, км² | Продуктивность, гС/м² | | GPP V, % | NPP V, % |
|------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|----------|----------|
| | | | GPP, $\bar{x} \pm \sigma$ | NPP, $\bar{x} \pm \sigma$ | | |
| 1. Уводь | Волжско-Клязьминская | 3574 | 60,6±10,9 | 37,5±6,5 | 18,1 | 17,4 |
| 2. Колокша | Клинско-Дмитровская | 1525 | 62,8±12,4 | 41,2±10,2 | 19,7 | 24,7 |
| 3. Протва | Смоленско-Московская | 4479 | 63,2±10,9 | 41,2±10,7 | 17,3 | 25,9 |
| 4. Зуша | Среднерусская | 6952 | 57,3±10,5 | 37,6±9,2 | 18,3 | 24,5 |
| 5. Пара | Окско-Донская | 3625 | 51,4±8,5 | 31,7±7,7 | 16,5 | 24,4 |
| 6. Пра | Мещера | 5611 | 60,2±9,2 | 38,9±8,7 | 15,3 | 22,2 |
| 7. Ушна | Окско-Цнинская | 3041 | 61,7±9,8 | 41,2±9,5 | 15,9 | 23,0 |
| 8. Исса | Мокша-Тешинская | 2322 | 58,6±10,9 | 38,9±9,5 | 18,7 | 24,5 |
| Бассейн Оки | | 245 590 | 57,0±7,8 | 36,9±6,8 | 14,2 | 18,5 |

Примечание: \bar{x} – среднее арифметическое, σ – стандартное отклонение, V, % – коэффициент вариации.

Высокие значения ЧПП ключевых бассейнов на протяжении всего анализируемого периода (2000–2015) характерны для бассейна Колокши (2), который расположен на территории Клинско-Дмитровской гряды во Владимирском ополье с самыми плодородными в этом регионе экстразональными

серыми лесными почвами. В бассейне Пары (5) Окско-Донской провинции чистая первичная продукция самая низкая, несмотря на нахождение его в зоне плодородных оподзоленных и выщелоченных черноземов и серых лесных почв. В данном случае сказывается нехватка влаги и еще более высокая,

чем в бассейне Колокши (2), сельскохозяйственная освоенность территории. Следовательно, высокий продукционный потенциал серых лесных почв более полно реализуется в северной части бассейна, где эти почвы являются экстразональными (бассейн Колокши, участок 2). Здесь сельскохозяйственная нагрузка меньше, а климатические характеристики более благоприятны, в частности выше коэффициент увлажнения [Гавришев, 2023].

Необходимо отметить, что периоды роста и падения продуктивности в целом бассейне Оки и составляющих ее водосборах имеют различный размах, но в основном совпадают по направлениям, за исключением нескольких лет для бассейнов двух рек – Пары (5) и Иссы (8), в отдельные отрезки времени ход их кривых продуктивности существенно отличается от остальных водосборов. Резкое снижение продуктивности отмечается во всех речных бассейнах в 2006 г., а затем – рост в 2007 г. В 2010 г. происходит снижение ЧПП во всех ключевых бассейнах, но наиболее резкое падение наблюдается в бассейнах Пары (5) и Иссы (8), а в 2011 г. их продуктивность восстанавливается, тогда как в остальных бассейнах продолжает медленно снижаться.

Особенности динамики показателей продуктивности бассейнов этих двух водосборов можно объяснить высокой сельскохозяйственной нагрузкой. Около 85% площадей занято сельскохозяйственными угодьями. На лесную растительность приходятся небольшие площади. Именно антропогенная нагрузка оказывает доминирующее влияние на динамику продуктивности этих бассейнов, делая ее отличной от других бассейнов в отдельные годы.

В ключевых бассейнах, где сельскохозяйственная нагрузка средняя или невысокая, доминирующее влияние на продуктивность растений в первую очередь оказывают естественные факторы, в основном это погодные условия, изменяющиеся по годам, а также сам характер растительности.

Таким образом, в основном ход кривых динамики продуктивности речных бассейнов по годам совпадает и в целом соответствует аналогичным кривым для целого бассейна Оки. Но ежегодные изменения анализируемых показателей, являющиеся кратковременными, могут в итоге приводить к различным долгосрочным трендам динамики. Их анализ выполнен на следующем этапе работы.

Несмотря на отсутствие выраженного тренда в динамике показателей продуктивности всего бассейна Оки, в составляющих ее водосборах были выявлены разнонаправленные изменения, имеются речные бассейны как с трендами на рост и снижение ЧПП разной интенсивности, так и относительно стабильные.

Хорошо идентифицируются ключевые речные бассейны с четко выраженными трендами роста

ЧПП – это бассейны рек Протвы (3) и Ушны (7), находящиеся в различных ландшафтных провинциях. Бассейн Протвы (3) расположен в Смоленско-Московской провинции. Бассейн Ушны (7) представляет Окско-Цнинскую провинцию. Динамика продуктивности по годам у них совпадает, показатели продуктивности относительно высокие. В обоих бассейнах и ландшафтах, которые они представляют, преобладающий тип почвы дерново-подзолистый, большие площади заняты лесами.

Негативная долговременная тенденция выраженного снижения чистой продуктивности выявлена в двух ключевых бассейнах. Первый участок (ключевой участок № 8, бассейн Иссы) приурочен к Мокша-Тешинской провинции, где почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами левобережья, а на правобережье преобладают светло-серые и серые лесные почвы. Второй (ключевой участок № 5, бассейн реки Пары) находится в Окско-Донской провинции, где значительные площади заняты черноземами. Таким образом, оба речных бассейна характеризуются преобладанием в почвенном покрове высокоплодородных почв, количество лесов небольшое. Их территория относится к самым сельскохозяйственно освоенным в регионе, показатели образования ЧПП низкие, тренды динамики указывают на то, что падение продуктивности будет продолжаться, чего нет ни в одном другом ключевом бассейне. По комплексу параметров можно сделать вывод, что в бассейнах рек Иссы (8) и Пары (5) складывается наиболее неблагоприятная экологическая ситуация. Антропогенная нагрузка на эти бассейны превысила максимально допустимую, о чем свидетельствуют тренды на снижение продуктивности в период 2000–2015 г. Но в бассейне реки Пары (участок 5) базовый уровень чистой первичной продукции ниже, чем в ключевом бассейне Иссы, и самый низкий среди анализируемых. Следовательно, именно на ключевом участке 5 складывается самая опасная экологическая ситуация.

В остальных ключевых бассейнах показатели чистой первичной продукции имеют линии трендов, направленные на незначительное повышение или близкие к нулевым, что свидетельствует о нормальном протекании фитопродукционных процессов.

Проведено сравнение стабильности продукционных процессов малых речных бассейнов и экосистемы целого бассейна по полученным значениям вариабельности (см. табл. 2). В крупном речном бассейне реки Оки показатели варьируют меньше, и в целом он оказывается более стабильным. Следовательно, разнонаправленные процессы в различных внутренних бассейнах, отличающихся ландшафтной структурой и сельскохозяйственной освоенностью, в целом бассейне уравниваются.

Анализ содержания почвенного углерода (2000–2015). В бассейне Оки за анализируемый период содержание органического углерода в почве немного увеличилось (на 13 т/км²) (табл. 3).

Органический углерод почвы распределяется неравномерно в ключевых бассейнах различных ландшафтных провинций. В целом в наибольшем количестве речных бассейнов наблюдается положительная динамика почвенного углерода, либо нейтральный баланс (участок 3, бассейн р. Протвы). В бассейне р. Пары (5) Окско-Донской провинции отмечен максимальный положительный прирост почвенного углерода (246 т/км²). В этом бассейне расположены плодородные выщелоченные и типичные черноземы с высоким содержанием гумуса. Но, несмотря на рост показателей почвенного углерода, здесь выявлена тенденция снижения чистой первичной продукции на фоне самых низких ее

значений. Это во многом может быть связано с выносом фитопродукции с сельхозпродукцией (сельскохозяйственная освоенность здесь одна из самых высоких в бассейне Оки), а естественные экосистемы не в состоянии ее восполнить, в результате во всем бассейне снижается анализируемый показатель. Данная тенденция является неблагоприятной для экосистемы бассейна в целом.

В бассейне р. Уводи (1) Волжско-Клязьминской провинции содержание почвенного углерода фиксируется на высоком уровне (235 т/км²) и отмечается его накопление, связанное с увеличением площадей болот и лесов за счет уменьшения пахотных угодий.

Бассейн р. Пры (6) Мещерской ландшафтной провинции характеризуется отрицательной динамикой почвенного углерода (–104 т/км²), что связано с сокращением лесов в результате интенсивной вырубki (см. табл. 1, 3).

Таблица 3

Показатели органического углерода почвы для ключевых бассейнов (2000–2015)

| Ключевой бассейн | Ландшафтная провинция | Баланс органического углерода почв | |
|------------------|-----------------------|------------------------------------|---------------|
| | | $C_{орг}$, т/км ² | Δ , % |
| 1. Уводь | Волжско-Клязьминская | 235,5 | 1,7 (рост) |
| 2. Колокша | Клинско-Дмитровская | 32,3 | 0,2 (рост) |
| 3. Протва | Смоленско-Московская | 5,8 | 0,0 (нулевой) |
| 4. Зуша | Среднерусская | 30,7 | 0,2 (рост) |
| 5. Пара | Окско-Донская | 246,1 | 1,5 (рост) |
| 6. Пра | Мещера | –104,2 | –0,5 (убыль) |
| 7. Ушна | Окско-Цнинская | 117,1 | 0,7 (рост) |
| 8. Исса | Мокша-Тешинская | 41,8 | 0,3 (рост) |
| Бассейн Оки | | 13,1 | 0,1 (рост) |

ВЫВОДЫ

Экосистемные процессы в различных природно-антропогенных ландшафтах бассейна Оки различаются по динамике структуры землепользования, содержанию органического углерода почвы, показателям фитопродуктивности.

В целом в бассейне р. Оки за период с 2000 по 2015 г. средняя многолетняя величина чистой первичной продукции составила 36,9 гС/м², а вариабельность показателя средняя ($V = 19\%$). При этом показатели ЧПП в ключевых бассейнах изменяются от 31,7 и до 41 гС/м². В целом в бассейне Оки выявлено отсутствие выраженного направления в динамике показателя ВПП, небольшой положительный тренд ЧПП. В составляющих ее малых водосборах были установлены разнонаправленные изменения. Долговременные тренды роста чистой первичной продукции имеют место в бассейнах Про-

твы (3) (Смоленско-Московская возвышенность) и Ушны (7) (Окско-Цнинская провинция). Устойчивые тренды на снижение показателя чистой первичной продукции выявлены в бассейнах Иссy (8) и Пары (5), которые объясняются по большей части самими высокими показателями сельскохозяйственной освоенности (85% земель распаханно) и свидетельствуют о неблагоприятной экологической ситуации на данном участке бассейна Оки.

Следовательно, наиболее благоприятные долговременные тенденции для роста продуктивности характерны для бассейна Протвы (3) (Смоленско-Московской провинции), где они соответствуют максимальным в бассейне Оки показателям продуктивности. Основной вклад в продукционный процесс здесь вносят лесные массивы.

Анализ органического углерода почвы не выявил негативных тенденций. В большинстве ключе-

вых бассейнов его содержание стабильно или имеют незначительные изменения. Значимый рост органического углерода почвы отмечен только на самых плодородных в регионе выщелоченных и типичных черноземах ключевого бассейна р. Пары (5) и в бассейне р. Уводи (1), где его рост обеспечивают увеличивающиеся площади лесных земель и болот. На примере ключевых бассейнов показано, что периоды повышения и снижения продуктивности в разных ландшафтах в основном совпадают. Однако размах этих изменений по годам различен. Выявленные кратковременные колебания показателей продуктивности формируют в итоге различные долговременные тренды динамики. Характер землепользования часто является главенствующим фактором при формировании почвенно-продукционного потенциала территории и его долговременных трендов.

Самая нестабильная и напряженная ситуация складывается в бассейне р. Пары (5), который представляет Окско-Донскую провинцию. Плодородные черноземы обеспечивают здесь рост органического углерода почвы, но по причине чрезмерной сельскохозяйственной нагрузки чистая первичная продукция экосистемы целого бассейна самая низкая и имеет выраженный тренд на снижение.

Различные бассейны, образованные притоками р. Оки, имеют принципиально одинаковую геоморфологическую структурную организацию, но с точки зрения продукционных процессов различаются, что определяется в первую очередь ландшафтной принадлежностью. В результате в малых речных бассейнах различных ландшафтных провинций от-

мечаются как общие закономерности динамики фитопродуктивных процессов, так и различия. Однако в границах крупного водосборного бассейна Оки как единой экосистемы эти различия нивелируют, что свидетельствует о том, что масштаб исследования влияет на точность и достоверность получаемых результатов. Недостаточная продуктивность одних территорий компенсируется ростом продуктивности соседних, следовательно, сохранение ландшафтного разнообразия является необходимым условием сохранения стабильности функционирования водосборного бассейна р. Оки.

В дальнейшем предполагается продолжить исследование в направлении выявления взаимосвязей продукционных процессов с гидрографическими параметрами и динамикой погодных условий. Полученные результаты позволят акцентировать внимание на локализации негативных процессов при организации экологического мониторинга.

Предложено для интегральной оценки почвенно-растительного покрова бассейна Оки по дистанционным данным использовать несколько уровней оценки в зависимости от целей исследования.

Таким образом, нами показано, что для интегральной оценки обширных речных бассейнов необходимо использовать несколько уровней оценки в зависимости от целей исследования. Первый уровень – оценка параметров функционирования целого бассейна. Второй – анализ «вложенных» ландшафтов и бассейнов, позволяющий учесть разнонаправленные процессы внутри единой системы.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-17-20017, <https://rscf.ru/project/25-17-20017/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богданова М.Д., Герасимова М.И., Горбунова И.А. и др. Ландшафтно-геохимическое исследование бассейна р. Селенги // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 3. С. 82–89.
- Васильев О.Д. Картографирование средообразующих функций лесов и их сравнительный анализ в ландшафтах Московской области // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 6. С. 21–31.
- Герасимова М.И., Касимов Н.С., Горбунова И.А. и др. Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна Селенги // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2014. № 6. С. 66–72.
- Дьяконов К.Н., Байбар А.С., Харитонова Т.И. Внутривековая динамика эффективности использования лесами Мещеры фотосинтетически активной радиации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 5. С. 12–23.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Уланова С.С. и др. Наземные и спутниковые исследования продуктивности пастбищ Республики Калмыкия с различной степенью деградации растительных сообществ // Аридные экосистемы. 2013. № 4(57). С. 31–39.
- Тишков А.А., Белоновская Е.А., Кренке А.Н. и др. Изменения биологической продуктивности наземных экосистем российской Арктики в XXI в. // Арктика: экология и экономика. 2021. № 1(11). С. 30–41.
- Трифонов Т.А., Мищенко Н.В. Почвенно-продукционный потенциал экосистем речных бассейнов на основе наземных и дистанционных данных. М.: ГЕОС, 2013. 272 с.
- Трифонов Т.А. Развитие бассейнового подхода в почвенных и экологических исследованиях // Почвоведение. 2005. № 9. С. 1054–1061.
- Хорошев А.В. Ландшафтные условия стабильности фитопродукционного функционирования в Айтуарской степи (Южный Урал) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 2. С. 82–91, DOI: 911.2(470.56).

- Bin S., Zengyuan L., Wentao G. et al. Identification and assessment of the factors driving vegetation degradation, regeneration in drylands using synthetic high spatiotemporal remote sensing Data – a case study in Zhenglanqi, Inner Mongolia, China, *Ecological Indicators*, 2019, vol. 107, p. 1–16.
- Chen Y., Shen W., Gao S. et al. Estimating deciduous broad-leaf forest gross primary productivity by remote sensing data using a random forest regression model, *Journal of Applied Remote Sensing*, 2019, vol. 13, no. 3, p. 1–17.
- Chen A., Hao Z., Wang R. et al. Cultivated Land Sustainable Use Evaluation from the Perspective of the Water – Land – Energy – Food Nexus: A Case Study of the Major Grain-Producing Regions in Quzhou, China, *Agronomy*, 2023, vol. 13, p. 2362, DOI: 10.3390/agronomy13092362.
- Dedeoglu M., Basayigit L., Yuksel M. et al. Assessment of the vegetation indices on Sentinel-2A images for predicting the soil productivity potential in Bursa, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, vol. 192(1), p. 1–19.
- Dong J., Metternicht G., Hostert P. et al. Remote sensing and geospatial technologies in support of a normative land system science: status and prospects, *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 2019, vol. 38, p. 44–52, DOI: 10.1016/j.cosust.2019.05.003.
- Hashimoto H., Wang W., Milesi C. et al. Exploring simple algorithms for estimating gross primary production in forested areas from satellite data, *Remote Sens.*, 2012, no. 4, p. 303–326.
- Liu W., Yuan Y., Li Y. et al. Net Primary Productivity Estimation Using a Modified MOD17A3 Model in the Three-River Headwaters Region, *Agronomy*, 2023, vol. 13, p. 431, DOI: 10.3390/agronomy13020431.
- Menichetti L. Consequences of planned afforestation versus natural forest regrowth after disturbance for soil C stocks in Eastern European mountains, *Geoderma*, 2017, vol. 297, p. 19–27.
- Nabiollahi K., Shahlaee S., Zahedi S. et al. Land Use and Soil Organic Carbon Stocks – Change Detection over Time Using Digital Soil Assessment: A Case Study from Kamyaran Region, Iran (1988–2018), *Agronomy*, 2021, vol. 11, p. 597, DOI: 10.3390/agronomy11030597.
- National Atlas of Soils of the Russian Federation, Moscow, Astrel, AST Publ., 2011, 632 p.
- Prince S.D. Challenges for remote sensing of the Sustainable Development Goal SDG 15.3.1 productivity indicator, *Remote Sensing of Environment*, 2019, vol. 234, p. 1–7.
- Robinson N.P., Allred B.W., Smith W.K. et al. Terrestrial primary production for the conterminous United States derived from Landsat 30 m and MODIS 250 m, *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2018, vol. 4, no. 3, p. 264–280.
- Turner D.P., Riffs W.D., Cohen W.B. et al. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes, *Remote Sens.*, 2006, vol. 102, p. 282–292, DOI: 10.1016/J.RSE.2006.02.017.
- Vagge I., Chiaffarelli G. Validating the Contribution of Nature-Based Farming Solutions (NBFS) to Agrobiodiversity Values through a Multi-Scale Landscape Approach, *Agronomy*, 2023, vol. 13, 233, DOI: 10.3390/agronomy13010233.
- Varghese R., Behera M.D. Annual and seasonal variations in gross primary productivity across the agro-climatic regions in India, *Environmental monitoring and assessment*, 2019, vol. 191, no. 4, p. 1–19.
- Wang M.M., He G.J., Ishwaran N. et al. Monitoring vegetation dynamics in East Rennell Island World Heritage Site using multi-sensor and multi-temporal remote sensing data, *International Journal of Digital Earth*, 2020, vol. 3, p. 393–409.
- Werf van der G.R., Morton D.C., DeFries R.S. et al. CO₂ emissions from forest loss, *Nature Geosci.*, 2009, vol. 2, p. 737–738, DOI: 10.1038/NCEO671.
- Wu C., Niu Z., Gao S. Gross primary production estimation from MODIS data with vegetation index and photosynthetically active radiation in maize, *J. Geophys. Res.*, 2010, vol. 115, p. 1212–1225, DOI: 10.1029/2009JD013023.
- Zhang M., Zeng Y. Fusion of high spatial and temporal resolution data to estimate vegetation net primary productivity, *Journal of Remote Sensing*, 2018, vol. 22, no. 1, p. 143–152.

Электронный ресурс

Гавришев А.Н. База данных climate-energy // Температура воздуха и характеристики. URL: <https://climate-energy.ru> (дата обращения 02.09.2023).

Поступила в редакцию 15.07.2025

После доработки 10.08.2025

Принята к публикации 28.08.2025

STATE OF THE SOIL AND VEGETATION COVER WITHIN THE OKA RIVER BASIN

T.A. Trifonova¹, N.V. Mishchenko², P.S. Shutov³, E.P. Bykova⁴

^{1,4} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science

^{2,3} Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov, Institute of Biology and Ecology

¹ Prof., D.Sc. in Biology; e-mail: tatrifon@mail.ru

² Prof., D.Sc. in Biology; e-mail: natmich3@mail.ru

³ Junior Scientific Researcher; e-mail: pav.shutov59@mail.ru

⁴ Senior Scientific Researcher; Ph.D. in Biology; e-mail: elebyk2008@rambler.ru

The study was carried out within the Oka River catchment area (245 thousand km²). The catchment area is located in the European part of the Russian Federation and belongs to the Volga River basin. Based on the analysis of remote sensing data, the dynamics of soil production processes and the structure of land use within the basin are considered. Natural complex of the Oka River basin is a complicated mosaic of different landscapes, each having a diverse combination of geomorphologic and soil-vegetation complexes. To assess the state of landscapes, the catchment basins of tributaries, which are completely included in each specific landscape, are identified as key areas and the land use structure is described for each of them. According to Modis primary productivity – v 6.1 data and using the ArcGIS 10.8 software, phytoproductivity indicators (in carbon units) were calculated for each basin for the peak of the growing season (mid-July) during 2000–2015. The organic carbon reserve of the soil in the Oka River basin was evaluated. The trend of the dynamics of net and gross primary production and the reserve of organic carbon of soils is analyzed for the key river basins of the Oka River catchment area located in different landscape provinces. It has been established that the periods of production increase and decrease in different landscapes generally coincide, however, the scope of these changes and the stability of productivity indicators differ. It is shown that the size and structure of land use significantly affect the indicators of phytoproduction of landscapes. The main trends in the dynamics of net primary production in small river basins and the whole Oka River basin have been identified. It is shown that several levels of assessment, depending on the objectives of the study, are necessary for the integral assessment of extensive river basins. The first level is the assessment of the parameters for the functioning of the whole basin. The second level is the analysis of imbedded landscapes and basins, which makes it possible to take into account multi-directional processes within an integral water catchment system. In this case, we propose to consider the key areas which are smaller representative river basins.

Keywords: landscape approach, Modis remote sensing data, vegetation indices, gross and net primary production of ecosystems, dynamics of soil production processes

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 25-17-20017, <https://rscf.ru/project/25-17-20017/>).

REFERENCES

- Bin S., Zengyuan L., Wentao G. et al. Identification and assessment of the factors driving vegetation degradation, regeneration in drylands using synthetic high spatiotemporal remote sensing Data – a case study in Zhenglanqi, Inner Mongolia, China, *Ecological Indicators*, 2019, vol. 107, p. 1–16.
- Bogdanova M.D., Gerasimova M.I., Gorbunova I.A. et al. Landshaftno-geokhimicheskoe issledovanie bassejna r. Selenga [Landscape-geochemical studies in the Selenga River basin], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 3, p. 82–89. (In Russian)
- Chen A., Hao Z., Wang R. et al. Cultivated Land Sustainable Use Evaluation from the Perspective of the Water – Land – Energy – Food Nexus: A Case Study of the Major Grain-Producing Regions in Quzhou, China, *Agronomy*, 2023, vol. 13, p. 2362, <https://doi.org/10.3390/agronomy13092362>.
- Chen Y., Shen W., Gao S. et al. Estimating deciduous broad-leaf forest gross primary productivity by remote sensing data using a random forest regression model, *Journal of Applied Remote Sensing*, 2019, vol. 13, no. 3, p. 1–17.
- Dedeoglu M., Basayigit L., Yuksel M. et al. Assessment of the vegetation indices on Sentinel-2A images for predicting the soil productivity potential in Bursa, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, vol. 192(1), p. 1–19.
- Diakonov K.N., Bajbar A.S., Kharitonova T.I. Vnutrivenkova dinamika effektivnosti ispol'zovaniya lesami Meshcheri fotosinteticheski aktivnoj radiacii [Interdecadal dynamics of the efficiency of photosynthetically active radiation utilization in the forests of Meschera], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 5, p. 12–23. (In Russian)
- Dong J., Metternicht G., Hostert P. et al. Remote sensing and geospatial technologies in support of a normative land system science: status and prospects, *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 2019, vol. 38, p. 44–52, DOI: 10.1016/j.co-sust.2019.05.003.

- Gerasimova M.I., Kasimov N.S., Gorbunova I.A. et al. Landshaftno-geokhimicheskoe rajonirovanie bassejna Selengi [Landscape-geochemical regionalization of the Selenga River basin], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2014, no. 6, p. 66–72. (In Russian)
- Hashimoto H., Wang W., Milesi C. et al. Exploring simple algorithms for estimating gross primary production in forested areas from satellite data, *Remote Sens.*, 2012, no. 4, p. 303–326.
- Khoroshev A.V. Landshaftnye usloviya stabil'nosti fito-produktsionnogo funktsionirovaniya v Ajtuarskoj stepi (Yuzhnyj Ural) [Landscape conditions of stable phyto-production in the Aituar steppe (the Southern Urals)], *Lomonosov Geography Journal*, 2021, no. 2, p. 82–91, DOI: 911.2(470.56). (In Russian)
- Liu W., Yuan Y., Li Y. et al. Net Primary Productivity Estimation Using a Modified MOD17A3 Model in the Three-River Headwaters Region, *Agronomy*, 2023, vol. 13, p. 431, DOI: 10.3390/agronomy13020431.
- Menichetti L. Consequences of planned afforestation versus natural forest regrowth after disturbance for soil C stocks in Eastern European mountains, *Geoderma*, 2017, vol. 297, p. 19–27.
- Nabiollahi K., Shahlaee S., Zahedi S. et al. Land Use and Soil Organic Carbon Stocks – Change Detection over Time Using Digital Soil Assessment: A Case Study from Kamyaran Region, Iran (1988–2018), *Agronomy*, 2021, vol. 11, p. 597, DOI: 10.3390/agronomy11030597.
- National Atlas of Soils of the Russian Federation*, Moscow, Astrel, AST Publ., 2011, 632 p.
- Prince S.D. Challenges for remote sensing of the Sustainable Development Goal SDG 15.3.1 productivity indicator, *Remote Sensing of Environment*, 2019, vol. 234, p. 1–7.
- Robinson N.P., Allred B.W., Smith W.K. et al. Terrestrial primary production for the conterminous United States derived from Landsat 30 m and MODIS 250 m, *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2018, vol. 4, no. 3, p. 264–280.
- Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Krenke A.N. et al. Izmeneniya biologicheskoy produktivnosti nazemnyh ekosistem rossijskoj Arktiki v XXI v. [Changes in the biological productivity of the Russian Arctic land ecosystems in the 21st century], *Arctic: ecology and economics*, 2021, no. 1(11), p. 30–41, DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-31-44. (In Russian)
- Trifonova T.A. Development of a basin approach in pedological and ecological studies, *Eurasian Soil Science*, 2005, no. 9, p. 931–937.
- Trifonova T.A., Mishchenko N.V. *Pochvenno-produktsionnyj potentsial ekosistem rechnyh bassejnov na osnove nazemnyh i distantsionnyh dannyh* [Soil-productive potential of river basin ecosystems based on terrestrial and remote data], Moscow, Geos Publ., 2013, 272 p. (In Russian)
- Turner D.P., Riffs W.D., Cohen W.B. et al. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes, *Remote Sens.*, 2006, vol. 102, p. 282–292, DOI: 10.1016/J.RSE.2006.02.017.
- Vagge I., Chiaffarelli G. Validating the Contribution of Nature-Based Farming Solutions (NBFS) to Agrobiodiversity Values through a Multi-Scale Landscape Approach, *Agronomy*, 2023, 13, 233, DOI: 10.3390/agronomy13010233.
- Varghese R., Behera M.D. Annual and seasonal variations in gross primary productivity across the agro-climatic regions in India, *Environmental monitoring and assessment*, 2019, vol. 191, no. 4, p. 1–19.
- Vasilyev O.D. Kartografirovaniye sredoobrazuyushchih funkciy lesov i ih sravnitel'nyj analiz v landshaftah Moskovskoj oblasti [Mapping of environment-forming functions of forests and their comparative analysis in the landscapes of the Moscow region], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 6, p. 21–31. (In Russian)
- Wang M.M., He G.J., Ishwaran N. et al. Monitoring vegetation dynamics in East Rennell Island World Heritage Site using multi-sensor and multi-temporal remote sensing data, *International Journal of Digital Earth*, 2020, vol. 3, p. 393–409.
- Werf van der G.R., Morton D.C., DeFries R.S. et al. CO₂ emissions from forest loss, *Nature Geosci.*, 2009, vol. 2, p. 737–738, DOI: 10.1038/NCEO671.
- Wu C., Niu Z., Gao S. Gross primary production estimation from MODIS data with vegetation index and photosynthetically active radiation in maize, *J. Geophys. Res.*, 2010, vol. 115, p. 1212–1225, DOI: 10.1029/2009JD013023.
- Zhang M., Zeng Y. Fusion of high spatial and temporal resolution data to estimate vegetation net primary productivity, *Journal of Remote Sensing*, 2018, vol. 22, no. 1, p. 143–152.
- Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Ulanova S.S. et al. Ground-based and satellite investigation of production of pastures in Kalmykia that vary in degree of vegetation degradation, *Arid Ecosystems*, 2013, no. 4(57), p. 212–219, DOI: 10.1134/S2079096113040136.
- Web source*
Gavrishev A.N. Baza dannyh climate-energy [Climate-energy database], Air temperature and characteristics, URL: <https://climate-energy.ru/> (accessed 02.09.2023). (In Russian)

Received 15.07.2025

Revised 10.08.2025

Accepted 28.08.2025

ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 551.79

СУРОЖСКИЙ ЭТАП В ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ИСТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Т.А. Янина¹, В.М. Сорокин², Д.В. Семиколенных³, Б.Ф. Романюк⁴

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра нефтегазовой седиментологии и морской геологии

³Университет Витватерсранда, Йоханнесбург, ЮАР, школа географии, археологии и наук об окружающей среде

⁴Моринжгеология, Рига, Латвия

¹Зав. лабораторией, д-р геогр. наук; e-mail: paleo@inbox.ru

²Проф., д-р геол.-минерал. наук; e-mail: v.sorok@geol.msu.ru

³Постдокторант, канд. геогр. наук; e-mail: daria.semikolennykh@wits.ac.za

⁴Ст. геолог, канд. геол.-минерал. наук; e-mail: geology@inbox.lv

В работе представлены результаты палеогеографического изучения (фациально-литологический, малакофаунистический, радиоуглеродный анализы) кернa трех скважин, пробуренных на черноморском шельфе в 12 км к юго-востоку от м. Железный Рог, подтвердившие существование в позднеплейстоценовой истории Черного моря сурожского трансгрессивного бассейна. Сурожские прибрежные грубозернистые песчано-ракушечные отложения залегают в варьирующем интервале от 9,0–6,0 до 5,2–4,2 м на абс. высоте –26...–30 м. В составе малакофаунистического комплекса как эвригалинные морские, так и солоноватоводные и пресноводные виды, очевидно, унаследованные от завершающей стадии карангатского трансгрессивного бассейна, принявшей сток гирканских вод Каспия, и свидетельствующие о значительно опресненном морском бассейне (не более 12‰). Результаты радиоуглеродного датирования указывают на накопление сурожских отложений в интервале приблизительно 43–32 тыс. лет назад, что отвечает эпохе межстадиального потепления МИС 3. Сурожская трансгрессия Черного моря развивалась синхронно с ранней стадией хвалынской трансгрессии в Каспии. Достоверных свидетельств открытия хвалынского пролива между бассейнами к настоящему времени нет.

Ключевые слова: скважины, биостратиграфия, геохронология, малакофауна, сурожская трансгрессия

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.4

ВВЕДЕНИЕ

В позднеплейстоценовой истории Черного моря большинством исследователей установлены крупные трансгрессивно-регрессивные эпохи: карангатская, новоэвксинская и черноморская [Федоров, 1963, 1978; Мамаладзе, 1975; Димитров, Говберг, 1979; Попов, 1983; Иноземцев и др., 2019; Свиточ и др., 1992, 1998, 2000; Сорокин, 2011; Семиколенных и др., 2023]. Характер перехода от карангатского трансгрессивного бассейна к новоэвксинскому регрессивному является предметом дискуссий. По данным Г.И. Попова [1955, 1957, 1983], в этот период черноморский бассейн пережил еще одну трансгрессию – сурожскую, отложения которой находятся внутри современной акватории моря, датированную радиоуглеродным методом (некали-

брованный возраст) в 33770 ± 170 лет [Попов, Зубаков, 1975].

Сурожские отложения впервые описаны Г.И. Поповым [1955, 1957] в ряде разрезов в долине Западного Маныча: Маныч-Балабино, лиман Харькова, Мечетный лиман. Они охарактеризованы раковинами эвригалинных черноморских видов *Cerastoderma glaucum*, *Parvicardium exiguum*, *Mytilaster lineatus*, *Bittium reticulatum*, *Ecrobia ventrosa*, вместе с которыми встречаются каспийские раннехвалыньские виды *Didacna ebersini*, *D. protracta*, *Monodacna caspia*, *Hypanis plicata*, *Dreissena rostriformis distincta*, *Dr. polymorpha*. Следует отметить, что указанные разрезы были известны давно. Впервые разрезы Мечетного лимана были описаны еще Н.Я. Данилевским [1869]. Обнаружение в них в со-

вместном залегании черноморских и каспийских видов и послужило исследователю доказательством (на тот момент единственным) существования пролива между Каспийским и Черным морями. В дальнейшем разрезы были описаны В.В. Богачевым [1903] и К.И. Лисицыным [1932]; было сделано заключение о возрасте отложений от карангатского [Лисицын, 1932а; Горецкий, 1953] до новоэвксинского [Лисицын, 1932б; Губкин, Варенцов, 1934]. Вслед за Г.И. Поповым сурожский возраст отложений был принят А.А. Свиточем с соавторами [1992, 1998, 2000]. Согласно заключению Т.А. Яниной [2005, 2006], сурожская фауна, описанная Г.И. Поповым [1983] на Западном Маныче, является «сборной» из элементов хвалынской фауны Каспия, находящихся в инситном залегании, и переотложенных раковин из отложений разновозрастных бассейнов. А.А. Свиточ с соавторами [2010] согласился с этим.

Установление сурожских отложений в долине Западного Маныча привело Г.И. Попова [1983] к поискам осадков сурожского бассейна в черноморской котловине. В качестве стратотипа были предложены отложения кос Камышеватской и Долгой на Азове. П.В. Федоровым и А.Р. Гептнером [1959], Л.А. Невесской и Е.Н. Невесским [1961] был доказан голоценовый возраст этих осадков. Террасу Кавказского побережья высотой около 12 м, считавшуюся исследователями [Федоров, 1963; Мамаладзе, 1975] позднекарангатской, А.Б. Островский и др. [1977] предложили отнести к сурожскому бассейну. Позже П.В. Федоров [1978] именно эту террасу рекомендовал считать типичной карангатской. Наиболее вероятным аналогом сурожского горизонта Г.И. Попов [1983] считал отложения, описанные А.Г. Эберзиным [1940] как узунларские, а П.В. Федоровым [1963] как карангатские, у г. Гудаута на высоте 8–10 м над уровнем моря. К завершающей стадии карангатской трансгрессии они отнесены Т.А. Яниной [2012].

Вопрос о сурожском бассейне в позднеплейстоценовой истории Черного моря остается открытым. Задача нашей работы – на основе анализа бурового материала на шельфе Черного моря представить свидетельства существования сурожского трансгрессивного бассейна в истории Черного моря, имевшего место после карангатской трансгрессии и до новоэвксинской регрессии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследований послужил керн скважин, пробуренных на шельфе Черного моря на глубине около 22,5 м в 12 км к юго-востоку от м. Железный Рог (рис. 1). Бурение выполнено ООО «Моринжгеология» под руководством Ю.П. Безродных и Б.Ф. Романюка в ходе инженерно-геологических

изысканий [Безродных и др., 2019; Сорокин и др., 2022]. Нами выполнен комплексный анализ керна (диаметр 10 см) литологическим, малакофаунистическим и геохронологическим (радиоуглеродным) методами.

Литологическое изучение выполнено на кафедре нефтегазовой седиментологии и морской геологии геологического факультета МГУ. Оно включало макроописание керна с визуальным определением его строения, текстурных и вещественных характеристик отложений, а также микроизучение изготовленных шлифов.

Малакофаунистические исследования, включающие регистрирование тафономических особенностей раковинного материала, идентификацию видов, определение количественного состава каждого из них, а также степени их сохранности, проведены в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ. В тексте использована таксономия гастропод по [Wesselingh et al., 2019], двустворчатых моллюсков по [Янина, 2005; Nevesskaja, 2007]. В основе биостратиграфического подразделения осадочной толщи лежат особенности распространения в ней раковин моллюсков как средиземноморских, так и каспийских видов [Методы..., 2010]. Для реконструкции условий среды в бассейне использована опубликованная информация (диапазоны солености, температуры, грунты и глубина) об установленных видах и личные наблюдения за распространением современных моллюсков.

Радиоуглеродное датирование сцинтилляционным методом выполнено в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана Института наук о Земле СПбГУ. Радиоуглеродное AMS-датирование выполнено на ускорителе Tandem в лаборатории iThemba (Йоханнесбург, ЮАР). Калибровка радиоуглеродных данных проводилась в программе OxCal 4.4 [Bronk Ramsey, Lee, 2013] с использованием калибровочной кривой IntCal20 [Reimer et al., 2020].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Скважинами 1–3 вскрыта толща осадков максимальной мощностью 50 м. Осадки неоплейстоцена с глубоким размывом залегают на глинисто-песчаных неогеновых отложениях в интервале до 33 м (рис. 2). Их описание опубликовано [Безродных и др., 2019; Сорокин и др., 2022]. Нижняя часть неоплейстоценовой толщи (слой 9, интервал 32,8–27,0 м) представлена эвксино-узунларскими отложениями конца среднего неоплейстоцена. Выше с размывом залегают толща карангатских осадков

(слои 8–7) мощностью 14 м. В ее основании (27,0–19,0 м) вскрыты относительно глубоководные глины темно-серые, слоистые, с тонкими прослойками песка, содержащего включения раковинного материала, в составе которого преобладают средиземноморские стеногалинные и умеренно стеногалинные виды (*Acanthocardia tuberculata*, *Mytilaster lineatus*, *Cerastoderma glaucum*, *Papillicardium papillosum*, *Mytilus galloprovincialis*, *Flexopecten glaber*, *Polititapes* sp.), давшие основание для заклю-

чения об их карангатском возрасте [Янина и др., 2023]. Они перекрыты (19,0–13,0 м) преимущественно песчаной толщей, на основании содержащейся в ней малакофауны также отнесенной нами к карангатской эпохе. Ее особенностью является включение в верхней части, представляющей переслаивание песчаных и глинистых осадков, раковин каспийских гирканских моллюсков *Didacna cristata*, *Didacna subcatillus* наряду со средиземноморскими карангатскими видами.



Рис. 1. Расположение исследуемых скважин (1–3). В низовьях р. Западного Маныча показаны разрезы: 1 – Маныч-Балабино; 2 – Мечетный лиман; 3 – лиман Харькова

Fig. 1. Location of boreholes studied (1–3). In the lower West Manych River shows the sections: 1 – Manych-Balabino; 2 – Mechetniy liman; 3 – Kharkov liman

Выше залегает регрессивная толща (слои 6 и 5), представленная суглинками с редкими песчаными прослойками (слой 5, интервал 11,0–6,5 м), по простиранию переходящая в глинистые отложения черного и черно-коричневого цветов из-за обилия содержащихся в них растительных остатков и органического вещества, прослойками оторфованные (слой 6, интервал 13,0–9,0 м). Это осадки посткарангатской регрессии, верхняя часть которых имеет AMS ^{14}C датировки 52280 ± 2900 (ИГАН-6518) и 44160 ± 1450 (ИГАН-6519) [Янина и др., 2023].

Над глинистой пачкой (слой 4, с варьирующим интервалом от 9,0–6,0 до 5,2–4,2 м) с глубоким размывом залегают грубозернистые песчано-ракушечные отложения, содержащие многочисленные обломки и целые раковины разной сохранности. Раковины *Cerastoderma glaucum*, *Chamelea gallina*, *Abra segmentum*, *Dreissena polymorpha*, *Ecreobia ventrosa*, *Theodoxus pallasii* имеют хорошую сохранность, раковины *Ostrea edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Flexopecten glaber*, *Spisula subtruncata*, *Polititapes discrepans* несут следы окатанности и представле-

ны преимущественно обломками. Толща отвечает динамичной прибрежной обстановке опресненного морского бассейна, по стратиграфическому положению отвечающего сурожскому.

Залегающая с разрывом выше суглинистая толща (слой 3), очевидно, отвечает новоэвксинскому регрессивному этапу. Перекрывающие ее пески и супеси (слой 2) – предположительно древнечерноморские. Верхняя часть керна мощностью около 1,5 м (слой 1), представленная разнозернистыми песками с многочисленными раковинами черноморских моллюсков, относится к новочерноморскому трансгрессивному бассейну Черного моря.

Остановимся подробнее на отложениях слоя 4. Их особенностью является преобладание детритового компонента, частая послойная цементация, хорошая окатанность гравия и мелкой гальки (рис. 3А). Анализ микростроения шлифов (рис. 3Б) дает представ-

ление о характере цементации осадков. Это биогенно-детритусовый известняк с кальцитовым цементом заполнения пор, местами базальным. Наблюдаются остатки раковин с сохранившейся структурой и перекристаллизованными створками. Часть раковин полностью раскристаллизованы вместе с цементом. В массе породы есть редкие зерна кварца песчаной размерности, оолиты разной степени зрелости, крупные окатанные зерна песчаника (до 2,0–2,5 мм) с кальцитовым, глинисто-карбонатным и железистым цементом. Особенности толщи свидетельствуют о ее накоплении в прибрежной мелководной морской обстановке. Положение осадков в разрезе указывает на низкий уровень морского бассейна (напомним, что глубина моря в месте бурения в среднем 22,5 м), а их стратиграфическое положение между осадками посткарангатской и новоэвксинской регрессий отвечает сурожскому трансгрессивному бассейну.

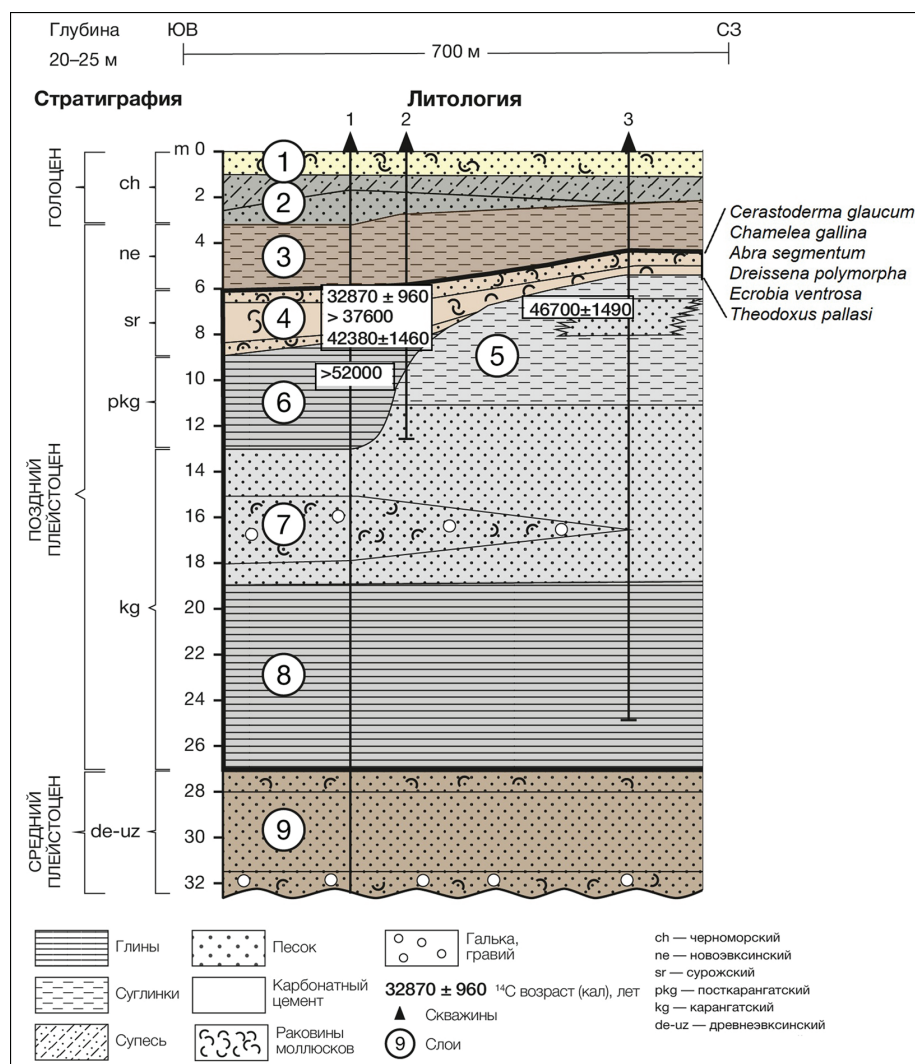


Рис. 2. Разрез четвертичных отложений, вскрытый скважинами 1–3 [Yanina et al., 2025], с результатами малакофаунистического и геохронологического анализов для сурожских отложений

Fig. 2. Boreholes 1–3 general diagram [Yanina et al., 2025] with malacofaunal and geochronological analyses results for Surozhian strata

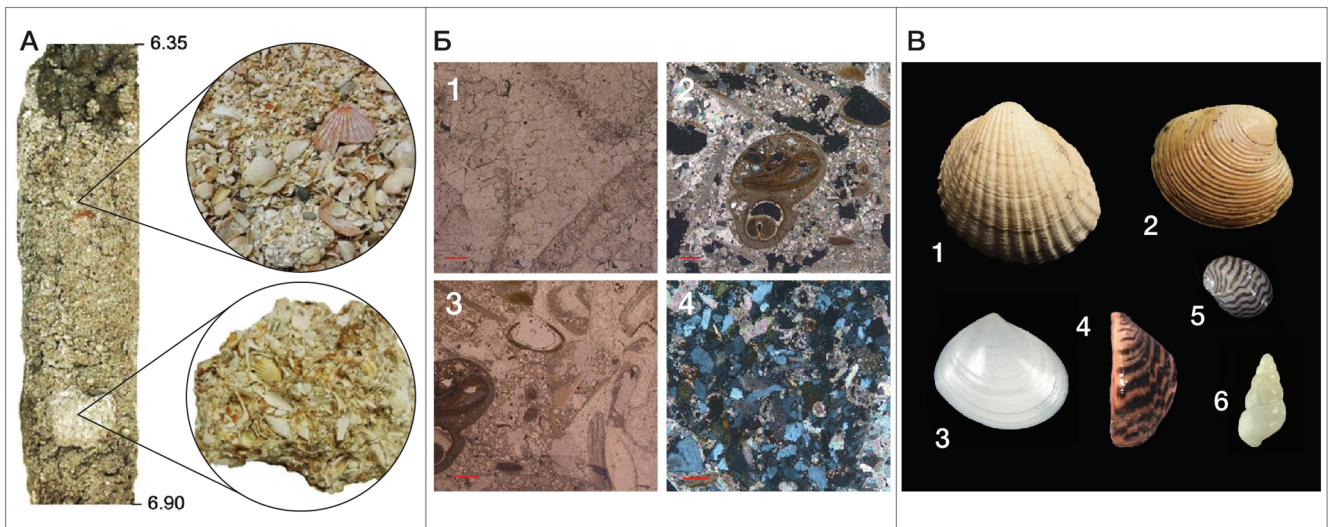


Рис. 3. Сурожские отложения (слой 4), вскрытые скважинами 1–3:

А – фрагмент керна с фауной моллюсков; Б – фотографии тонких шлифов (1–4): 1–2 – фрагменты раковин в кальцитовом цементе; 3 – фрагмент цемента между раковинами; 4 – зерно песчаника в контакте с кальцитовым цементом (масштаб – 100 микрон); В – виды моллюсков в составе сурожского комплекса: 1 – *Cerastoderma glaucum*; 2 – *Chamelea gallina*; 3 – *Abra segmentum*; 4 – *Dreissena polymorpha*; 5 – *Theodoxus pallasi*; 6 – *Ecrobia ventrosa*

Fig. 3. Surozhian deposits (layer 4) opened by boreholes 1–3:

А – Fragment of core with mollusks; Б – Photos of thin grinds (1–4): 1–2 – Fragments of shells in calcite cement; 3 – Fragment of cement between shells; 4 – Grain of sandstone in contact with calcite cement (scale – 100 microns); В – species of Surozhian mollusks: 1 – *Cerastoderma glaucum*; 2 – *Chamelea gallina*; 3 – *Abra segmentum*; 4 – *Dreissena polymorpha*; 5 – *Theodoxus pallasi*; 6 – *Ecrobia ventrosa*

Малакофаунистический материал включает раковины разной сохранности, в его составе много раковин средиземноморских видов со следами переотложения (потертости, окатанность как целых раковин, так и их обломков). В составе раковин хорошей сохранности эвригалинные морские виды *Cerastoderma glaucum*, *Chamelea gallina*, *Abra segmentum* (см. рис. 3В), выдерживающие значительное снижение солености (табл. 1). Наряду с ними многочисленны хорошей сохранности раковины солоноватоводных и пресноводных видов *Dreissena polymorpha*, *Ecrobia ventrosa*, *Theodoxus pallasi*. Состав фауны говорит о значительно опресненном морском бассейне (не более 12‰) с существенным влиянием пресных вод.

Радиоуглеродный возраст образца раковин хорошей сохранности, выполненный сцинтилляционным методом, показал значение 28770 ± 940 лет назад (ЛУ-8837), калиброванный возраст 32870 ± 960 лет назад [Янина и др., 2023]. Из этого же слоя нами получены новые радиоуглеродные датировки AMS-методом (табл. 2), свидетельствующие о накоплении осадков слоя 4 в межстадиальную эпоху, отвечающую МИС 3.

Спад карангатской трансгрессии и начавшееся опреснение бассейна, вызванное прекращением связи со Средиземным морем, повлекли за собой обеднение малакофауны в посткарангатскую регрессию. Данных о таксономическом составе этой

фауны нет. Но очевидно, что стеногалинные и умеренно стеногалинные элементы карангатской малакофауны не могли пережить даже незначительное опреснение регрессирующего бассейна. Материалы палеогеографических исследований в Мраморном море [Çağatay et al., 2009; Büyükeriç et al., 2016; Krijgsman et al., 2019] убедительно свидетельствуют об отсутствии связи между Средиземным и Черным морями в эпоху повышения уровня Мирового океана в межстадиале МИС 3 и о невозможности проникновения в него морской фауны. Очевидно, эвригалинные элементы карангатской фауны пережили посткарангатское опреснение моря и продолжили свое существование в сурожском бассейне. Критическим для них, приведшим к вымиранию, стало опреснение новоэвксинского регрессивного водоема. Солоноватоводные моллюски, мигрировавшие из Каспия в гирканскую эпоху [Семиколеных и др., 2023; Янина и др., 2023; Курбанов и др., 2018], продолжили свое существование в благоприятных для них условиях посткарангатского опресненного регрессивного бассейна и последующей сурожской трансгрессии, не испытавшей влияние средиземноморских вод.

Существуют представления о сбросе вод раннехвалынской трансгрессии Каспия (и с ними солоноватоводных моллюсков) по Манычу в сурожский бассейн Черного моря [Попов, 1983; Федоров, 1978; Сорокин, 2011; Сорокин и др., 2022]. Действитель-

но, синхронно сурожской трансгрессии Черного моря в Каспии развивалась ранняя стадия хвалынской трансгрессии [Безродных и др., 2015; Yanina et al., 2017]. Достоверных свидетельств открытия хвалынского пролива во временном интервале, отвечающем МИС 3, в строении верхнеплейстоценовой толщи Манычской депрессии к настоящему времени нет, вопрос остается открытым.

Анализ опубликованных данных показывает, что осадки посткарангатского трансгрессивного бассейна, достигшего уровня –25...–20 м, обнаружены на черноморском шельфе [Димитров и др., 1979; История геологического развития..., 1988; Куприн, Сорокин, 1982; Щербаков, 1982; Щербаков и др., 1977]. Спорово-пыльцевые спектры указывают на умеренно-теплый климат [Щербаков и др., 1979].

Время существования сурожского бассейна оценивается в 40–25 тыс. лет назад [Щербаков, 1982]. Ю.А. Иноземцевым и др. [2019] описан керн скважины на турецком шельфе в районе Самсуна (глубина моря 135 м), в котором установлен слой глини мощностью до 3,2 м, подстилающих новоэвксинские слои. Отложения содержат преимущественно *Dreissena polymorpha* и мелкие килеватые дидакны, определенные авторами как новый вид *Didacna samsun*. Их возраст уран-иониевым (U/Io) методом определен в интервале 54–32 тыс. лет назад. Залегающие выше с эрозионным контактом новоэвксинские осадки, включающие *Dreissena rostriformis*, датированы радиоуглеродным методом в 18–16 тыс. лет назад. Описанные авторами отложения отнесены к сурожскому бассейну.

Таблица 1

Экологическая характеристика видов в составе сурожской малакофауны

| Вид | Тип фауны | Отношение к солености | Отношение к температуре | Глубина обитания, м |
|---|--|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| <i>Abra segmentum</i> (Récluz, 1843) | Морской средиземноморский | Эвригалинный | Умеренно теплолюбивый | ≤10–12 |
| <i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière, 1789) | Морской средиземноморский | Эвригалинный | Довольно холодолюбивый | ≤10–12 |
| <i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758) | Морской средиземноморский | Эвригалинный | Довольно холодолюбивый | ≤20–22 |
| <i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771) | Пресноводный и солоноватоводный (понто-каспийский) | ≤13‰ | Эвритермный | ≤10 |
| <i>Ecrobia ventrosa</i> (Montagu, 1803) | Солоноватоводный (понто-каспийский) | 6–20‰ | Эвритермный | Мелководье |
| <i>Theodoxus pallasii</i> Lindholm, 1924 | Пресноводный и солоноватоводный (понто-каспийский) | ≤12‰ | Эвритермный | ≤35 |

Источник: [Атлас беспозвоночных..., 1968; Невеская, 1965; Ильина, 1966].

Таблица 2

AMS радиоуглеродные датировки раковин моллюсков из сурожских отложений черноморского шельфа

| Лаб. номер | Местоположение | Материал | $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | Доля современного углерода (pMC) | Радиоуглеродный возраст, лет назад (BP) | Калиброванный возраст, кал. лет назад (cal BP) |
|------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------------|---|--|
| 5179 | Таманский шельф, Скв. 1, слой 4 | <i>Cerastoderma</i> | –4,1 | 0,9±0,27 | 37 800±1800 | 42 380±1460 |
| 5209 | Таманский шельф, Скв. 2, слой 4 | <i>Dreissena</i> | –3,7 | 0,48±0,45 | >37 600 | – |

Причиной сурожской межстадиальной трансгрессии Черного моря, не имеющей связи со Средиземным морем, было увеличение положительной составляющей водного баланса бассейна: увеличение количества осадков как над морем, так и в его водосборном бассейне, связанное со смягчением

климатических условий, таяние мерзлоты в водосборном бассейне, уменьшение испарения. По аналогичному сценарию развивался изолированный Каспий с ранней стадией раннехвалынской трансгрессии в этом же временном интервале [Yanina et al., 2018].

ВЫВОДЫ

Биостратиграфический анализ керна скважин, пробуренных на черноморском шельфе в 12 км к юго-востоку от м. Железный Рог, показал, что в варьирующем интервале от 9,0–6,0 до 5,2–4,2 м залегают грубозернистые песчано-ракушечные отложения, содержащие малакофаунистический комплекс, в составе которого как эвригалинные морские виды *Cerastoderma glaucum*, *Chamelea gallina*, *Abra segmentum*, так и солоноватоводные и пресноводные виды *Dreissena polymorpha*, *Ecrobia ventrosa*, *Theodoxus pallasi*.

Литологические особенности осадочной толщи и ее положение в разрезе свидетельствуют о ее накоплении в прибрежной мелководной морской обстановке бассейна с уровнем на 25–30 м ниже современного; стратиграфическое положение между отложениями посткарангатской и новозвксинской

регрессий отвечает сурожскому трансгрессивному бассейну.

Результаты радиоуглеродного датирования указывают на накопление сурожских отложений в интервале приблизительно 43–32 тыс. лет назад, что отвечает эпохе межстадиального потепления МИС 3.

Состав фауны, очевидно, унаследованный от завершающей стадии карангатского моря, принявшей сток гирканских вод Каспия, свидетельствует о значительно опресненном морском бассейне (не более 12‰) с существенным влиянием пресных вод.

Сурожская трансгрессия Черного моря развивалась синхронно с ранней стадией хвалынской трансгрессии в Каспии. Достоверных свидетельств открытия хвалынского пролива между бассейнами к настоящему времени нет, вопрос остается открытым.

Благодарности. Авторы благодарны научному сотруднику Лаборатории ускорительной спектроскопии iThemba (Йоханнесбург, ЮАР) С. Вудборну за выполненное радиоуглеродное датирование. Работа выполнена в рамках темы ГЗ № 121051100135-0 «Палеогеографические реконструкции природных геосистем и прогнозирование их изменений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас беспозвоночных Каспийского моря. М.: Пищ. промышленность, 1968. 415 с.
- Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М. и др. Стратиграфия верхнечетвертичных отложений участка Таманского шельфа // Геология морей и океанов: материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. 2019. Т. 1. С. 29–33.
- Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф. и др. Новые данные по стратиграфии верхнечетвертичных отложений Северного Каспия // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. № 1. С. 95–99.
- Богачев В.В. Геологические наблюдения в долине Маныча произведенные летом 1903 г. // Изв. Геологического комитета. 1903. Т. 22. № 9. С. 73–162.
- Горецкий Г.И. О палеогеографии Приазовья и Западного Приманья в узунларско-гирканский и буртасский века // Вопросы географии. 1953. Сб. 33. С. 190–221.
- Губкин И.М., Варенцов М.И. Геология нефтяных и газовых месторождений Таманского полуострова. Баку: ОНТИ, 1934. 138 с.
- Данилевский Н.Я. Извлечение из письма о поездке на Маныч // Зап. Русс. геогр. об-ва. Т. 2. 1869. С. 139–180.
- Димитров П.С., Говберг Л.И. Новые данные о плейстоценовых террасах и палеогеография болгарского шельфа Черного моря // Геоморфология. 1979. № 2. С. 81–89.
- Ильина Л.Б. История гастропод Черного моря. М.: Наука, 1966. 228 с.
- Иноземцев Ю.И., Парышев А.А., Ступина Л.В. и др. Палеогеография Азово-Черноморского бассейна в четвертичное время // Геологія і корисні копалини Світового океану. 2019. Т. 15. № 4. С. 36–56.
- История геологического развития континентальной окраины западной части Черного моря / под ред. П.Н. Куприна. М.: МГУ, 1988. 312 с.
- Куприн П.Н., Сорокин В.М. Отражение в разрезе четвертичных осадков изменений уровня Черного моря // Изменения уровня моря. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 21–226.
- Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей А.С. и др. Гирканский этап в позднеплейстоценовой истории Манычской депрессии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 3. С. 77–88.
- Лисицын К.И. Геологический путеводитель по Манычу // Путеводитель экскурсии 2-й Междунар. конф. Ассоц. по изучению четвертичного периода Европы. М.; Л.: Гос. науч.-техн. изд-во, 1932а. С. 130–136.
- Лисицын К.И. К строению долины реки Маныч // Труды 2-й Междунар. конф. Ассоц. по изучению четвертичного периода Европы. М.; Л.: Гос. науч.-техн. изд-во, 1932б. Вып. 3. С. 130–136.
- Мамаладзе Дж.И. Морской плейстоцен Колхиды. Тбилиси: Мецниереба, 1975. 207 с.
- Методы палеогеографических реконструкций / под ред. П.А. Каплина, Т.А. Яниной. М.: Географический факультет МГУ, 2010. 420 с.
- Невесская Л.А. Позднечетвертичные двустворчатые моллюски Черного моря, их систематика и экология. М.: АН СССР, 1965. 392 с.
- Невесская Л.А., Невеский Е.Н. О соотношении карангатских и новозвксинских слоев в прибрежных районах Черного моря // Докл. АН СССР. 1961. Т. 136. № 5. С. 256–261.
- Островский А.Б., Измайлов Я.А., Щеглов А.П. и др. Новые данные о стратиграфии и геохронологии плейсто-

- ценовых морских террас Черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманской области // Палеогеография и отложения плейстоцена южных морей СССР. М.: Наука, 1977. С. 61–68.
- Попов Г.И. История Манычского пролива в связи со стратиграфией черноморских и каспийских отложений // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1955. Т. 20. № 2. С. 31–49.
- Попов Г.И. Сравнительная стратиграфия четвертичных отложений Манычского пролива, Каспия и Эвксина // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1957. С. 65–74.
- Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.
- Попов Г.И., Зубаков В.А. О возрасте сурожской трансгрессии Причерноморья // Колебания уровня Мирового океана в плейстоцене. Л., 1975. С. 113–116.
- Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. Палеогеографические события плейстоцена Понто-Каспия и Средиземноморья (материалы по реконструкции и корреляции). М.: РАСХН, 1998. 288 с.
- Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. Палеогидрология плейстоценовых бассейнов Черного моря // Водные ресурсы. Т. 27. 2000. № 6. С. 655–664.
- Свиточ А.А., Янина Т.А., Менабде И.В. Палеогеография позднего плейстоцена Понто-Каспия // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1992. № 6. С. 68–76.
- Свиточ А.А., Янина Т.А., Новикова Н.Г. и др. Плейстоцен Маныча (вопросы строения и развития). М.: Географический факультет МГУ, 2010. 136 с.
- Семиколенных Д.В., Курбанов Р.Н., Янина Т.А. Ингрессия карангатского моря в Манычскую депрессию (поздний плейстоцен) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 6. С. 96–106.
- Сорокин В.М., Янина Т.А., Романюк Б.Ф. Новые находки карангатских отложений в восточной части Черного моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4: Геология. 2022. № 5. С. 13–20.
- Сорокин В.М. Корреляция верхнечетвертичных отложений и палеогеография Черного и Каспийского морей // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. № 35. С. 96–112.
- Сорокин В.М., Янина Т.А., Лукиш В.Л. О времени последней связи Каспийского и Черного морей в позднем плейстоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 1. С. 75–84.
- Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря. М.: АН СССР, 1963. 164 с.
- Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.
- Федоров П.В., Гептнер А.Р. К стратиграфии четвертичных отложений прибрежной полосы северо-восточного Причерноморья // Труды Геол. ин-та АН СССР. 1959. Вып. 32. С. 143–158.
- Щербаков Ф.А. Колебания уровня Черного моря и их связь с трансгрессиями и регрессиями океана в плейстоцене // Изменения уровня моря. М.: МГУ, 1982. С. 189–194.
- Щербаков Ф.А., Коренева Е.В., Забелина Э.К. Стратиграфия позднечетвертичных отложений Черного моря // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. М.: Наука, 1979. С. 46–51.
- Щербаков Ф.А., Куприн П.Н., Забелина Э.К. и др. Палеогеография Азово-Черноморья в позднем плейстоцене и голоцене // Палеогеография и отложения плейстоцена южных морей СССР. М.: Наука, 1977. С. 51–60.
- Эберзин А.Г. О фаунах из морских террас Абхазии // Бюлл. Комис. по изуч. четвертич. периода. 1940. Вып. 6–7.
- Янина Т.А. Дидакны Понто-Каспия. М.; Смоленск: Маджента, 2005. 300 с.
- Янина Т.А. Депрессия Маныча как область миграций фаун Понто-Каспия в плейстоцене // Геоморфология. 2006. № 4. С. 97–106.
- Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М: Геогр. факультет МГУ, 2012. 264 с.
- Янина Т.А., Сорокин В.М., Семиколенных Д.В. Каспийские моллюски в карангатском бассейне Черного моря (поздний плейстоцен) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 5. С. 20–26.
- Bronk Ramsey C., Lee S. Recent and planned developments of the program OxCal, *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, no. 2–3, p. 720–730.
- Büyükeriç Y., Wesselingh F.P., Alçiçek M.C. Middle-late Pleistocene marine mollusks from Izmit Bay area (eastern Marmara Sea, Turkey) and the nature of Marmara – Black Sea corridors, *Quaternary International*, 2009, vol. 401, p. 153–161.
- Çağatay M.N., Eriş K., Ryan W.B.F. et al. Late Pleistocene – Holocene evolution of the northern shelf of the Sea of Marmara, *Marine Geology*, 2009, vol. 265, no. 3–4, p. 81–100.
- Krijgsman W., Tesakov A., Yanina T. et al. Quaternary time scales for the Pontocaspian domain: interbasinal connectivity and faunal evolution, *Earth-Sci. Rev.*, 2019, no. 188, p. 1–40.
- Neveeskaja L.A. History of the genus Didacna (Bivalvia: Cardiidae), *Paleontological Journal*, 2007, vol. 41, no 9, p. 861–949.
- Neveeskaya L.A., Neveesky E.N. О составе фауны и особенностях развития Азово-Черноморского бассейна в позднечетвертичное время [On the composition of the fauna and features of the development of the Azov-Black Sea basin in Late Quaternary time], *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1961a, vol. 136, no. 5, p. 1193–1196.
- Reimer P., Austin W., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP), *Radiocarbon*, 2020, vol. 62, no. 4, p. 725–757.
- Wesselingh F.P., Neubauer T.A., Anistratenko V.V. et al. Mollusk species from the Pontocaspian region – an expert opinion list, *ZooKeys*, 2019, no. 827, p. 31–124.
- Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu. et al. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data), *Quaternary International*, 2017, vol. 465, p. 130–141.
- Yanina T., Semikolennykh D., Sorokin V. Caspian – Black Sea Connection During MIS 5 (Late Pleistocene): Evidence from Drilling Data, *Earth Systems and Environment*, 2025, DOI: 10.1007/s41748-025-00596-0.

Поступила в редакцию 21.06.2025
После доработки 10.07.2025
Принята к публикации 28.08.2025

THE SUROZHIAN EPOCH IN THE LATE PLEISTOCENE HISTORY OF THE BLACK SEA

T.A. Yanina¹, V.M. Sorokin², D.V. Semikolennykh³, B.F. Romanyuk⁴

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Recent Deposits and Pleistocene Paleogeography

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Department of Oil and Gas Sedimentology and Marine Geology

³ University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, School of Geography, Archaeology and Environmental Studies

⁴ Morinzhegeologiya LLC, Riga, Latvia

¹ Head of the Laboratory, D.Sc. in Geography; e-mail: paleo@inbox.ru

² Professor, D.Sc. in Geology; e-mail: v.sorok@geol.msu.ru

³ Postdoctoral Research Fellow, Ph.D. in Geography; e-mail: daria.semikolennykh@wits.ac.za

⁴ Senior Geologist, Ph.D. in Geology; e-mail: geology@inbox.lv

The paper presents the results of a palaeogeographic study based on facies-lithological, malacofaunal, and radiocarbon analyses of cores from three boreholes from the Black Sea shelf, 12 km southeast of the Zhelezny Rog Cape. The findings confirm the existence of the Surozh transgressive basin in the Late Pleistocene history of the Black Sea. Coarse-grained sand and shell deposits associated with the Surozh coastal facies were identified at varying depths, ranging from 9.0–6.0 to 5.2–4.2 m, at the absolute elevations between –26 and –30 m. The malacofaunal assemblage includes euryhaline marine, brackish, and freshwater species, apparently inherited from the final phase of the Karangatian transgression basin, which was influenced by the inflow of Hyrcanian waters of the Caspian Sea. This composition indicates a markedly freshened marine basin, with salinity levels not exceeding 12‰. Radiocarbon dating places the accumulation of the Surozh deposits between approximately 43 and 32 kaBP, corresponding to the interstadial warming of Marine Isotope Stage 3 (MIS3). The Surozh transgression appears to occur synchronously with the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea. However, no definitive evidence currently supports the existence of a Khvalynian Strait connecting the two basins during that time.

Keywords: boreholes, biostratigraphy, geochronology, malakofauna, the Surozhian transgression

Acknowledgements. Authors are grateful to S. Woodborne, Ph.D., Researcher of the iThemba LABS (Johannesburg, South Africa), for radiocarbon dating performed. The study was carried out under the state assignment theme no. 121051100135-0 “Paleogeographical reconstructions of natural geosystems and forecasting of their changes”.

REFERENCES

- Atlas bespozvonochnykh Kaspiyskogo morya* [Atlas of invertebrates of the Caspian Sea], Moscow, Pishevaya promyshlennost' Publ., 1968, 415 p. (In Russian)
- Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F., Deliya S.V. et al. New data on the Upper Quaternary stratigraphy of the North Caspian Sea, *Doklady Earth Sciences*, 2015, vol. 462, no. 1, p. 479–483.
- Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F., Sorokin V.M. et al. [Stratigraphy of the Upper Quaternary deposits of the Taman shelf], *Geologiya morej i okeanov* [Geology of seas and oceans], materialy XXIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Shkoly) po morskoy geologii, 2019, vol. 1, p. 29–33. (In Russian)
- Bogachyov V.V. Geologicheskie nablyudeniya v doline Manycha proizvedennye letom 1903 g. [The geological observations in the Manych River valley during the summer of 1903], *Izvestia Geologicheskogo Komiteta*, 1903, vol. 22, no. 9, p. 73–162. (In Russian)
- Bronk Ramsey C., Lee S. Recent and planned developments of the program OxCal, *Radiocarbon*, 2013, vol. 55, no. 2–3, p. 720–730.
- BüyükmERICİ Y., Wesselingh F.P., Alçiçek M.C. Middle-Late Pleistocene marine molluscs from Izmit Bay area (eastern Marmara Sea, Turkey) and the nature of Marmara – Black Sea corridors, *Quaternary International*, 2009, vol. 401, p. 153–161.
- Çağatay M.N., Eriş K., Ryan W.B.F. et al. Late Pleistocene – Holocene evolution of the northern shelf of the Sea of Marmara, *Marine Geology*, 2009, vol. 265, no. 3–4, p. 81–100.
- Danilevsky N.Ya. Izvlechenie iz pis'ma o poezdke na Manych [Extract from a letter about the trip to the Manych River], *Zap. Russ. geogr. ob-va*, 1869, vol. 2, p. 139–180. (In Russian)
- Dimitrov P.S., Govberg L.I. Novye dannye o pleistotsenovyyh terrasah i paleogeografii bolgarskogo shel'fa Chernogo morya [New data about the Pleistocene terraces and paleogeography of the Bulgarian shelf of the Black Sea], *Geomorphologiya*, 1979, no. 2, p. 81–89. (In Russian)
- Ebersin A.G. O faunah iz morskikh terras Abkhazii [About faunas from the Abkhazian marine terraces], *Bulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, 1940, no. 6–7. (In Russian)
- Fedorov P.V. *Pleystocen Ponto-Kaspiya* [Pleistocene of the Ponto-Caspian basin], Moscow, Nauka Publ., 1978, 165 p. (In Russian)
- Fedorov P.V. *Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenij Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ya i nekotorye voprosy geologicheskoy istorii Chernogo morya* [Stratigraphy of the Quaternary deposits of the Crimean-Caucasian coast and some questions of the geological history of the Black Sea], Moscow, AN SSSR Publ., 1963, 164 p. (In Russian)

- Fedorov P.V., Geptner A.R. K stratigrafii chetvertichnyh otlozheniy pribrezhnoy polosy severo-vostochnogo Prichernomoriya [To the stratigraphy of Quaternary sediments of the coastal strip of the north-eastern Black Sea region], *Trudy Geolog. in-ta Akademii nauk SSSR*, 1959, vol. 32, p. 143–158. (In Russian)
- Goretskiy G.I. [About paleogeography of Pre-Azov and Western Pre-Manych areas during Uzunlar-Hyrcanian and Burtass ages], *Voprosy geografii* [Problems of Geography], 1953, no. 33, p. 190–221. (In Russian)
- Gubkin I.M., Varentsov M.I. *Geologiya neftyanyh i gazovyh mestorozhdeniy Tamanskogo poluostrova* [Geology of oil and gas fields of the Taman Peninsula], Baku, ONTI Publ., 1934, 138 p. (In Russian)
- Ilyina L.B. *Istoriya gastropod Tchernogo morya* [History of the Black Sea Gastropoda], Moscow, Nauka Publ., 1966, 228 p. (In Russian)
- Inozemtsev Yu.I., Paryshev A.A., Stupina L.V. et al. Paleogeografiya Azovo-Chernomorskogo basseina v chetvertichnoe vremya [Paleogeography of the Azov-Black Sea basin during the Quaternary], *Geologiya i osadki Mirovogo okeana*, 2019, vol. 15, no. 4, p. 36–56. (In Russian)
- Istoriya geologicheskogo razvitiya kontinental'noy okrainy zapadnoy chasti Chernogo morya* [History of geological evolution of the continental outskirts of the western part of the Black Sea], P.N. Kuprin (ed.), Moscow, Moscow Un-ty Publ., 1988, 312 p. (In Russian)
- Krijgsman W., Tesakov A., Yanina T. et al. Quaternary time scales for the Pontocaspian domain: interbasinal connectivity and faunal evolution, *Earth-Sci. Rev.*, 2019, no. 188, p. 1–40.
- Kuprin P.N., Sorokin V.M. [Reflection of the Black Sea level changes in a Quaternary deposits section], P. Kaplin (ed.), *Izmeneniya urovnya morya* [Sea level changes], Moscow, Moscow Un-ty Publ., p. 221–226. (In Russian)
- Kurbanov P.N., Yanina T.A., Murrey A. et al. Girkanskij etap v pozdne-pleistotsenovej istorii Manychskoj depressii [Hyrcanian stage in the Late Pleistocene history of the Manych depression], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 3, p. 77–88. (In Russian)
- Lisitsyn K.I. [Geological guide to the Manych River], *Putevoditel' ekskursii 2-y mezhdunarodnoy konferentsii Assotsiatsii po izucheniyu chetvertichnogo perioda Evropy* [Guide to excursion of the Second International conference of the Association for Investigations of the Quaternary of Europe], Moscow, Leningrad, Gos. Nauchno-tekhnich. Publ., 1932a, p. 130–136. (In Russian)
- Lisitsyn K.I. [To the structure of the Manych River valley], *trudy 2-y Mezhdunarodnoy konferentsii Assotsiatsii po izucheniyu chetvertichnogo perioda Evropy* [Proceedings of the Second International conference of the Association for Investigations of the Quaternary of Europe], Moscow, Leningrad, Gos. Nauchno-tekhnich. Publ., 1932b, vol. 3. (In Russian)
- Mamaladze J.I. *Morskoy pleistotsen Kolhidy* [Marine Pleistocene of Colchid], Tbilisi, Metzniereba Publ., 1975, 207 p. (In Russian)
- Menabde I.B., Svitoch A.A. [On the connection of the Caspian and Black seas in the Late Pleistocene], *Kaspiyskoe more, voprosy geologii i geomorfologii* [The Caspian Sea, Issues of Geology and Geomorphology], Moscow, Nauka Publ., 1990, p. 34–41. (In Russian)
- Metody paleogeograficheskikh rekonstruktsiy* [Methods of paleogeographic reconstructions], P. Kaplin and T. Yanina (eds.), Faculty of Geography of the Moscow State University Publ., 2010, 420 p. (In Russian)
- Nevesskaja L.A. History of the Didacna genus (Bivalvia: Cardiidae), *Paleontological Journal*, 2007, vol. 41, no. 9, p. 861–949.
- Nevesskaya L.A. *Pozdnetchetvertichnye molluski Tchernogo morya, ih sistematika i ekologiya* [Late Quaternary mollusks of the Black Sea, their taxonomy and ecology], Moscow, AN SSSR Publ., 1965, 392 p. (In Russian)
- Nevesskaya L.A., Nevessky E.N. O sootnoshenii karangatskih i novoevksinskih sloev v pribrezhnyh raionah Chernogo morya [On the correlation of Karangat and New Euxine layers in the coastal regions of the Black Sea], *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1961, vol. 136, no. 5, p. 256–261. (In Russian)
- Nevesskaya L.A., Nevessky E.N. O sostave fauny i osobennostyah razvitiya Azovo-Chernomorskogo basseina v pozdnetchetvertichnoe vremya [On the composition of the fauna and features of the development of the Azov-Black Sea basin in Late Quaternary time], *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1961a, vol. 136, no. 5, p. 1193–1196. (In Russian)
- Ostrovskiy A.B., Izmaylov Ya.A., Shcheglov A.P. Novye dannye o stratigrafii i geohronologii pleistotsenovykh morskikh terras chernomorskogo poberezhya Kavkaza i Kerchensko-Tamanskogo regiona [New data on a stratigraphy and geochronology of the Pleistocene marine terraces of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch-Taman region], *Paleogeografiya i otlozheniya pleistotsena yuzhnykh morey SSSR* [Paleogeography and deposits of the Pleistocene of the southern seas of the USSR], P. Kaplin (ed.), Moscow, Nauka Publ., 1977, p. 61–68 (In Russian)
- Popov G.I. Istoriya Manychskogo proliva v svyazi so stratigrafiej chernomorskih i kaspijskih otlozhenij [History of the Manych Strait in the context of the stratigraphy of the Black and Caspian seas deposits], *Bull. MOIP, Otd. Geologii*, 1955, no. 2, p. 31–49. (In Russian)
- Popov G.I. [Comparative stratigraphy of the Quaternary deposits of the Manych passage, Caspian and Euxinian seas], *Trudy Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda* [Proc. of the Commission on Quaternary Investigations], Akademiya nauk SSSR Publ., 1957, p. 65–74. (In Russian)
- Popov G.I. *Pleistocen Chernomorsko-Kaspijskih prolivov* [Pleistocene of the Black Sea and the Caspian Sea passage], Moscow, Nauka Publ., 1983, 216 p. (In Russian)
- Popov G.I., Zubakov V.A. [On the age of the Surozhian transgression of the Near-Black Sea area], *Kolebaniya urovnya Mirovogo okeana v pleistotsene* [Fluctuations of the World Ocean level during the Pleistocene], Leningrad, Nauka Publ., 1975, p. 113–116. (In Russian)
- Reimer P., Austin W., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP), *Radiocarbon*, 2020, vol. 62, no. 4, p. 725–757.
- Semikolennykh D., Kurbanov R., Yanina T. Ingressiya karangatskogo morya v Manychskuyu depressiyu [Ingression of the Karangatian Sea into the Manych depression], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, no. 6, p. 96–106. (In Russian)
- Shcherbakov F.A. Kolebaniya urovnya Chernogo morya i ih svyaz' s transgressiyami i regressiyami okeana v pleistotsene [The Black Sea Level Fluctuations and Their Relationship with Ocean Transgressions and Regressions during the Pleistocene], *Izmeneniya urovnya morya* [Sea level changes], Moscow, MSU, 1982, p. 189–194. (In Russian)

- Shcherbakov F.A., Koreneva E.V., Zabelina E.K. [Stratigraphy of the Late Quaternary deposits of the Black Sea], *Pozdnechetvertichnaya istotiya i sedimentogenez okrainnyh i vnutrennih morej* [Late Quaternary history and sedimentation in semi-closed and inland seas], D. Gershanovich (ed.), Moscow, Nauka Publ., 1979, p. 46–51. (In Russian)
- Shcherbakov F.A., Kuprin P.N., Zabelina E.K. [Paleogeography of the Azov – Black Sea Coast in the Late Pleistocene and the Holocene], *Paleogeografiya i otlozheniya pleistotsena yuzhnyh morey SSSR* [Paleogeography and deposits of the Pleistocene of the southern seas of the USSR], P. Kaplin (ed.), Moscow, Nauka Publ., 1977, p. 51–60. (In Russian)
- Sorokin V.M. Correlation of upper Quaternary deposits and paleogeography of the Black and Caspian seas, *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2011, vol. 19, no. 5, p. 563–578.
- Sorokin V.M., Yanina T.A., Luksha V.L. O vremeni posledney svyazi Kaspiyskogo i Chernogo morey v pozdnem pleistotsene [On the time of the last connection of the Caspian and Black seas during the Late Pleistocene], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 4, Geol.*, 2023, no. 1, p. 75–84. (In Russian)
- Sorokin V.M., Yanina T.A., Romanyuk B.F. Novye nahodki karangatskih otlozhenij v vostochnoj chasti Chernogo morya [New finds of Karangatian deposits in the eastern part of the Black Sea], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 4, Geol.*, 2022, no. 5, p. 113–119. (In Russian)
- Svitoch A.A., Selivanov A.O., Yanina T.A. *Paleogeograficheskie sobytiya pleistotsena Ponto-Kaspiya i Sredizemnomoriya (materialy po rekonstruktsii i korrelyatsii)* [Paleogeographic events of the Pleistocene of the Ponto-Caspian and the Mediterranean seas (materials on reconstruction and correlation)], Moscow, Publishing house of the Russian Academy of Agrarian Sciences, 1998, 288 p. (In Russian)
- Svitoch A.A., Selivanov A.O., Yanina T.A. Paleohydrology of the Black Sea Pleistocene Basins, *Water Resources*, 2000, vol. 27, no. 6, p. 594–603.
- Svitoch A.A., Yanina T.A., Menabde I.V. Paleogeografiya pozdnego pleistotsena Ponto-Kaspiya [Paleogeography of the Late Pleistocene of the Ponto-Caspian basin], *Vestnik Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geografiya*, 1992, no. 6, p. 68–76. (In Russian)
- Svitoch A.A., Yanina T.A., Novikova N.G. et al. *Pleistotsen Manycha (voprosy stroeniya i razvitiya)* [Pleistocene of the Manych (construction and development issues)], Faculty of Geography of the Moscow State University Publ., 2010, 136 p. (In Russian)
- Wesselingh F.P., Neubauer T.A., Anistratenko V.V. et al. Mollusc species from the Pontocaspian region – an expert opinion list, *ZooKeys*, 2019, no. 827, p. 31–124.
- Yanina T.A. *Didakny Ponto-Kaspiya* [Didacna of the Ponto-Caspian], Moscow, Smolensk, Madzhenta Publ., 2005, 300 p. (In Russian)
- Yanina T.A. Depressiya Manycha kak oblast' migratsiy faun Ponto-Kaspiya v pleistotsene [The Manych depression as a field of migrations of the Ponto-Caspian fauna during the Pleistocene], *Geomorfologiya*, 2006, no. 4, p. 97–106. (In Russian)
- Yanina T.A. *Neoplejstocen Ponto-Kaspiya: biostratigrafiya, paleogeografiya, korrelyatsiya* [Neo-Pleistocene of the Ponto-Caspian: biostratigraphy, paleogeography, correlation], Moscow, MGU Publ., 2012, 264 p. (In Russian)
- Yanina T., Semikolennykh D., Sorokin V. Caspian – Black Sea Connection During MIS 5 (Late Pleistocene): Evidences from Drilling Data, *Earth Systems and Environment*, 2025.
- Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu. et al. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data), *Quaternary International*, 2017, vol. 465, p. 130–141.
- Yanina T., Sorokin V., Semikolennykh D.V. Kaspiyskiye molluski v karangatskom basseine Chernogo morya (pozdnii pleistotsen) [Caspian mollusks in the Karangatian basin of the Black Sea (the Late Pleistocene)], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, no. 5, p. 20–26. (In Russian)

Received 21.06.2025

Revised 10.07.2025

Accepted 28.08.2025

ИСТОРИЯ РАССЕЛЕНИЯ СЕМЕЙСТВА КИРКАЗОНОВЫЕ (ARISTOLOCHIACEAE S.L.)

М.В. Кандидов¹, А.О. Гречишкин², А.В. Бобров³, В.А. Васильев⁴, М.С. Рослов⁵,
Н.С. Здравчев⁶, А.С. Горева⁷, А.Д. Новиков⁸, М.С. Романов⁹

^{1–5, 7, 8} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет

^{6, 9} Главный ботанический сад имени Н.В. Цицина РАН

¹ Кафедра биогеографии, аспирант; e-mail: mvkandidov@mail.ru

² Кафедра рационального природопользования, аспирант; e-mail: alex_grechishkin@mail.ru

³ Кафедра биогеографии, проф., д-р биол. наук; e-mail: avfch_bobrov@mail.ru

⁴ Кафедра биогеографии, аспирант; e-mail: vlad995fry@icloud.com

⁵ Кафедра биогеографии, аспирант; e-mail: maxim.roslov@gmail.com

⁶ Науч. сотр.; e-mail: zdravchevnikita@yandex.ru

⁷ Кафедра биогеографии, аспирант; e-mail: gorevaas@yandex.ru

⁸ Кафедра биогеографии, магистрант; e-mail: alexeynovikov2109@gmail.com

⁹ Зав. лабораторией, вед. науч. сотр., канд. биол. наук; e-mail: romanovmikhail5@gmail.com

Семейство Кирказоновые – *Aristolochiaceae s.l.*, входящее в порядок *Piperales*, состоит из восьми родов (*Asarum*, *Saruma*, *Aristolochia*, *Thottea*, *Euglypha*, *Hydnora*, *Prosopanche* и *Lactoris*) и более 700 видов [Plants..., 2022]. Современное распространение и история расселения семейства представляют большой научный интерес, потому что кирказоновые обитают в различных частях материков, формируя, таким образом, дизъюнкции. Ареал семейства охватывает западное и восточное побережья Америки, Северную и Центральную Африку, Северо-Восточную Австралию, Юго-Восточную и Восточную Азию, Сибирь и большую часть Европы. Нами был изучен ряд морфологических, биологических и экологических особенностей представителей семейства. Был проведен анализ молекулярно-генетических и морфологических признаков избранных таксонов *Aristolochiaceae s.l.* Мы сравнили результаты реконструкции вероятных путей расселения с доступными палеоботаническими материалами. Итогом нашей работы стала парсимоничная реконструкция гипотетических треков расселения и способов распространения представителей *Aristolochiaceae s.l.* на основе комплексных молекулярно-генетических и морфологических данных. Был выявлен центр гипотетического происхождения предка семейства *Aristolochiaceae s.l.*

Ключевые слова: биогеография, фитогеография, треки распространения, молекулярно-генетический анализ, кладистический анализ на основе морфологических признаков

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.5

ВВЕДЕНИЕ

Семейство *Aristolochiaceae s.l.* распространено чрезвычайно широко. Его ареал охватывает обширные территории в Северной и Южной Америке, Африке, Евразии, а также в Австралии и Океании, образуя множество дизъюнктивных ареалов [Huber, 1993; Meijer, 1993; Plants..., 2022]. Современный ареал семейства может быть связан с экологическим разнообразием, спецификой опыления (подавляющее число представителей семейства энтомофильные) и диссеминации, которая очень варьирует внутри таксонов разного уровня (как внутри семейства, так и внутри отдельных родов). Проблема расселения представителей семейства *Aristolochiaceae s.l.* и образования их дизъюнктивного ареала представляет большой интерес. Настоящее исследование,

в котором применены современные методы фило-генетической биогеографии и впервые построены предположительные сценарии расселения представителей семейства, позволит выработать подходы к изучению расселения всего порядка *Piperales*, а также на более высоком уровне изучить процессы формирования ареалов в рамках палеобиогеографических исследований и более подробно биоразнообразие территорий при создании ООПТ.

В современной систематике цветковых растений [APG III, 2009; APG IV, 2016] семейство *Aristolochiaceae s.l.* входит в порядок перечные (*Piperales*), который также включает в себя семейства перечные (*Piperaceae*) и зауруровые (*Saururaceae*). Исторически семейство Кирказоновые в широком смысле включает в себя несколь-

ко родов: *Asarum*, *Saruma*, *Aristolochia*, *Thottea*, *Euglypha*, *Hydnora*, *Prosopanche* и *Lactoris* [Huber, 1993; Meijer, 1993; Plants..., 2022]. В современной системе из семейства Aristolochiaceae s.l. исключен род *Pararistolochia* и описан род *Euglypha* [Plants..., 2022]. Стоит также отметить точку зрения, при которой роды *Asarum*, *Thottea* и *Aristolochia* подразделяются на несколько самостоятельных родов [Huber, 1993]. В случае рассмотрения семейства в узком смысле, т. е. Aristolochiaceae s.str., семейства Hydnoraceae и Lactoridaceae рассматриваются в качестве самостоятельных [Meijer, 1993].

Семейство Aristolochiaceae s.l. представлено преимущественно корневищными многолетними травами или деревянистыми лианами (однако известны также кустарники). Представители родов *Hydnora* и *Prosopanche* – корневищные паразиты, не имеющие наземных вегетативных органов. Листья очередные, черешковые, простые, цельные или иногда дву-, трех- или пальчато-лопастные, цельнокрайние или слегка пильчатые, иногда городчатые. Цветки одиночные или собраны в соцветия-извилины, чаще всего трехмерные, обоеполые. Периант обычно простой, венчиковидный, у большинства представителей (кроме *Lactoris*, *Hydnora* и *Prosopanche*) шесть тычинок срастаются со столбиком в гиностемий. Гинецей ценокарпный, завязь преимущественно нижняя, реже полунижняя или почти верхняя. Плоды – многосеменные коробочки, листовки (например, у *Saruma* и *Lactoris*) или кожистые ягоды (у некоторых видов *Aristolochia*) [Трифенова, 1980; Huber, 1993; Meijer, 1993]. В целом у представителей семейства наблюдаются некоторые уникальные черты, связанные с особенностями опыления. В частности, это несоответствие размеров цветка и величины опылителя, что нередко отражено в гигантизме первых (*Aristolochia gigantea* Mart.) и малом размере вторых, в частности некоторые виды опыляются двукрылыми насекомыми – мокрецами (Ceratopogonidae) [Dauman, 1971; Hipolito et al., 2012]. Часто цветки имеют вид плодовых тел грибов и обладают соответствующим запахом, привлекая опылителей [Vogel, 1978; Gottsberger, 2016]. Процессы диссеминации также очень разнообразны. Часто плоды распространяются эндозоохорно (*Aristolochia australopithecus*) [Huber, 1993; De Groot et al., 2006; Meijer, 1993] либо эпизоохорно [Hoehne, 1993]. Другие представители семейства, которые имеют плоды-листочники (*Saruma*, *Lactoris*), приспособлены к анемохории. Стоит отметить, что вегетативными частями представителей семейства Aristolochiaceae s.str. питаются гусеницы бабочек из подтрибы Troidini [Allio et al., 2021].

Интерес вызывает географическое распространение семейства Aristolochiaceae s.l. (рис. 1). Так, род *Saruma* встречается на территории Юго-Западного и Центрального Китая. Ареал близкого рода *Asarum* состоит из трех частей: субмеридианально вытянутого ареала в Северной Америке, обширного ареала в Европе, представленного одним видом (*Asarum europaeum* L.) [Kukkonen, Uotila, 1977] и обширных территории в Восточной и Юго-Восточной Азии. Род *Thottea* и некоторые виды *Aristolochia* имеют дизъюнктивные ареалы и произрастают в Южной, Юго-Восточной и Восточной Азии, на острове Новая Гвинея и в Северной Австралии. Ареал типового рода *Aristolochia* охватывает Северную и Южную Америку, Северную и Центральную Африку, Средиземноморье, Южную, Восточную и Юго-Восточную Азию, Новую Гвинею и Северную Австралию [Huber, 1993]. В России *Aristolochia* произрастает на Кавказе и на Восточно-Европейской равнине [Трифенова, 1980]. Все виды рода *Hydnora* встречаются в Африке, все виды рода *Prosopanche* – в Южной Америке [Meijer, 1993]. Монотипный эндемичный род *Lactoris* произрастает лишь на острове Робинзон-Крузо, на составе архипелага Хуан-Фернандес [Mortone, 2017; Skottsberg, 1956].

Целью нашей работы является реконструкция возможных путей расселения представителей семейства Aristolochiaceae s.l. Для этого были отобраны 27 таксонов (включая outgroup), представляющие все подсемейства (Aristolochioideae, Asaroideae, Hydnoroideae, Lactoridoideae), обладающие различной степенью морфологического сходства и из разных частей ареала семейства. Чтобы получить желаемые результаты и достичь необходимой цели, был использован кладистический метод [Hennig, 1950]. Для наиболее точного результата в список исследуемых таксонов необходимо внести филогенетически отдаленный таксон в качестве внешней группы (outgroup) [Абрамсон, 2013]. В данной работе в качестве таковой была использована *Canella winterana* (L.) Gaertn., семейство Canellaceae (из сестринского по отношению к Piperales порядка Canellales) [APG IV, 2016].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для построения кладограммы, наиболее полно отражающей родство представителей семейства Aristolochiaceae s.l. друг с другом, были использованы два метода, наиболее полно подходящих для этой цели [Cox et al., 2016; Lomolino et al., 2016]. Молекулярно-генетический метод основан на сравнении только генетических характеристик, т. е. последовательностей нуклеотидов определенных фрагментов ДНК и/или РНК у разных таксонов [Hedges, 2013; Lomolino et al., 2016]. В нашей

работе были использованы два гена хлоропластной ДНК (*matK*, *rbcL*), митохондриальный ген *matR* и спейсер (*trnL-trnF*), взятые из открытой базы данных GenBank [GenBank, 2022] (табл. 1). С помощью выравнивания нуклеотидных оснований методом ClustalW в программе MEGA11 ver. 11.0.13, исключением неполных участков (а в ряде случаев и некоторых таксонов вовсе), обрезки неинформативных концов, а также использования метода максимального правдоподобия со значением Bootstrap = 10 000 (число 10 000 показывает количество генераций, при которых анализируется распределение вероятностных статистик), мы получили итоговую молекулярно-генетическую кладограмму (рис. 2). Морфологический метод основан на детальном анализе морфологических признаков растений и сравнении их у отдельных представителей исследуемой группы [Lomolino et al., 2016]. Путем присвоения каждому морфологическому признаку цифрового значения для каждого таксона был подобран особый шифр (порядок цифр), на основе которого проводился морфологический анализ (табл. 2.1, 2.2). Сам морфологический анализ строился методом *jasknife*, при котором для каждого элемента производится расчет среднего значения выборки за исключением самого элемента, а далее среднее всех полученных значений [Quenouille, 1956]. В результате в программе WinClada была по-

строена морфологическая кладограмма (рис. 3). Морфологические признаки были взяты из литературных и оригинальных данных [Hou, 1984; Huber, 1993; Meijer, 1993; Ross, Halford, 2007]. Совместив молекулярно-генетическую *data matrix* с морфологической в текстовом редакторе, мы получили комплексную кладограмму (рис. 4), которая также строилась в программе WinClada. Именно она должна наиболее полно отражать филогенетические взаимоотношения между исследованными таксонами и может служить основой при создании гипотез расселения представителей семейства *Aristolochiaceae s.l.* В рамках настоящего исследования нами было использовано правило прогрессии Хеннига [Hennig, 1950], при котором мы считаем регион возникновения современного ареала базального таксона или область вокруг него гипотетическим регионом возникновения всей группы. В данной работе не была проведена калибровка с учетом ископаемых находок, поэтому мы рассуждаем о треках, как о гипотетических и наиболее вероятных путях расселения представителей исследуемой группы. По этой причине мы также не можем рассуждать о характере геологических и палеоклиматических процессов, которые происходили во время существования этих треков. Карты (см. рис. 1, рис. 5, 6), использованные в нашей работе, были построены в программе QuantumGIS ver. 3.22.6.

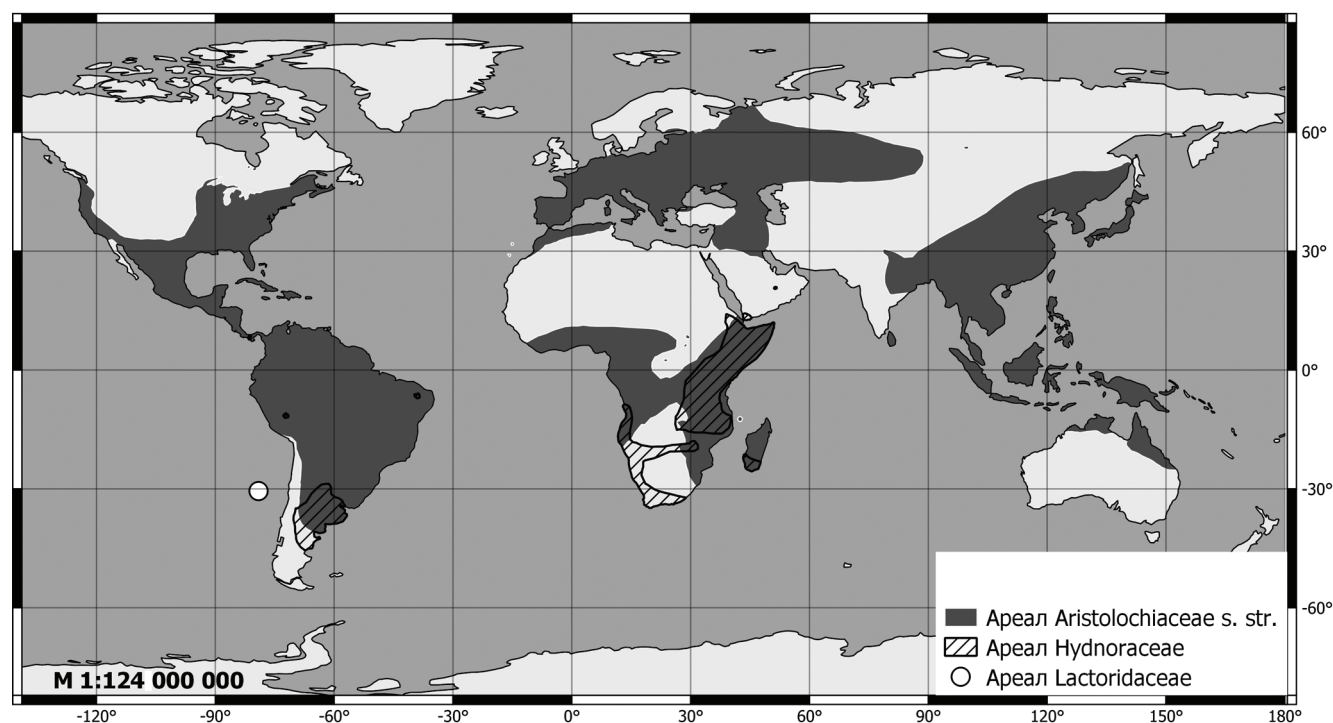


Рис. 1. Ареал *Aristolochiaceae s.l.*

Fig. 1. Distribution of *Aristolochiaceae s.l.*

Таблица 1

Коды доступа и ареалы анализируемых видов

| Виды | Гены | | | | Ареал |
|---|------------|------------|------------|------------|---|
| | matK | matR | rbcL | trnL-trnF | |
| <i>Aristolochia tagala</i> | AB211567.1 | AF197732.1 | KP998772.1 | AY689156.1 | Южная Азия, Индия |
| <i>Aristolochia macrophylla</i> | AB060742.1 | | KF724349.1 | | Восточное побережье Северной Америки |
| <i>Aristolochia acuminata</i> | DQ532063.2 | | | | Юго-Восточная Азия, Северная Австралия |
| <i>Aristolochia arborea</i> | AB060739.1 | | AB205586.1 | EF422810.1 | Центральная Америка |
| <i>Aristolochia californica</i> | AB071813.1 | | GQ248551.1 | GU445335.1 | Западное побережье Северной Америки |
| <i>Aristolochia clematitis</i> | AB060767.1 | | AB205588.1 | DQ532019.1 | Восточная Европа |
| <i>Aristolochia baetica</i> | AB060766.1 | | | AY689160.1 | Юго-западная Европа, Северная Африка |
| <i>Aristolochia contorta</i> | AB211581.1 | | KU853429.1 | JX944501.1 | Восточная Азия |
| <i>Aristolochia fimbriata</i> | AB211563.1 | | KU054390.1 | AY689167.1 | Восточное побережье Южной Америки |
| <i>Aristolochia paecilantha</i> | DQ296657.1 | | | | Западная Азия, северная часть Аравийского полуострова |
| <i>Aristolochia pontica</i> | DQ296656.1 | AF197751.1 | | AY689161.1 | Закавказье |
| <i>Aristolochia albida</i> | AB211566.1 | | AB205585.1 | EF422813.1 | Долина Замбези |
| <i>Pararistolochia australopithecurus</i> | | | KF496751.1 | KC428572.1 | Квинсленд |
| <i>Asarum arifolium</i> | LC008097.1 | | KX397700.1 | KJ888655.1 | Великие равнины |
| <i>Asarum canadense</i> | KP642868.1 | | KJ593230.1 | KJ888659.1 | Канада |
| <i>Asarum europaeum</i> | FJ428664.1 | | | | Европа |
| <i>Asarum maximum</i> | FJ428681.1 | | JF940931.1 | KJ888652.1 | Китай |
| <i>Asarum caudatum</i> | AY781532.1 | | MG246709.1 | AY781539.1 | Западное побережье Северной Америки |
| <i>Asarum sieboldii</i> | JF953269.1 | | KU853437.1 | KJ888695.1 | Восточная Азия |
| <i>Asarum asaroides</i> | LC008108.1 | | | | Восточная Азия |
| <i>Thottea tomentosa</i> | JN415674.1 | AF197733.1 | AB205606.1 | KF586683.1 | Юго-Восточная Азия |
| <i>Thottea sivarajanii</i> | JN415681.1 | | | | Индия |
| <i>Saruma henryi</i> | AB060736.1 | AF197752.1 | AB205607.1 | AY145340.1 | Юго-Восточный Китай |
| <i>Hydnora africana</i> | | AF503358.1 | | | Южная Африка |
| <i>Prosopanche americana</i> | | AF503359.1 | | | Центральная часть Южной Америки |
| <i>Lactoris fernandeziana</i> | AF465297.1 | AF197812.1 | L08763.1 | AY145342.1 | Остров Хуан-Фернандес |
| Outgroup | | | | | |
| <i>Canella winterana</i> | AF465288.1 | AF197757.1 | AY572265.1 | | Карибский бассейн |

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основываясь на результатах, полученных при построении молекулярно-генетической кладограммы (рис. 3), мы можем сделать несколько выводов, касающихся родственных взаимоотношений меж-

ду представителями семейства Aristolochiaceae s.l. Молекулярно-генетическая модель, однако, отражает лишь вероятные варианты родства видов, сравнивая нуклеотидные последовательности, поэтому для большей достоверности будет использована комплексная модель, совмещающая в

себе и молекулярно-генетическую, и морфологическую кладограммы. Стоит также отметить, что в рамках настоящей работы мы включили в анализ вид *Aristolochia australopithecus* под прежним, ранее признанным названием – *Pararistolochia australopithecus*.

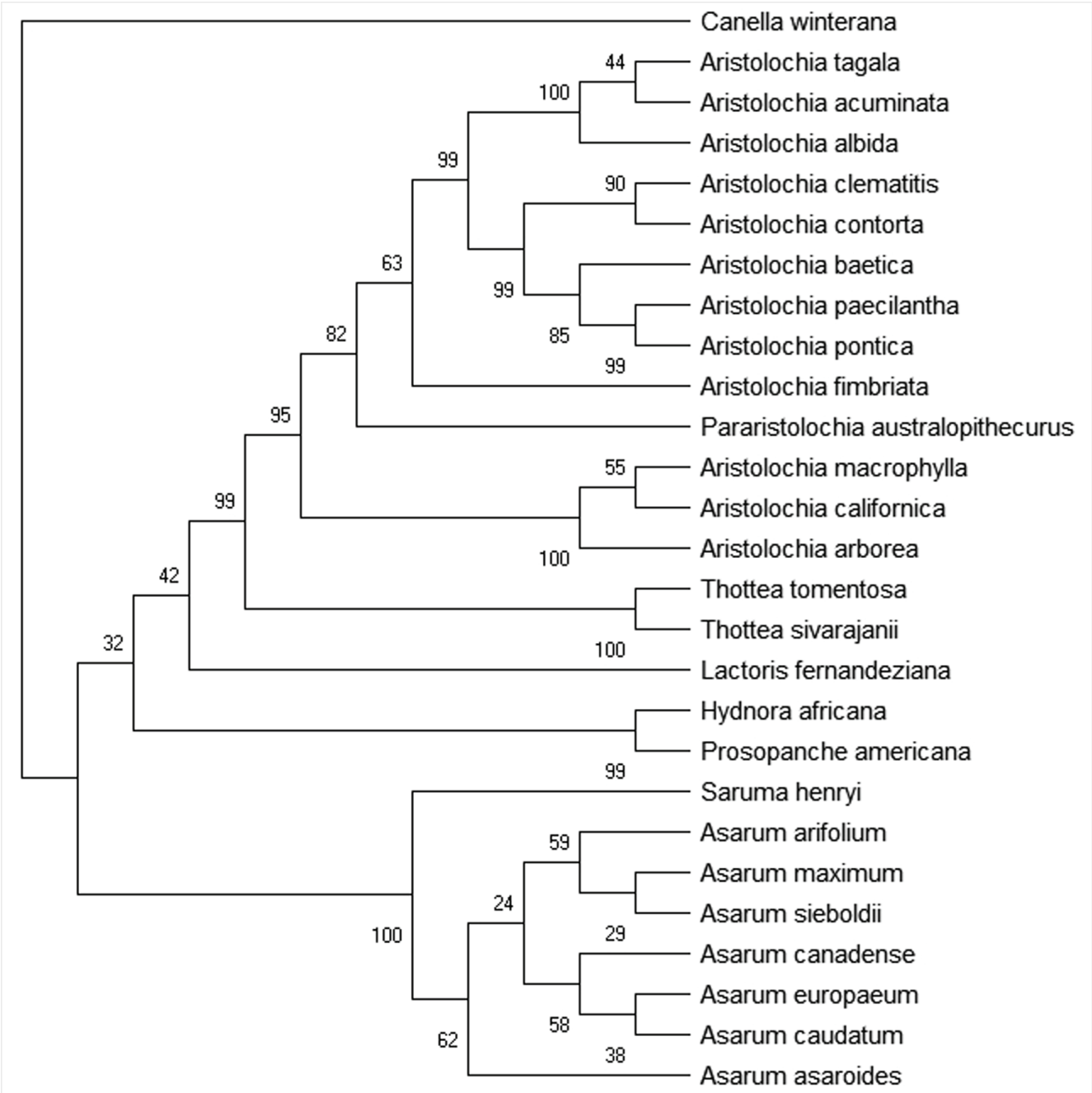


Рис. 2. Молекулярно-генетическая кладограмма семейства Aristolochiaceae s.l.
Fig. 2. Molecular genetic cladogram of Aristolochiaceae s.l.

Все проанализированные виды рода *Aristolochia* сформировали самостоятельную кладу, однако, разделенную на несколько бифуркаций. *Aristolochia macrophylla*, *A. californica* и *A. arborea* выделяются в отдельную кладу, а все остальные исследованные виды – в другую. В род *Aristolochia*, согласно результатам нашего анализа, «погрузился» вид другого рода – *Pararistolochia australopithecus*. Это означает, что три вышеуказанных вида рода *Aristolochia* возможно выделять в сепаратный род, либо род *Pararistolochia* необходимо включить в *Aristolochia* s.l.

Таблица 2.1

Таблица зашифрованных морфологических признаков исследуемых видов

| Исследуемые виды | Жизненная форма | Листорасположение | Тип листьев | Жилкование | Форма основания листа | Край листа | Форма верхушки листа | Наличие черешков | Форма побегов | Периант простой или двойной | Тип простого околоцветника | Симметрия | Наличие волосков на зеве | Срастание сегментов перианта | Число кругов сегментов перианта |
|---|-----------------|-------------------|-------------|------------|-----------------------|------------|----------------------|------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| <i>Aristolochia tagala</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia macrophylla</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia acuminata</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia arborea</i> | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia californica</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia clematitis</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia baetica</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia contorta</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia fimbriata</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia paecilantha</i> | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia pontica</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Aristolochia albida</i> | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Pararistolochia australopithecurus</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| <i>Asarum arifolium</i> | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Asarum canadense</i> | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Asarum europaeum</i> | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Asarum maximum</i> | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Asarum caudatum</i> | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Asarum sieboldii</i> | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Asarum asaroides</i> | 3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Thottea tomentosa</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Thottea sivarajanii</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Saruma henryi</i> | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 4 | 1 |
| <i>Hydnora africana</i> | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Prosopanche americana</i> | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| <i>Lactoris fernandeziana</i> | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 1 |
| Outgroup | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Canella winterana</i> | 5 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0 | 3 | 1 |

Окончание таблицы 2.1

| Пояснения | | | | | Исследуемые виды |
|------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------------|
| 5 – дерево | 4 – паразит | 3 – трава | 2 – кустарник | 1 – лиана | |
| | | 2 – супротивное | 1 – очередное | 0- отсутствует | Жизненная форма |
| | | 2- сложные | 1 – простые | 0 – отсутствуют | Листорасположение |
| | | 2 – пальчатое | 1 – перистое | 0 – отсутствует | Тип листьев |
| | 3 – копьевидная | 2 – клиновидная | 1 – сердцевидная | 0 – отсутствует | Жилкование |
| | | | 1 – цельнокрайные | 0 – отсутствует | Форма основания листа |
| | 3 – заостренная | 2 – остистая | 1 – пригнутая | 0 – отсутствует | Край листа |
| | | | 1 – имеются | 0 – отсутствуют | Форма верхушки листа |
| | | 2 – изогнутые | 1 – прямые | 0 – отсутствуют | Наличие черешков |
| | | | 2 – двойной | 1 – простой | Форма побегов |
| | | 3 – околоцветник сложный | 2 – венчиковидный | 1 – чашечковидные | Периант простой или двойной |
| | | | 2 – зигоморфия | 1 – актиноморфия | Тип простого околоцветника |
| | | 2 – имеются | 1 – отсутствуют | 0 – зев отсутствует | Симметрия |
| | 4 – возможны разные варианты | 3 – не срастаются | 2 – срастаются частично | 1 – срастаются | Наличие волосков на зеве |
| | | 3 – 3 круга | 2 – 2 круга | 1 – 1 круг | Срастание сегментов перианта |
| | | | | | Число кругов сегментов перианта |

Таблица 2.2

Таблица зашифрованных морфологических признаков исследуемых видов (продолжение)

| Исследуемые виды | Число сегментов перианта | Число кругов тычинок | Число тычинок в каждом круге | Наличие видоизмененных тычинок | Форма и длина филаментов | Вскрывание пыльников | Положение завязи | Тип гинецея | Число карпелл | Число стилодиев | Наличие гиностемия | Тип плода | Структура семенной кожуры | Структура эндосперма | Строение зародыша |
|---|--------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------|------------------|-------------|---------------|-----------------|--------------------|-----------|---------------------------|----------------------|-------------------|
| <i>Aristolochia tagala</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia macrophylla</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia acuminata</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia arborea</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia californica</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia clematitis</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia baetica</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia contorta</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia fimbriata</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia paecilantha</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia pontica</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Aristolochia albida</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Pararistolochia australopithecurus</i> | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| <i>Asarum arifolium</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Asarum canadense</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Asarum europaeum</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Asarum maximum</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Asarum caudatum</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Asarum sieboldii</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Asarum asaroides</i> | 3 | 1 | 6 | 0 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| <i>Thottea tomentosa</i> | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 7 | 1 | 1 | ? | 2 | 2 | 3 |
| <i>Thottea sivarajanii</i> | 3 | 3 | 6 | 0 | 0 | 2 | 3 | 2 | 7 | 1 | 1 | ? | 2 | 2 | 3 |
| <i>Saruma henryi</i> | 3 | 2 | 6 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Hydnora africana</i> | 6 | 1 | 1 | 0 | 0 | ? | 3 | 2 | 7 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| <i>Prosopanche americana</i> | 3 | 1 | 3 | 0 | 1 | ? | 3 | 2 | 3 | 1 | 0 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| <i>Lactoris fernandeziana</i> | 3 | 2 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | 1 | 1 |
| Outgroup | | | | | | | | | | | | | | | |
| <i>Canella winterana</i> | 5 | 2 | 6 | 0 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | 3 | 1 |

| Пояснения | | Исследуемые виды | |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| | | Число варьирует (от 2 до 5) | Число соответствует количеству |
| | | 3 – число варьирует (от 1 до 4) | Число соответствует количеству |
| | | 1 – число варьирует (от 3 до 5) | Число соответствует количеству |
| | | 1 – имеются | 0 – отсутствуют |
| | 2 – нити длинные | 1 – нити короткие | 0 – нитей нет |
| | ? – нет достоверных данных | 2 – экстрозно | 1 – интрозно |
| | 3 – нижняя | 2 – полунижняя | 1 – верхняя |
| | 3 – синкарпный | 2 – паракарпный | 1 – апокарпный |
| | | 7 – число варьирует (от 3 до 5) | Число соответствует количеству |
| | | | |
| | | 1 – имеется | 0 – отсутствует |
| ? – нет достоверных данных | 3 – листовка | 2 – кожистая ягода | 1 – коробочка |
| 4 – экзотестальный | 3 – тестальный | 2 – эндотестально-экзомезотегмальный | 1 – эндотестально-тегмальный |
| | 3 – амбивалентный | 2 – руминированный | 1 – обильный маслянистый |
| | 3 – плохо дифференцирован | 2 – недифференцированный | 1 – хорошо дифференцированный |
| | | | 1 – хорошо дифференцированный |

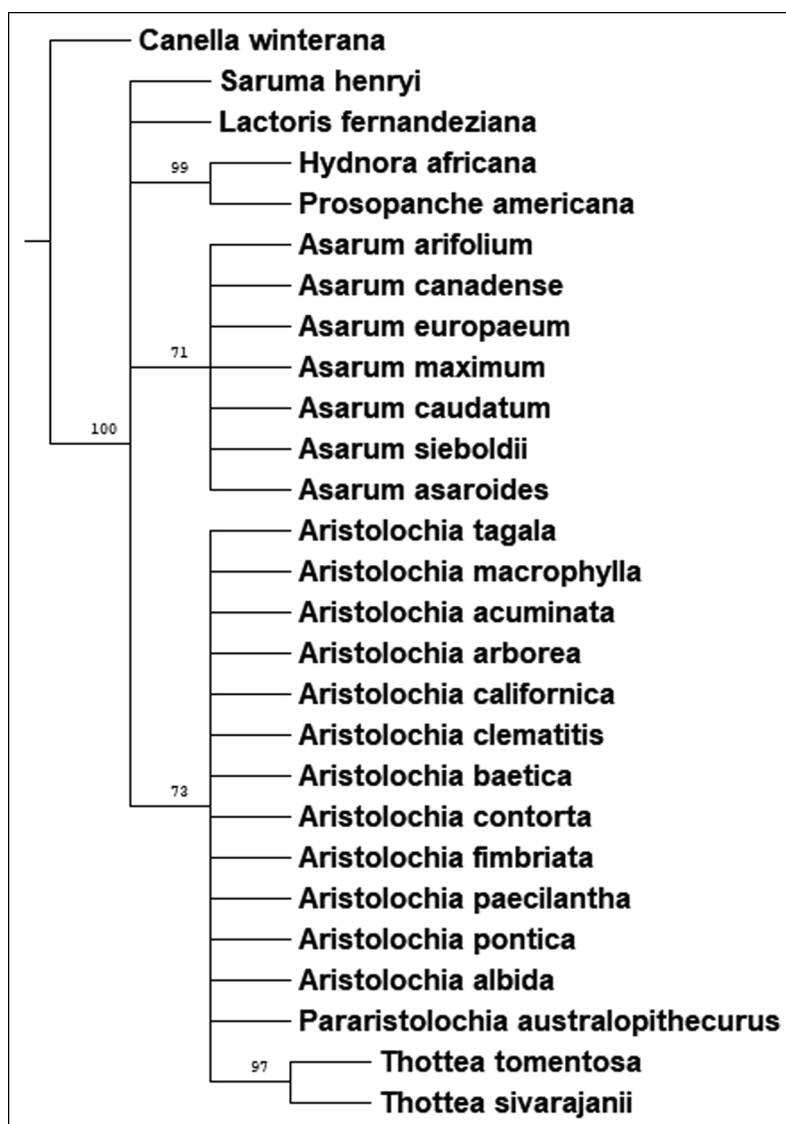


Рис. 3. Морфологическая кладограмма семейства Aristolochiaceae s.l.

Fig. 3. Morphological cladogram of Aristolochiaceae s.l.

Оба проанализированных вида рода *Thottea* выделяют в отдельную монофилетическую кладу, сестринскую роду *Aristolochia* s.l., что подтверждает их родство друг с другом и с типовым родом семейства.

Обособленное (и базальное в рассматриваемой части кладограммы) положение занимают роды *Hydnora* и *Prosopanche*, которые занимают сестринское положение по отношению друг к другу (топология нашей кладограммы также позволяет рассматривать Hydnoraceae в ранге подсемейства Hydnoroideae, а не отдельного семейства, что практиковалось ранее в работах, основанных на морфологическом анализе таксонов [Meijer, 1993]). Самостоятельную кладу, сестринскую по отношению к таксонам Aristolochioideae, образует род *Lactoris*, который, таким образом, также не рассматривается нами в ранге самостоятельного семейства

Lactoridaceae, как оно описывается в литературе [Meijer, 1993; Huber, 1993].

Бифуркация родов *Asarum* и *Saruma* происходит в самом основании комплексной кладограммы (рис. 4), что подтверждает выделение их в отдельное подсемейство Asaroideae. Эти роды находятся в другом конце филогенетического древа, а потому представление семейства в широком смысле наиболее обосновано.

Выделение семейств Hydnoraceae и Lactoridaceae имеет смысл только в том случае, если кроме них выделять еще в отдельное семейство роды *Asarum* и *Saruma* – в Asaraceae (incl. Sarumaceae), и род *Thottea* – в Thotteaceae (fam. nov., nom. prov.), при сохранении семейства Aristolochiaceae, состоящего только из родов *Aristolochia* и *Pararistolochia*. В ином случае мы вынуждены признавать семей-

ство Aristolochiaceae в нынешнем, т. е. в широком смысле [Plants..., 2022].

Проанализировав морфологические признаки представителей семейства Aristolochiaceae *s.l.*, мы получили кладограмму, достаточно сильно отличающуюся от молекулярно-генетической (см. рис. 3). Как видно из полученных результатов, *Lactoris fernandeziana* занял базальное положение на комплексной кладограмме (см. рис. 4). Достаточно близкое положение к основанию кладограммы занимает и *Saruma henryi*. Эта ситуация объяснима, так как, анализируя сходство и различие морфологических особенностей данных видов, мы действительно обнаруживаем достаточно примитивные признаки именно у этих двух монотипных родов. Группа видов из рода *Aristolochia*, *Asarum*, а также

Hydnora и *Prosopanche* занимают равноудаленное положение от основания, формируя три клады.

Род *Thottea* занимает наиболее удаленное от основания кладограммы положение и входит в состав группы видов *Aristolochia*. На комплексной кладограмме (см. рис. 4) базальное положение занимает *Lactoris fernandeziana*, таким образом, он, вероятно, является самым древним представителем семейства. Далее, ближе всего к основанию кладограммы, как в предыдущем случае, расположен род *Saruma*. Он является сестринским по отношению к другому роду – *Asarum*, который, по-видимому, имеет с ним общего предка. Группа видов этого рода разделена на две клады, одна из которых содержит азиатские виды, а другая – сестринские европейские и североамериканские виды.

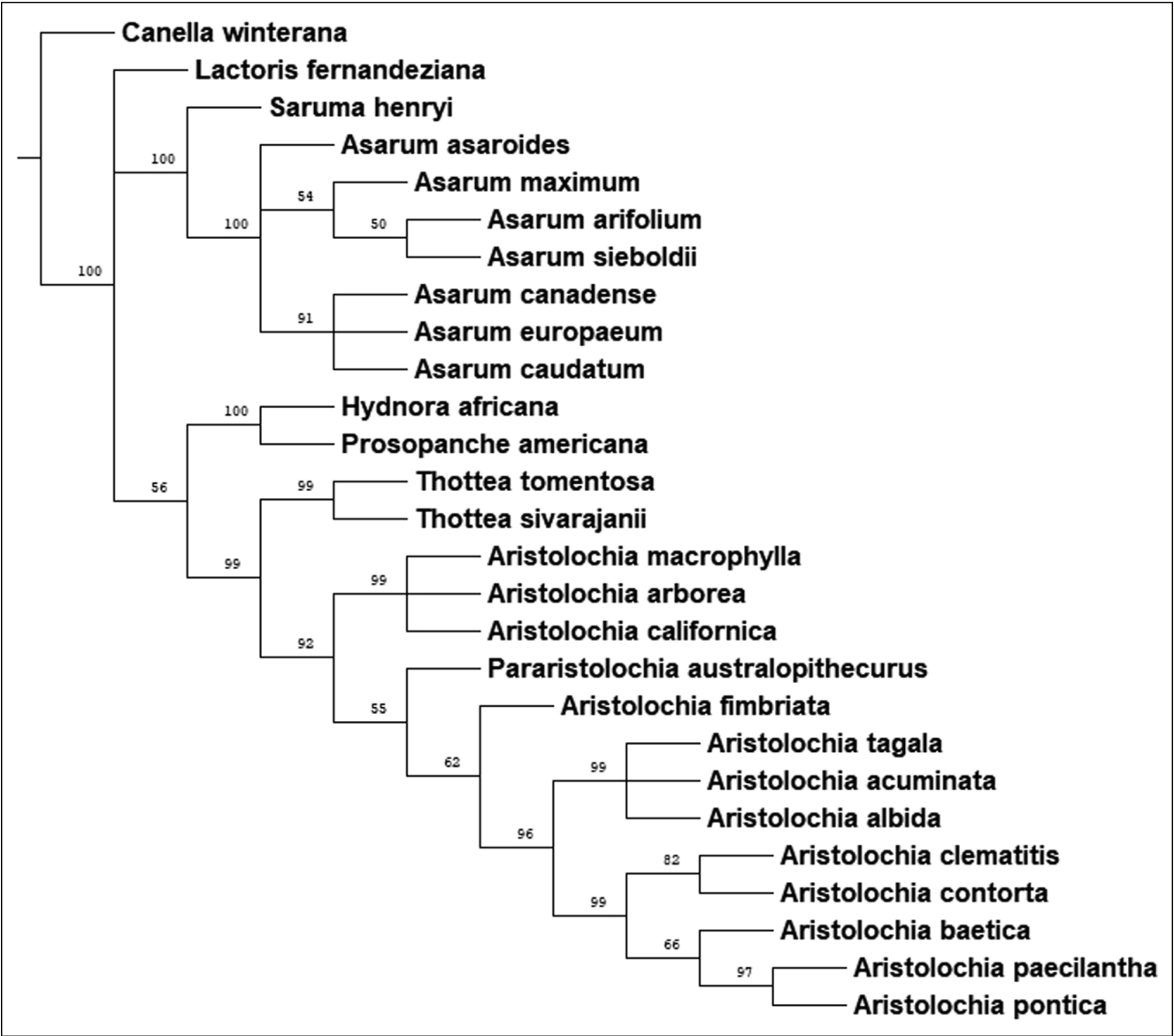


Рис. 4. Комплексная кладограмма семейства Aristolochiaceae *s.l.*

Fig. 4. Complex cladogram of Aristolochiaceae *s.l.*

Стоит заметить, что два сестринских таксона – *Hydnora* и *Prosopanche*, занимают также довольно близкое положение к основанию кладограммы и сестринское по отношению к *Aristolochioideae*. Первая бифуркация клады *Aristolochioideae* приводит к обособлению рода *Thottea*, сестринского по отношению ко всем остальным исследованным таксонам типового подсемейства. Терминальная часть кладограммы состоит преимущественно из видов рода *Aristolochia* и имеет довольно сложную структуру. Самое близкое к основанию положение из них занимают североамериканские виды, на следующей ступени расположен один южноамериканский вид, далее – азиатские и африканские, что говорит о том, что первые процессы расселения имели «гондванский» характер, затем расположены виды, произрастающие в Европе и, наконец, наиболее удаленное положение занимают произрастающие в Закавказье и на территории Аравийского полуострова кирказоны.

Из изученных нами таксонов *Aristolochiaceae s.l.* базальным видом является *Lactoris fernandeziana*, произрастающий на острове Робинзон-Крузо, входящем в состав архипелага Хуан-Фернандес, расположенного в 670 км от западного побережья Южной Америки. Основываясь на этих фактах и том положении, что *Magnoliidae*, в состав которых входят *Aristolochiaceae s.l.*, являются достаточно древней группой цветковых растений, мы делаем вывод о том, что это семейство возникло в западной части Гондваны, что также подтверждается результатами других исследований [Zavada, Benson, 1987; Coiffard et al., 2014; Quattrocchio, 2017]. Пыльца, сходная по структуре с пылью *Lactoris*, также была найдена в Южной Африке [Srivastava, Braman, 2010], что также подтверждает гондванское происхождение семейства.

Следующая бифуркация кладограммы представлена родом *Saruma*, произрастающим в Юго-Западном Китае, следовательно, мы можем допустить, что представители семейства распространялись из Южной Америки через западную часть Северной Америки и проникли, таким образом, в Азию. Предположительно, этот процесс происходил через Берингию и далее на юг, вплоть до современного ареала рода *Saruma*; это предположение косвенно подтверждается фактом высокой обособленности единственного рецессивного вида *Saruma henryi*. Предположительно, именно в этот период расселения гипотетический общий предок *Saruma* и *Asarum* дал начало и видам *второго рода*: а именно *A. asaroides*, который, по-видимому, произошел раньше всех на пути расселения на юг по Восточной Азии, *A. maximum*, распространившемуся также на восток Азии, *A. arifolium*, который вернулся (вероятно, через Берингию) в Северную Америку,

и *A. sieboldii*, также освоившему местообитания в Восточной Азии.

Позднее образовались другие виды рода *Asarum*, которые впоследствии двигались на запад. Европа, по-видимому, была некой транзитной территорией их переселения, и именно здесь «осел» типовой вид рода – *A. europaeum*. В дальнейшем некоторые виды *Asarum* пересекли северную Атлантику (вероятно, посредством дальнего транспорта, так как их плоды распространяются эпизоохорно) и обосновались в Северной Америке, продвинувшись на север, как, например, *A. canadense*, и на юг, как *A. caudatum* (рис. 5).

Представители другой, «тропической» клады имели иные треки расселения. Возникнув в западной части Гондваны, представители рода *Prosopanche* так и остались в ней, в дальнейшем расселившись по территории Южной Америки. Сестринская этому роду группа – род *Hydnora* – продвинулся на восток и переселился в дальнейшем на территорию Африки. Необходимо отметить, что, в отличие от *Prosopanche*, представители рода *Hydnora* являются более широко специализированными паразитами, которые в качестве хозяев используют представителей семейств *Fabaceae* и *Euphorbiaceae* [Meijer, 1993], что, по-видимому, позволило им распространиться дальше.

Параллельно этому происходили еще несколько процессов расселения других групп семейства.

Род *Thottea* также двигался на восток, но зашел дальше *Hydnora*, проникнув на территорию Индостана, в то время, когда он еще оставался ее частью Гондваны или был достаточно близок к ней. Уже после того, как Индостан стал частью Евразии, некоторые виды, в частности, *T. sivarajanii*, остались на его территории, а другие – *T. tomentosa* – переселились в Юго-Восточную Азию.

Другие представители типового подсемейства *Aristolochioideae* осваивали иные пути расселения. Группа видов рода *Aristolochia* проникла из западной части Гондваны в Северную Америку. Один из видов – *A. arborea* – остался на транзитной территории, в Центральной Америке, остальные двигались дальше на север. В последующем эти треки разделились, некоторые виды, как, например, *A. californica*, произрастающая в Калифорнии, Аризоне и Орегоне, заняли территории западного побережья Северной Америки, другие же – *A. macrophylla* – заселили восточное.

Наконец, происходил еще один процесс движения из Южной Америки на восток. Остальные исследованные виды *Aristolochia* и родственные таксоны проникли в восточные фрагменты Гондваны. Например, *Pararistolochia australopithecus* достиг Австралии, а *Aristolochia acuminata*, которая тоже

переселилась в Австралию, в дальнейшем двигалась на север и через Малазию достигла территории Юго-Восточной Азии. Другие же таксоны повторно (после представителей рода *Hydnora*) заселили тропическую часть Африки (*A. albida*). Некоторые виды и вовсе не продвинулись далее восточного побережья Южной Америки, примером таковых может служить *A. fimbriata*. Часть видов, например *A. tagala*, достигли Индостана и перебрались через него на территорию Евразии.

Когда современные евразийские виды *Aristolochia* достигли Евразии, их треки вновь разделились. Некоторые из них продвинулись на вос-

ток – в Восточную Азию. Другие же расселились на запад, а один из них (*A. clematitis*) расселился по умеренным областям Европы и Азии, другой вид (*A. baetica*) достиг территорий Юго-Западной Европы и добрался через Гибралтар до Северной Африки, освоив часть Атласа. Таким образом, произошло третье заселение Африки представителями этого семейства. В процессе этого движения на запад часть видов отклонились от общего трека на юг, в сторону Кавказа. Таким образом, один из видов (*A. pontica*) добрался до Закавказья, а другой (*A. paecilantha*) ушел еще дальше и заселил Западную Азию и часть Аравийского полуострова (рис. 6).

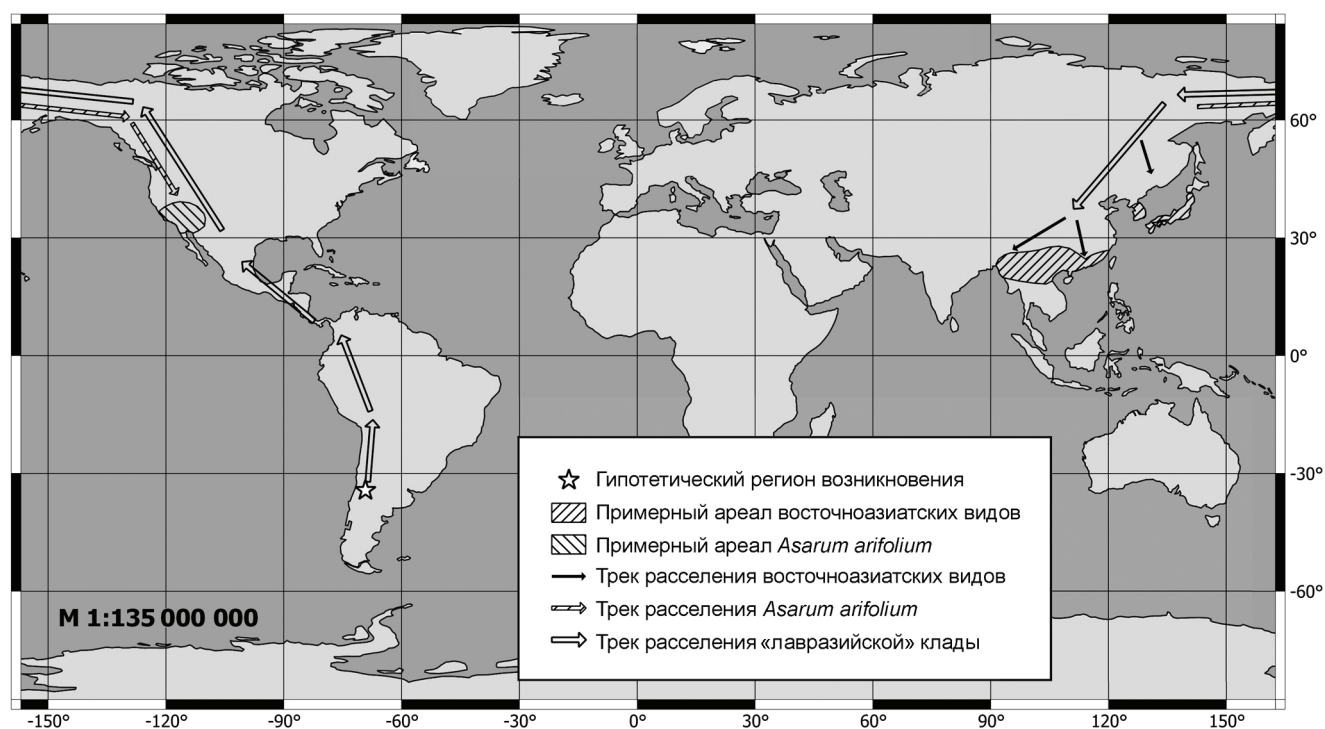


Рис. 5. Гипотетические треки расселения представителей «лауразийской» клады

Fig. 5. Probable tracks of distribution of “Laurasian” clade species

ВЫВОДЫ

На основании проведенного анализа были предложены гипотетические пути расселения представителей *Aristolochiaceae s.l.*, приведшего к формированию современного ареала семейства.

Предположительно семейство *Aristolochiaceae s.l.* возникло в западной части Гондваны (соответствующей современной Южной Америке), на это указывает базальное положение на комплексной кладограмме (см. рис. 4) монотипного рода *Lactoris* – эндемика архипелага Хуан-Фернандес, представляющего собой осколок южного мегаконтинента. Первая большая клада – «лауразий-

ская», представленная в современной флоре родами *Saruma* и *Asarum*, расселилась в Евразию через западную часть Северной Америки и Берингию, а затем распространилась (вероятнее всего, викарно) сначала в Азии, а затем в Европе, позднее, преодолев северную Атлантику, проникла в восточную часть Северной Америки. Таксоны, представляющие вторую основную («тропическую») кладу, либо дифференцировались на территории возникновения (*Prosopanche*), либо (таковых большинство) мигрировали из западной части Гондваны параллельно (и, вероятно, гетерохронно) в разных направлениях. Ближайшие предки рода *Hydnora* (либо древней-

шие представители уже этого рода) через расширяющийся Южный Атлантический океан проникли на Африканский материк, освоив различные регионы тропической Африки. Представители подсемейства Aristolochioideae ('core Aristolochiaceae') расселялись либо на север, в Северную Америку (*Aristolochia macrophylla*), либо продвигались на восток, осваивая (уже повторно) Африку, а затем расходящиеся фрагменты Восточной Гондваны – Индостан и Австралию (*Thottea*, *Pararistolochia*, большинство исследованных видов *Aristolochia*). После соединения Индостана с Евразийским материком виды *Aristolochia* распространялись по различным трекам. Одни таксоны (*A. contorta*, *A. tagala*) расселялись по территориям Восточной

Азии, другие (*A. paecilantha*, *A. pontica*) проникли в Западную Азию и на Кавказ, тогда как остальные (*A. clematits*, *A. baetica*) продвигались по территориям Древнего Средиземноморья вплоть до Юго-Западной Европы и Северной Африки (таким образом, заселив этот материк в третий раз).

Предложенная гипотеза описывает как достаточно тривиальные, так и весьма необычные треки расселения. Для верификации предложенной модели расселения Aristolochiaceae s.l. на следующем этапе работы мы планируем расширить состав анализируемых таксонов, привлечь палеоботанические данные, а также провести калибровку относительного геологического времени для основных событий расселения семейства.

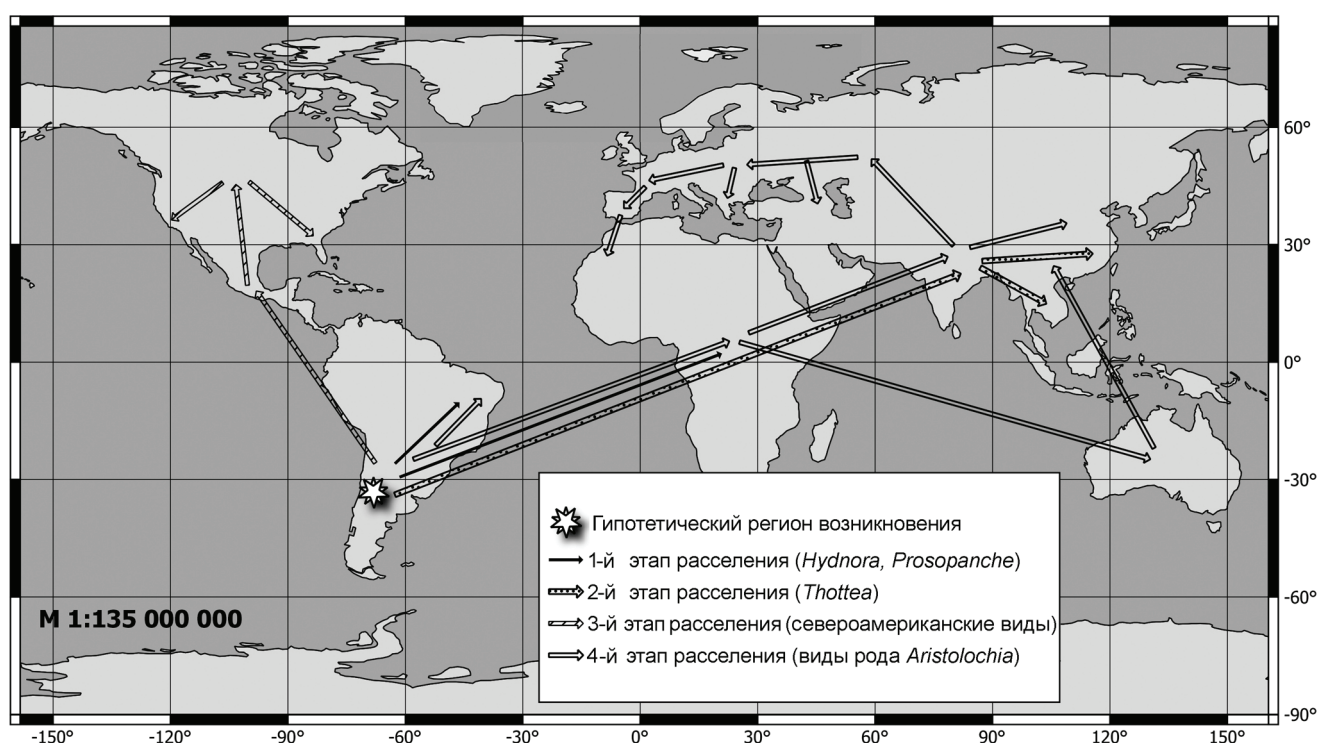


Рис. 6. Гипотетические треки расселения представителей «тропической» клады

Fig. 6. Probable tracks of distribution of tropical clade species

Благодарности. Авторы признательны Е.Г. Сусловой (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова) за ценные советы и важные замечания и М.В. Кувайцеву (Субтропический ботанический сад Кубани, Сочи) за любезную помощь в сборе материалов для исследований.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития МГУ (П. 1220; МВК, ВАВ, АВБ, АОГ, МСРос, АСГ, АДН) и в рамках ГЗ МГУ № 121051100137-4 «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды» в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» (МВК, ВАВ, АВБ, АОГ, МСРос, АСГ, АДН) и ГЗ Главного ботанического сада имени Н.В. Цицина РАН № 123120600006-9 «Репродуктивная биология, сравнительная морфология и структурная эволюция в ключевых группах семенных растений» (НСЗ, МСРом) на УНУ «Фондовая оранжерея».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамсон Н.И. Молекулярная и традиционная филогенетика. На пути к взаимопониманию // Труды Зоологического института РАН. Приложение № 2. 2013. С. 219–229.
- Трифонов В.И. Порядок Кирказоновые (Aristolochiales) // Жизнь растений. Т. 5 / под ред. А.Л. Тахтаджяна. М.: Просвещение, 1980. С. 172–175.
- Allio R., Nabholz B., Wanke S. et al. Genome-wide macro-evolutionary signatures of key innovations in butterflies colonizing new host plants, *Nature Communications*, 2021, vol. 12, 354, DOI: 10.1038/s41467-020-20507-3.
- APG III: Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2009, vol. 161, p. 105–121, DOI: 10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x.
- APG IV: Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2016, vol. 181, p. 1–20, DOI: 10.1111/boj.12385.
- Coiffard C., Mohr B.A.R., Bernades-de-Oliveira. *Hexagyne philippiana* gen. et sp. nov., a piperalean angiosperm from the Early Cretaceous of northern Gondwana (Crato Formation, Brazil), *Taxon*, 2014, vol. 63, p. 1275–1286, DOI: 10.12705/636.17.
- Cox C.B., Moore P.D., Ladle R.J. *Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach*, Hoboken, New York, Wiley-Blackwell, 2016, 496 p.
- Dauman E. Zur Bestäubungsökologie von *Aristolochia clematitis* L., *Preslia*, 1971, vol. 43, p. 105–111.
- De Groot H., Wanke S., Neinhuis C. Revision of the genus *Aristolochia* L. (Aristolochiaceae) in Africa, Madagascar and adjacent islands, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2006, vol. 151, p. 219–238, DOI: 10.1111/j.1095-8339.2006.00511.x.
- Hou D. *Aristolochiaceae, Flora Malesiana*, ser. 1, vol. 10, Steenis CGJ van (ed.), Dordrecht, Moscow, Noordhoff Publ., 1984, p. 53–108.
- Gottsberger G. Generalist and specialist pollination in basal angiosperms (ANITA grade, basal monocots, magnoliids, Chloranthaceae and Ceratophyllaceae): what we know now, *Plant, Diversity, Evolution*, 2016, vol. 131/4, p. 263–362, DOI: 10.1127/pde/2015/0131-0085.
- Heads M. *Biogeography of Australasia: A Molecular Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013, 503 p.
- Hennig W. *Grundzüge einer Theorie der Phylogenetischen Systematik*, Deutscher Zentralverlag, Berlin, Springer, 1950, 370 p.
- Hipolito J., Viana B. F., Selbach-Schnadelbach A. et al. Pollination biology and genetic variability of a giant perfumed flower (*Aristolochia gigantea* Mart. and Zucc., Aristolochiaceae) visited mainly by small Diptera, *Botany*, 2012, vol. 90, p. 815–829, DOI: 10.1139/b2012-047.
- Hoehne F.C. *Flora Brasílica*, vol. XV (II), *Aristolochiaceae*, São Paulo, SP, Secretaria Da Agricultura-São Paulo, 1942, 121 p.
- Huber H. *Aristolochiaceae, Families and Genera of Vascular Plants*, vol. 2, K. Kubitzki (ed.), Berlin, Springer, 1993, p. 129–137.
- Lomolino M.V., Riddle B.R., Whittaker R.J. *Biogeography*, Sunderland, MA, Sinauer Associates, Oxford, Oxford University Press, 2016, 730 p.
- Meijer W. *Hydnoraceae, Families and Genera of Vascular Plants*, vol. 2, K. Kubitzki (ed.), Berlin, Springer, 1993, p. 341–343.
- Morrone J.J. *Neotropical Biogeography: Regionalization and Evolution*, Boca Raton, FL, CRC Press, 2017, 312 p.
- Quattrocchio M.E. New fossil record of Lactoridaceae in the Paleogene of southern Patagonia (South America), *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 2017, vol. 19(1), p. 71–84.
- Quenouille M.H. Notes on Bias in Estimation, *Biometrika*, 1956, vol. 43, p. 353–360.
- Ross E.M., Halford D.A. *Aristolochiaceae, Flora of Australia*, vol. 2, A.J.G. Wilson (ed.), Melbourne, ABRS/CSIRO, 2007, p. 244–257.
- Skottsberg C. Derivation of the flora and fauna of Juan Fernandez and Easter Island, *The Natural History of Juan Fernandez and Easter Island*, vol. 1, Cambridge, Cambridge University Press, 1956, p. 193–438.
- Srivastava S.K., Braman D.R. The revised generic diagnosis, specific description and synonymy of the Late Cretaceous *Rosannia manika* from Alberta, Canada: It's phylogeography and affinity with family Lactoridaceae, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2010, vol. 159, p. 2–13, DOI: 10.1016/j.revpalbo.2009.10.003.
- Vogel S. Fungus-gnat flowers mimicking fungi, *Flora (Jena)*, 1978, vol. 167, p. 329–366.
- Zavada M.S., Benson J.M. First fossil evidence for the primitive angiosperm family Lactoridaceae, *American Journal of Botany*, 1987, vol. 74, p. 1590–1594.
- Электронные ресурсы**
- GenBank. National Library of Medicine, National Center of Biotechnology Information, URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/> (дата обращения 22.01.2022).
- Kukkonen I., Uotila P. On the taxonomy, morphology and distribution of *Asarum europaeum* (Aristolochiaceae), *Annales Botanici Fennici*, 1977, vol. 14, p. 131–142, <https://www.jstor.org/stable/43922136> (дата обращения 22.01.2022).
- Plants of the World Online, URL: <http://www.plant-softwareworldonline.org/> (дата обращения 20.01.2022).

Поступила в редакцию 20.03.2025

После доработки 15.07.2025

Принята к публикации 28.08.2025

THE HISTORY OF DISTRIBUTION OF THE FAMILY ARISTOLOCHIACEAE S.L.

M.V. Kandidov¹, A.O. Grechishkin², A.V. Bobrov³, V.A. Vasiliev⁴,
M.S. Roslov⁵, N.S. Zdravchev⁶, A.S. Goreva⁷, A.D. Novikov⁸, M.S. Romanov⁹

^{1-5, 7, 8} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

^{6, 9} Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences

¹ Department of Biogeography, Post-graduate student; e-mail: mvkandidov@mail.ru

² Department of Environmental Management, Post-graduate student; e-mail: alex_grechishkin@mail.ru

³ Department of Biogeography, Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: avfch_bobrov@mail.ru

⁴ Department of Biogeography, Post-graduate student; e-mail: vlad995fry@icloud.com

⁵ Department of Biogeography, Post-graduate student; e-mail: maxim.roslov@gmail.com

⁶ Researcher, Ph.D. in Botany; e-mail: zdravchevnikita@yandex.ru

⁷ Department of Biogeography, Post-graduate student; e-mail: gorevaas@yandex.ru

⁸ Department of Biogeography, graduate student; e-mail: alexeynovikov2109@gmail.com

⁹ Head of Laboratory, Leading Researcher, Ph.D. in Botany; e-mail: romanovmikhail5@gmail.com

Aristolochiaceae s.l., included in the order Piperales, consists of 8 genera (*Asarum*, *Saruma*, *Aristolochia*, *Thottea*, *Pararistolochia*, *Hydnora*, *Prosopanche* and *Lactoris*) and more than 700 species. [Plants..., 2022]. The geography of distribution and the history of the dispersal of this family are of great scientific interest in many terms, because species of this family live in different parts of the continents, thus forming disjunctions in their distribution areas. The range of the family covers the western and eastern coasts of America, North and Central Africa, North-East Australia, South-East and East Asia, Siberia and the most of Europe. During the work, the morphological, biological and ecological characteristics of the representatives of the family were studied. The analysis of the molecular genetic and morphological data of selected Aristolochiaceae s.l. taxa was carried out on the basis of the results of our own researches. We compared the results of the reconstruction of the probable distribution tracks with the available paleobotanical materials. The result of our work was the reconstruction of possible routes of settlement and methods of distribution Aristolochiaceae s.l. representatives, based on complex molecular-genetic and morphological data.

Keywords: biogeography, phytogeography, tracks of distribution, molecular analysis, cladistic analysis based on morphological features

Acknowledgements. The authors are grateful to E.G. Suslova (Lomonosov Moscow State University) for valuable advice and important comments and to M.V. Kuvaitsev (Kuban Subtropical Botanical Garden, Sochi) for kind assistance in collecting research materials.

The study was carried out with the support of the Moscow State University Development Program (P. 1220; MVK, VAV, AVB, AOG, MSRos, ASG, ADN) and within the framework of the Moscow State University Project no. 121051100137-4 "Spatio-temporal organization of ecosystems in the context of environmental change" within the framework of the Development Program of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Moscow State University named after M.V. Lomonosov "The Future of the Planet and Global Environmental Change" (MVK, VAV, AVB, AOG, MSRos, ASG, ADN) and the State Project of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences no. 123120600006-9 "Reproductive biology, comparative morphology and structural evolution in key groups of seed plants" (NSZ, MSRom) at the Scientific Research Institute "Stock Greenhouse".

REFERENCES

- Abramson N.I. Molekularnaya i traditsionnaya filogenetika. Na puti k vzaimoponimaniyu [Molecular and traditional phylogeny. On the way to understanding], *Trudy Zoologicheskogo Instituta Ros. akad. nauk* [Proceedings of Zoological Institute RAS], Appendix no. 2, 2013, p. 219–229. (In Russian)
- Allio R., Nabholz B., Wanke S. et al. Genome-wide macro-evolutionary signatures of key innovations in butterflies colonizing new host plants, *Nature Communications*, 2021, vol. 12. 354, DOI: 10.1038/s41467-020-20507-3.
- Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2009, vol. 161, p. 105–121, DOI: 10.1111/j.1095-8339.2009.00996.x.
- Angiosperm Phylogeny Group. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2016, vol. 181, p. 1–20, DOI: 10.1111/boj.12385.
- Coiffard C., Mohr B.A.R., Bernandes-de-Oliveira. Hexagyne philippiana gen. et sp. nov., a piperalean angiosperm

- from the Early Cretaceous of northern Gondwana (Crato Formation, Brazil), *Taxon*, 2014, vol. 63, p. 1275–1286, DOI: 10.12705/636.17.
- Cox C.B., Moore P.D., Ladle R.J. *Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach*, Hoboken, NJ, Wiley-Blackwell, 2016, 496 p.
- Dauman E. Zur Bestäubungsökologie von *Aristolochia clematitis* L., *Preslia*, 1971, vol. 43, p. 105–111.
- De Groot H., Wanke S., Neinhuis C. Revision of the genus *Aristolochia* L. (Aristolochiaceae) in Africa, Madagascar and adjacent islands, *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2006, vol. 151, p. 219–238, DOI: 10.1111/j.1095-8339.2006.00511.x.
- Gottsberger G. Generalist and specialist pollination in basal angiosperms (ANITA grade, basal monocots, magnoliids, Chloranthaceae and Ceratophyllaceae): what we know now, *Plant, Diversity, Evolution*, 2016, vol. 131/4, p. 263–362, DOI: 10.1127/pde/2015/0131-0085.
- Heads M. *Biogeography of Australasia: A Molecular Analysis*, Cambridge: Cambridge University Press, 2013, 503 p.
- Hennig W. *Grundzüge einer Theorie der Phylogenetischen Systematik*, Deutscher Zentralverlag, Berlin, Springer, 1950, 370 p.
- Hipolito J., Viana B.F., Selbach-Schnadelbach A. et al. Pollination biology and genetic variability of a giant perfumed flower (*Aristolochia gigantea* Mart. and Zucc., Aristolochiaceae) visited mainly by small Diptera, *Botany*, 2012, vol. 90, p. 815–829, DOI: 10.1139/b2012-047.
- Hoehne F.C. *Flora Brasílica, vol. XV(II), Aristolochiaceas*, São Paulo, SP, Secretaria Da Agricultura-São Paulo, 1942, 121 p.
- Hou D. Aristolochiaceae, *Flora Malesiana*, ser. 1, vol. 10, Steenis CGGJ van (ed.), Dordrecht, Moscow, Noordhoff Publ., 1984, p. 53–108.
- Huber H. Aristolochiaceae, K. Kubitzki (ed.), *Families and Genera of Vascular Plants*, vol. 2, Berlin, Springer, 1993, p. 129–137.
- Lomolino M.V., Riddle B.R., Whittaker R.J. *Biogeography*, Sunderland, MA, Sinauer Associates, Oxford, Oxford University Press, 2016, 730 p.
- Meijer W. Hydnoraceae, K. Kubitzki (ed.), *Families and Genera of Vascular Plants*, vol. 2, Berlin, Springer, 1993, p. 341–343.
- Morrone J.J. *Neotropical Biogeography: Regionalization and Evolution*, Boca Raton, FL, CRC Press, 2017, 312 p.
- Quattrocchio M.E. New fossil record of Lactoridaceae in the Paleogene of southern Patagonia (South America), *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales*, 2017, vol. 19(1), p. 71–84.
- Ross E.M., Halford D.A. Aristolochiaceae, A.J.G. Wilson (ed.), *Flora of Australia*, vol. 2, Melbourne, ABRIS/CSIRO, 2007, p. 244–257.
- Quenouille M.H. Notes on Bias in Estimation, *Biometrika*, 1956, vol. 43, p. 353–360.
- Skottsberg C. Derivation of the flora and fauna of Juan Fernandez and Easter Island, C. Skottsberg (ed.), *The Natural History of Juan Fernandez and Easter Island*, Cambridge, Cambridge University Press, 1956, vol. 1, p. 193–438.
- Srivastava S.K., Braman D.R. The revised generic diagnosis, specific description and synonymy of the Late Cretaceous *Rosannia manika* from Alberta, Canada: It's phytogeography and affinity with family Lactoridaceae, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2010, vol. 159, p. 2–13, DOI: 10.1016/j.revpalbo.2009.10.003.
- Trifonova V.I. Poryadok kirkazonovye (Aristolochiales) [Aristolochia order (Aristolochiales)], A.L. Takhtajan (ed.), *Zhizn' rastenii* [Life of Plants], vol. 5, Moscow, Prosveshchenie [Education Publ.], 1980, p. 172–175. (In Russian)
- Vogel S. Fungus-gnat flowers mimicking fungi, *Flora (Jena)*, 1978, vol. 167, p. 329–366.
- Zavada M.S., Benson J.M. First fossil evidence for the primitive angiosperm family Lactoridaceae, *American Journal of Botany*, 1987, vol. 74, p. 1590–1594.

Web sources

- GenBank. National Library of Medicine, National Center of Biotechnology Information, URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/> (access date 22.01.2022).
- Kukkonen I., Uotila P. On the taxonomy, morphology and distribution of *Asarum europaeum* (Aristolochiaceae), *Annales Botanici Fennici*, 1977, vol. 14, p. 131–142, <https://www.jstor.org/stable/43922136> (access date 22.01.2022).
- Plants of the World Online, URL: <http://www.plant-softheworldonline.org/> (access date 20.01.2022).

Received 20.03.2025

Revised 15.07.2025

Accepted 28.08.2025

ГЕОГРАФИЯ МИРОВОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 914/919

ДИНАМИКА СТРУКТУРЫ ТОРГОВЛИ МЕЖДУ РОССИЕЙ И КИТАЕМ С НАЧАЛА XXI в.

Жэнь Ян¹, В.А. Колосов²

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра географии мирового хозяйства*

² *Институт географии РАН, лаборатория геополитических исследований*

¹ *Аспирант; e-mail: reny@my.msu.ru*

² *Зав. лабораторией, проф., д-р геогр. наук; e-mail: kolosov@igras.ru*

Современная международная ситуация нестабильна. На глобальный экономический ландшафт и мировые рынки оказывают глубокое влияние геополитические конфликты, изменение климата и новые технологические революции. Несмотря на это, на фоне инициативы «Пояс и путь» и евразийской интеграции наблюдается постоянный рост внешней торговли между Китаем и Россией. Экономическое и торговое взаимодействие между двумя странами является важной основой их стратегического партнерства. Однако двусторонняя торговля составляет лишь относительно небольшую долю от объема внешней торговли Китая, и для нее по-прежнему характерна низкая добавленная стоимость продукции. В статье с помощью различных индексов анализируются масштабы двусторонней торговли между двумя странами за последние два десятилетия, анализируются ее конкурентоспособность и взаимодополняемость. Результаты расчетов показывают, что Китай имеет сильное конкурентное преимущество в экспорте трудоемких товаров, а Россия – в экспорте сырьевых товаров. Внешнеторговый оборот между двумя странами быстро растет и составляет все большую долю в общем объеме внешней торговли России. Несколько увеличилась и его доля во внешней торговле Китая. Стороны обладают большим потенциалом для дальнейшего развития экономического и торгового взаимодействия.

Ключевые слова: внешняя торговля, конкурентоспособность, взаимодополняемость, внутриотраслевая торговля, сравнительные преимущества, торговая интеграция

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.6

ВВЕДЕНИЕ

Китай и Россия обладают очевидными географическими и политическими предпосылками для сотрудничества. В 1990-е гг. развитие российско-китайских отношений прошло путь от добрососедских отношений и конструктивного партнерства до стратегического партнерства. Непрерывно ширилось сотрудничество между двумя странами в разных областях, стремительно развивалась двусторонняя торговля. Подписание в 2001 г. в Москве Президентом России В.В. Путиным и Председателем КНР Цзян Цзэмином Договора о добрососедстве, дружбе и сотрудничестве заложило прочную правовую основу для долгосрочного развития китайско-российских отношений в XXI в. и ознаменовало новый этап «партнерства стратегического взаимодействия». Совместная декларация, подписанная председателем КНР Ху Цзиньтао и президентом В.В. Путиным во время его визита в Китай

в 2006 г., является политической гарантией экономического и торгового сотрудничества. Визит председателя КНР Си Цзиньпина в Россию в 2015 г. и его участие в праздновании 70-летия Победы в Великой Отечественной войне стали важной вехой в дальнейшем углублении российско-китайских отношений. Подписание сторонами «Совместного заявления о сотрудничестве по сопряжению строительства Евразийского союза и Экономического пояса Шелкового пути» открывает путь к углублению взаимовыгодного сотрудничества во многих областях. В июне 2019 г. Председатель Си Цзиньпин и Президент В.В. Путин совместно объявили о начале новой эры всеобъемлющего стратегического сотрудничества и партнерства между Россией и Китаем. За последние 20 лет китайско-российские отношения прошли серьезные испытания и сохранили высокую динамику. Тем не менее потенциал экономического сотрудничества между двумя стра-

нами использован еще далеко не полностью. Внешнеторговый оборот между ними пока существенно меньше, чем, например, между Китаем и Соединенными Штатами, Республикой Корея, Японией и т. д. [Се, 2017].

Поэтому в условиях изменения глобальной ситуации важно своевременно корректировать содержание торгово-экономического сотрудничества, чтобы эффективно справляться с новыми вызовами. Исследование конкурентоспособности и взаимодополняемости китайско-российской торговли не только помогает понять текущую ситуацию и потенциал двусторонних торговых отношений, но и создает научную основу для оптимизации структуры торговли и продвижения региональной экономической интеграции.

О торгово-экономическом взаимодействии между Китаем и Россией опубликовано множество исследований [Кан, 2016]. Показано его растущее значение для обеих сторон. Китай является важнейшей страной-партнером для России, и экономические и торговые обмены, инвестиционное сотрудничество и гуманитарные обмены с Китаем оказывают значительное влияние на экономическое развитие страны [Кузык, Титаренко, 2006]. Поскольку две державы являются крупнейшими соседями, они могут совместно реагировать на новую ситуацию в мировой экономике только постоянно укрепляя региональное экономическое сотрудничество [Яковлев, 2007; Портяков, 2010].

Подробно проанализированы двусторонние договоры и правовые рамки российско-китайского сотрудничества, представлено видение перспектив экономического взаимодействия двух стран [Бажанов и др., 2013]. М.В. Потапенко [2011] считает, что в будущем России следует диверсифицировать экспорт, укреплять и межрегиональные связи с китайскими партнерами, а также развивать интерактивную торговлю в сфере высокотехнологичных отраслей между двумя странами. М.Л. Титаренко [2015] провел глубокое исследование ограничений сотрудничества между Россией и Китаем. На фоне обострения торговых противоречий между Китаем и США растет заинтересованность Китая и России в торгово-экономическом сотрудничестве, оно становится более разнообразным [Го, 2020]. Раскрыты многочисленные факторы, влияющие на торговлю между Китаем и Россией – внешние и внутренние, природные, социальные и культурные, политические и экономические, включая темпы экономического развития двух стран и уровень национального дохода [Дремина, 2011; Tumanova, 2022]. Рассмотрены совместные подходы к преодолению кризиса в финансовой, энергетической, транспортной, сельскохозяйственной и других сферах [Титаренко,

2018]. Для анализа китайско-российской торговли с 2005 по 2012 г. использованы индексы сравнительных преимуществ и взаимодополняемости; показано, что Китай и Россия торгуют в основном трудоемкими товарами [Лю, 2014]. С помощью количественных методов проанализированы изменения структуры торговли между двумя странами и рассмотрены возможности ее оптимизации [Yadav, 2021].

Однако пока еще изменения торговых связей между Китаем и Россией за длительный период не изучены всесторонне. Целью данной статьи является количественный анализ конкурентоспособности и взаимодополняемости российско-китайской торговли на фоне изменения ее масштаба с помощью системы индексов и других методов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Информация о внешней торговле между Китаем и Россией взята из базы данных статистики торговли сырьевыми товарами Организации Объединенных Наций (UN Comtrade), веб-сайта Министерства торговли Китая, а также веб-сайта Российской таможенной службы. Данные за 2000–2006 и 2007–2021 гг. основаны на одноразрядной товарной классификации Центра стандартной международной торговли ООН (Standard International Trade Centre, SITC Rev.3 и SITC Rev.4, соответственно). В основе этой классификации десять категорий товаров (табл. 1) в зависимости от степени их переработки: товары группы SITC 0–4 являются первичными продуктами, а SITC 5–8 – продуктами более глубокой промышленной обработки. В соответствии с различными производственными факторами товары SITC 0–1 обычно считаются ресурсоемкими, SITC 2–4 – энергоемкими, SITC 5 и SITC 7 – капиталоемкими, а SITC 6 и SITC 8 – трудоемкими.

В расчетах использован ряд индексов. Индекс сравнительных преимуществ (*RCA*) был предложен Б. Баласса в 1965 г. и представляет собой отношение доли экспорта определенного товара в общей стоимости экспорта страны к доле экспорта этого товара в общем объеме мирового экспорта. Этот индекс отражает относительное преимущество экспорта определенной отрасли или товара в стране по сравнению со средним мировым уровнем экспорта. Его можно использовать для определения того, какие отрасли в стране обладают конкурентными преимуществами [Balassa, 1965].

$$RCA_{ij} = \frac{X_{ij} / X_i}{X_{wj} / X_w}, \quad (1)$$

где RCA_{ij} – индекс сравнительных преимуществ определенных видов товаров, X_{ij} – объем экспорта товаров категории j в стране i , X_i – общий объем экспорта всех товаров в стране i , а X_{wj} – общий

мировой экспорт товаров категории j , X_w – общий мировой экспорт всех товаров. Значение RCA , превышающее 2,5, показывает, что продукт обладает высокой международной конкурентоспособностью и чем больше его значение, тем больше сравнительное преимущество. Значение RCA между 1,25 и 2,5 свидетельствует, что продукция страны высоко конкурентоспособна, между 0,8 и 1,25 – умеренно конкурентоспособна, а менее 0,8 – неконкурентоспособна [Vollrath, 1991]. Б. Баласса отмечал, что когда две страны экспортируют один и тот же товар и RCA этого продукта больше 1, то это означа-

ет, что он имеет равную конкурентоспособность на международном рынке. Если RCA продукта в одной стране больше 1, а в другой меньше, это говорит о том, что товар одной страны конкурентоспособен на международном уровне, а товар другой – нет. Эти две страны обладают определенной взаимодополняемостью в торговле. Индекс RCA выявляет различия между странами в обеспеченности факторами производства через относительный вес экспорта и может отражать конкурентные преимущества, обусловленные экономией на масштабе производства и более передовой технологий.

Таблица 1

Классификационная схема SITC

| Классификационный код товара | Товары |
|------------------------------|---|
| SITC 0 | Продукты питания и живые животные |
| SITC 1 | Напитки и табачные изделия |
| SITC 2 | Сырьевые непродовольственные материалы, кроме топлива |
| SITC 3 | Минеральное топливо, смазки и аналогичные материалы |
| SITC 4 | Животные и растительные масла, жиры и воски |
| SITC 5 | Химические и другие аналогичные продукты |
| SITC 6 | Промышленные товары, классифицируемые в основном по сырью |
| SITC 7 | Машины и транспортное оборудование |
| SITC 8 | Разные промышленные изделия |
| SITC 9 | Прочие товары |

Источник: составлено по [Статистический..., 2024].

Индекс торговой взаимозависимости (TCD) используется для измерения взаимозависимости двух стран во внешней торговле. Эту проблему рассматривали такие экономисты, как А. Браун (1943), но конкретный индекс (TCD), ставший классическим показателем близости двусторонних торговых отношений, был предложен и обоснован лишь значительно позже японским экономистом К. Цином (1964).

$$TCD_{ab} = (X_{ab}/X_a)/(M_b/M_w), \quad (2)$$

где TCD_{ab} – взаимозависимость во внешней торговле страны a и страны b , X_{ab} – экспорт страны a в страну b , X_a – общий объем экспорта страны a ; M_b – импорт страны b ; M_w – общий объем мирового импорта. Если $TCD_{ab} > 1$, это указывает на то, что страны a и b имеют тесные торговые связи. Этот индекс отражает связь между макроэкономической политикой и конкретными торговыми потоками и является одним из основных показателей в аналитике международной торговли. Он позволяет устранить влияние эффекта масштаба и в то же время выявить влияние институциональных механизмов, измерить силу взаимосвязей между спросом и предложени-

ем, отразить эффект масштаба (эффект рыночной концентрации) и количественно оценить риск рыночной зависимости.

Индекс взаимодополняемости торговли (TCI) разработан экономистом П. Драйсдейлом и измеряет взаимодополняемость торговли и степень близости торговых отношений между двумя странами, принимая во внимание сравнительные преимущества экспорта и импорта двух стран. Индекс TCI рассчитывается на основе индекса RCA экспорта и импорта. Смысл этого индекса заключается в том, что его значение велико, если торговля между двумя странами является взаимодополняющей, т. е. товары, на экспорте которых специализирована одна сторона, совпадают с товарами, импорт которых играет большую роль во внешней торговле другой. Устраняя торговые барьеры и увеличивая производство, можно усилить выгоду обеих сторон. Расчет индекса взаимодополняемости торговли показывает потенциал развития торговли между странами.

$$TCI_{ij}^k = RCA_{xi}^k \cdot RCA_{mj}^k, \quad (3)$$

$$RCA_{xi}^k = (X_i^k/X_i)/(W_k/W), \quad (4)$$

$$RCA_{mj}^k = (M_j^k/M_j)/(W_k/W), \quad (5)$$

где RCA_{ik} – сравнительное преимущество страны-экспортера i в производстве продукта k . Чем больше значение этого показателя, тем больше преимущество страны-экспортера в производстве продукта k . RCA_{mjk} – сравнительный недостаток конкурентных преимуществ страны-импортера j в производстве продукта k . Чем больше значение этого показателя, тем больше преимущество страны-экспортера в производстве продукта k . Если TCI больше 1, это указывает на то, что страна i имеет относительно высокую степень интеграции со страной j в экспорте товаров категории k . Если экспортные товары одной страны в большой степени соответствуют импорту другой, то индекс взаимодополняемости между двумя странами больше. Иными словами, чем более очевидна взаимодополняемость торговли, тем больше возможностей для ее развития [Ли и др., 2022]. Индекс TCI связывает спрос и предложение и отражает преимущество в предложении стран-экспортеров и разрыв в спросе стран-импортеров. Его разработка и анализ представляют собой развитие теории сравнительных преимуществ, преодолевая традиционную одностороннюю перспективу и реализуя сопоставление спроса и предложения.

Индекс внутриотраслевой торговли (Grubel and Lloyd, GL) отражает развитие и изменения уровня внутриотраслевой торговли [Bie, 2019]

$$GL_i = 1 - |X_i - M_i| / (X_i + M_i), \quad (6)$$

где X и M – объем импорта и экспорта страны, i – товары определенной категории. Значение GL варьирует в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе его значение к 1, тем больше в торговле двух стран роль внутриотраслевых обменов. Значение индекса больше 0,5 указывает на доминирование внутриотраслевой торговли, меньше 0,5 – межотраслевой. Чем выше GL , тем выше конкурентоспособность продукции двух стран, чем ниже GL , тем сильнее взаимодополняемость продукции двух стран. Индекс позволяет количественно оценить интенсивность двусторонней торговли в той или иной отрасли, отражая степень дифференциации продукции и глубину разделения труда в цепочке создания стоимости. Его основная ценность заключается в преобразовании абстрактной «степени взаимодополняемости» в конкретное «разделение труда» – ориентир для выработки дифференцированной политики сотрудничества. Сочетание индексов TCI и GL создает более полное представление о взаимодополняемости.

Эти индексы позволяют преодолеть разрыв между абстрактными теориями и оперативными параметрами принятия решений, обеспечить единство академической строгости и политической практичности. Поэтому эти индексы были выбраны для

оценки конкурентоспособности и взаимодополняемости двусторонней торговли между Россией и Китаем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ масштаба торговли между Китаем и Россией. Объем торговли между Китаем и Российской Федерацией увеличился с менее чем 10 млрд долларов США в 2000 г. до 55,05 млрд в 2008 г. Из-за финансового кризиса он снизился до 38,14 млрд в 2009 г., что на 30,7% меньше, чем в 2008 г. Однако в 2010 г. торговля между Китаем и Россией начала постепенно восстанавливаться, и темп ее роста превысил 40%, превзойдя рекордные показатели до финансового кризиса. В 2014 г. объем двусторонней торговли достиг 88,4 млрд долларов США при темпе роста почти в 30%. Украинский кризис 2014 г. привел к дестабилизации международной обстановки, цен на сырьевые товары и других факторов, падению курса рубля к основным валютам [Се, 2017]. В результате в 2015 г. объем торговли между Россией и Китаем сократился в годовом исчислении на 28,1% – до 63,55 млрд долларов. Однако с 2016 г. рост продолжился, и в 2018 г. оборот превысил 100 млрд долларов. Хотя в 2020 г. мировая экономика сократилась из-за последствий пандемии COVID-19 [Намжилова, 2020], объем двусторонней торговли остался на уровне 107,8 млрд долларов. В 2021 г. темп ее роста достиг 35,8%, а в 2023 г. она составила 240,1 млрд долларов (на 26,3% больше по сравнению с предыдущим годом). Таким образом, масштабы двусторонней торговли сохраняют устойчивую динамику (табл. 2).

Однако зависимость России от торговли с Китаем продолжает углубляться, о чем свидетельствует значительное увеличение доли двусторонней торговли в общем объеме внешней торговли России – с 5,84% в 2000 г. до 33,81% в 2023 г. Доля китайско-российской торговли в общем объеме внешней торговли Китая растет медленно: в 2000 г. она составляла 1,69% от общего объема торговли, а в 2023 г. достигла 4,04%. В то же время доля торговли с такими партнерами, как США, Япония и Республика Корея, в основном превышает 10% [Вардомский, 2000]. Таким образом, у китайско-российской торговли еще много возможностей для роста (рис. 1).

Анализ конкурентоспособности торговли Китая и России. RCA . На рисунках 2 и 3 показана динамика индекса сравнительных преимуществ (RCA) по каждому товару, экспортируемому Китаем и Россией в соответствии со стандартом классификации SITC с 2000 по 2021 г.

Таблица 2

Двусторонняя торговля между Китаем и Россией в 2000–2023 гг.

| Год | Общий объем двусторонней торговли между Китаем и Россией, млрд долл. США | Изменение общего объема двусторонней торговли между Китаем и Россией в годовом исчислении, % | Общий объем оборота российской внешней торговли, млрд долл. США | Доля двусторонней торговли в общем объеме товарооборота России, % | Общий объем оборота внешней торговли Китая, млрд долл. США | Доля двусторонней торговли в общем объеме торговли Китая, % |
|------|--|--|---|---|--|---|
| 2000 | 8,00 | 39,9 | 136,97 | 5,84 | 474,3 | 1,69 |
| 2001 | 10,67 | 33,3 | 141,85 | 7,52 | 509,77 | 2,09 |
| 2002 | 11,93 | 11,8 | 152,89 | 7,80 | 620,79 | 1,92 |
| 2003 | 15,76 | 32,1 | 191,00 | 8,25 | 851,2 | 1,85 |
| 2004 | 12,88 | 28,5 | 257,17 | 5,01 | 1154,7 | 1,12 |
| 2005 | 29,0 | 37,1 | 340,18 | 8,52 | 1422,1 | 2,04 |
| 2006 | 26,56 | 45,1 | 439,05 | 6,05 | 1760,0 | 1,51 |
| 2007 | 48,16 | 44,3 | 551,68 | 8,73 | 2173,8 | 2,22 |
| 2008 | 55,05 | 40,0 | 734,68 | 7,49 | 2561,63 | 2,15 |
| 2009 | 38,14 | –30,7 | 469,02 | 8,13 | 2207,22 | 1,73 |
| 2010 | 57,05 | 49,6 | 625,98 | 9,11 | 2972,76 | 1,92 |
| 2011 | 72,33 | 26,8 | 821,35 | 8,81 | 3642,06 | 1,99 |
| 2012 | 88,16 | 11,2 | 837,29 | 10,53 | 3866,76 | 2,28 |
| 2013 | 68,33 | –9,0 | 844,20 | 8,09 | 4168,96 | 1,64 |
| 2014 | 88,40 | 29,4 | 782,93 | 11,29 | 4302,80 | 2,05 |
| 2015 | 63,55 | –28,1 | 525,83 | 12,09 | 3948,91 | 1,61 |
| 2016 | 69,53 | 2,2 | 468,12 | 14,85 | 3664,10 | 1,90 |
| 2017 | 84,07 | 20,8 | 584,05 | 14,39 | 4114,31 | 2,04 |
| 2018 | 108,28 | 24,5 | 688,12 | 15,74 | 4614,33 | 2,35 |
| 2019 | 110,76 | 3,4 | 666,56 | 16,62 | 4573,3 | 2,42 |
| 2020 | 107,76 | –2,9 | 567,82 | 18,98 | 4660,95 | 2,31 |
| 2021 | 146,89 | 35,8 | 785,00 | 18,71 | 6060,89 | 2,42 |
| 2022 | 190,27 | 29,3 | 847,80 | 22,44 | 6259,60 | 3,04 |
| 2023 | 240,10 | 26,2 | 710,20 | 33,81 | 5936,83 | 4,04 |

Источник: составлено по [Федеральная..., 2024; Министерство..., 2024; Генеральная администрация..., 2024].

Согласно этому индексу, Китай имеет преимущества в экспорте продукции трудоемких, а также некоторых высокотехнологичных и капиталоемких отраслей. Индексы экспорта машин и транспортного оборудования (SITC 7), различных промышленных изделий (SITC 8), химических продуктов (SITC 5) и сырьевых промышленных товаров обычно выше 1, т. е. Китай обладает ярко выраженными сравнительными преимуществами. В то же время индексы RCA продуктов питания и напитков (SITC 0, SITC 1), минерального топлива и сырья (SITC 3, SITC 2) имеют относительно низкие или постепенно снижающиеся значения.

При этом RCA машин и транспортного оборудования (SITC 7) увеличился с 0,8 в 2000 г.

до 1,35 в 2021 г., преодолев рубеж 1,0 еще в 2003 г., что совпадает с датой вступления Китая в ВТО. Индекс «различных» промышленных товаров (SITC 8) снижался вследствие влияния роста стоимости рабочей силы на конкурентоспособность легкой промышленности. Индекс RCA ископаемого топлива (SITC 3) постоянно составляет менее 0,3, что подчеркивает зависимость Китая от импорта энергоносителей, особенно нефти, что, в свою очередь, влияет на конкурентоспособность химической промышленности (SITC 5).

В целом сравнительные преимущества китайского экспорта сместились с трудоемких отраслей (SITC 8) на отрасли с более высокой добавленной стоимостью (SITC 7).

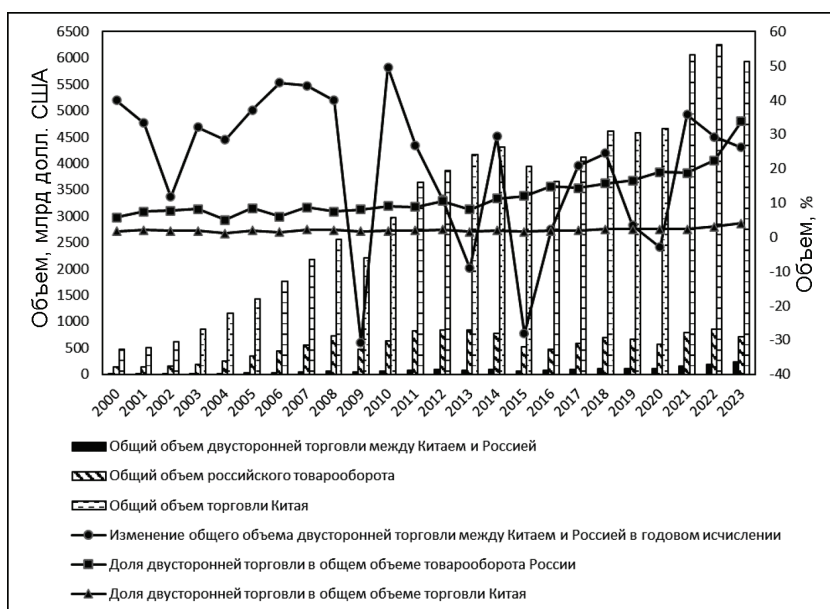


Рис. 1. Оборот в двусторонней торговле между Китаем и Россией в 2000–2023 гг.

Источник: составлено по [Федеральная..., 2024; Министерство..., 2024]

Fig. 1. Turnover of China-Russia bilateral trade, 2000–2023. Compiled by: [Federal..., 2024; Ministry..., 2024]

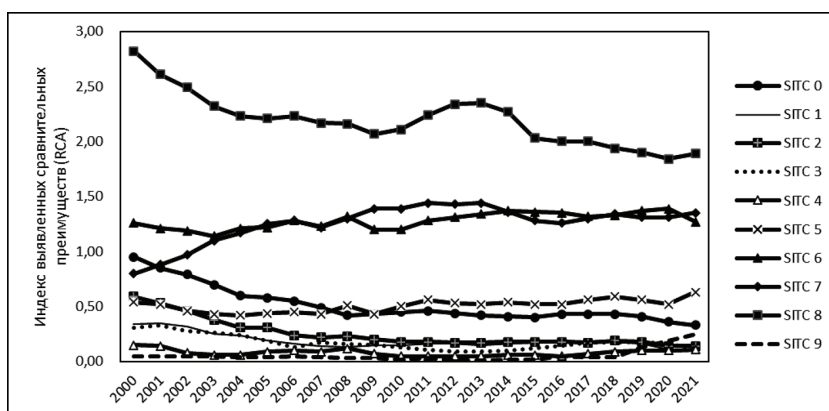


Рис. 2. Индекс сравнительных преимуществ экспорта Китая, 2000–2021 гг.

Источник: составлено по [Федеральная..., 2024; Министерство..., 2024]

Fig. 2. Revealed Comparative Advantage Index of China's exports, 2000–2021.

Compiled by: [Federal..., 2024; Ministry..., 2024]

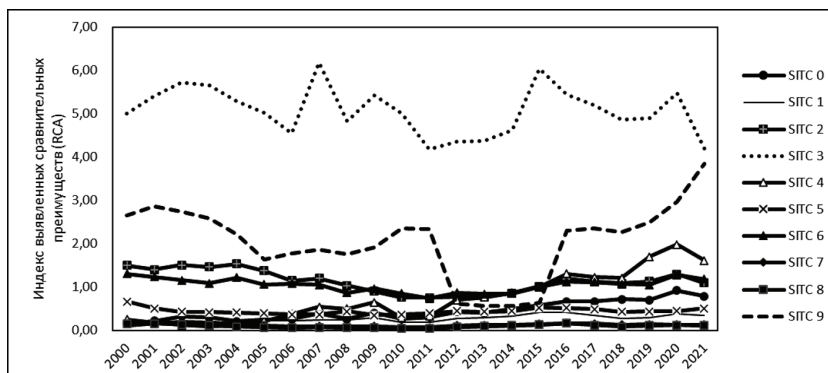


Рис. 3. Индекс сравнительных преимуществ экспорта России, 2000–2021 гг.

Источник: составлено по [Федеральная..., 2024; Министерство..., 2024]

Fig. 3. Revealed Comparative Advantage Index of Russian exports, 2000–2021.

Compiled by: [Federal..., 2024; Ministry..., 2024]

Российские промышленные товары (SITC 6), которые в основном классифицируются по сырью, имеют сравнительные преимущества на мировом рынке, хотя их производство требует инноваций для сохранения конкурентоспособности. В результате колебаний мировых цен на нефть *RCA* российского экспорта ископаемого топлива (SITC 3) колебался в течение рассматриваемого периода в диапазоне 4,17–6,18. Во время пандемии COVID-19 в 2021 г. индекс составлял 4,20, отражая ведущую роль энергоносителей в российском экспорте. С 0,25 до 1,61 увеличилось сравнительное совокупное преимущество сельскохозяйственного сектора России (SITC 0–4) (см. рис. 3). Благодаря богатым природным ресурсам России, некоторыми сравнительными преимуществами обладает и непродовольственное сырье (например, металлические руды, древесина и т. д. (SITC 2). Значение *RCA* «прочих» категорий товаров (SITC 9), если оно сохранится на уровне выше 3,0, может сформировать новую перспективную экспортную базу. Однако индексы *RCA* машин и транспортного оборудования (SITC 7), а также

«различных» промышленных товаров (SITC 8) постоянно ниже 0,2, что свидетельствует о слабой конкурентоспособности российского экспорта этих отраслей.

Сравнивая индексы выявленных сравнительных преимуществ Китая и России, можно заметить, что у двух стран сильными являются разные отрасли, но есть и взаимодополняющие. Машиностроение и транспортное оборудование являются основной конкурентоспособной областью китайского экспорта. Основой российского экспорта служили секторы добычи ископаемых видов топлива и непродовольственного сырья, постоянно росла конкурентоспособность продовольствия. Однако в экспорте капиталоемкой и высокотехнологичной продукции обе стороны не имеют значительных конкурентных преимуществ, и здесь кроется высокий потенциал дальнейшего развития и сотрудничества.

TCD. Согласно формуле индекса, степень торговой интеграции России с Китаем и Китая с Россией с 2000 по 2021 г. была рассчитана отдельно (рис. 4).



Рис. 4. Тенденции в индексе торговой интеграции Китая и России, 2000–2021 гг.

Источник: составлено по [Федеральная..., 2024; Министерство..., 2024]

Fig. 4. Trends in the index of trade combination degree between China and Russia, 2000–2021.

Compiled by: [Federal..., 2024; Ministry..., 2024]

В 2004 г. индекс интеграции торговли России с Китаем упал на 42% – с 1,38 до 0,77, что отражало нестабильный характер экономических взаимодействий между двумя странами. После финансового кризиса 2008 г. наметилась тенденция к росту индекса. И в 2014 г. он восстановился до уровня 0,74. В 2020 г., несмотря на влияние пандемии COVID-19, индексы обеих стран оставались практически стабильными, что свидетельствует об устойчивости торговли между странами.

Уровень торговой интеграции Китая с Россией (среднее значение 1,55) в целом выше, чем России с Китаем (среднее значение 1,07), и последний

более волатилен. Зависимость России от китайского рынка в последние годы стабилизировалась на высоком уровне. В основном это связано с ростом спроса на энергоносители на китайском рынке. С появлением инициативы «Пояс и путь» и Евразийского экономического союза углубилось экономическое сотрудничество между двумя странами, особенно в области производства продукции с высокой добавленной стоимостью: машин и оборудования, химикатов, электроники и потребительских товаров, и зависимость Китая от российского экспорта постепенно увеличивается (см. рис. 4).

Анализ взаимодополняемости торговли между Китаем и Россией. TCI. Согласно формуле, индекс торговой взаимодополняемости китайского экспорта и российского импорта, российского экспорта и китайского импорта с 2000 по 2021 г. рассчитан отдельно (рис. 5 и 6).

В эволюции этого индекса можно выделить три этапа. На первом (2000–2005) TCI продовольственных товаров (SITC 0) упал с 2,84 до 1,43 (на 49,6%), трудоемкой продукции – «различных» товаров (SITC 8) – стабильно оставался в диапазоне от 1,3 до 1,7, машиностроения (SITC 7) – вырос с 0,48 до 1,34, что свидетельствует об эффективности модернизации китайской промышленности. На втором этапе, в период глобального финансового кризиса (2006–2010) наблюдался рост взаимодополняемости обмена промышленными товарами. Значение TCI промышленных промежуточных товаров (SITC 6) стабилизировалось на уровне около 1,1, высокотехнологичной продукции – машин и транспортного оборудования

(SITC 7) превысило 1,5, а сельскохозяйственной продукции упало ниже 1,0, что отразило значительную трансформацию структуры торговли. На третьем этапе, с 2011 г., наблюдалось дальнейшее активное смещение взаимодополняемости китайского экспорта и российского импорта от сельскохозяйственной продукции к производству оборудования, а также от низкотехнологичной продукции к средне- и высокотехнологичной. Сохранилась сравнительно высокая взаимодополняемость в легкой промышленности. Иначе говоря, произошел переход от традиционной модели «ресурсы – потребительские товары» к новой модели «производственные мощности – рыночный спрос». Индексы «различных» товаров (SITC 8), машин и транспортного оборудования (SITC 7) достигли высоких значений (в 2013 и 2012 гг. соответственно 2,56 и 2,01). Для сравнения, в энергетическом секторе индекс TCI ископаемого топлива (SITC 3) всегда составлял менее 0,02, что отражает самообеспеченность России энергоресурсами (см. рис. 5).

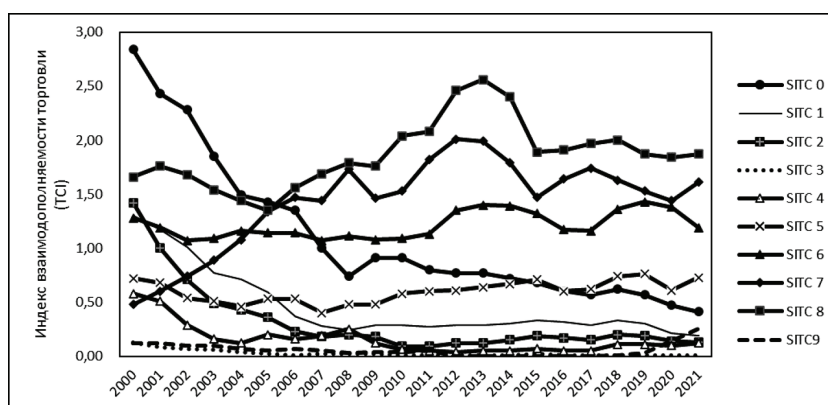


Рис. 5. Индекс взаимодополняемости торговли между китайским экспортом и российским импортом, 2000–2021 гг.
Источник: составлено по [Федеральная..., 2024; Министерство..., 2024]

Fig. 5. Trade complementarity index between Chinese exports and Russian imports, 2000–2021.
Source: compiled by [Federal..., 2024; Ministry..., 2024]

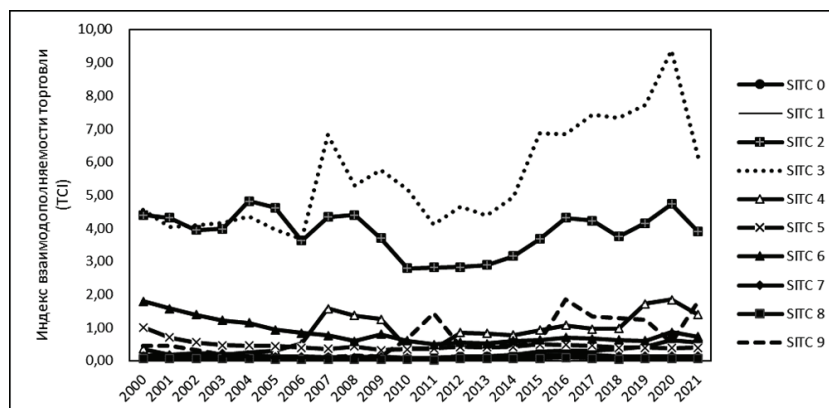


Рис. 6. Индекс взаимодополняемости торговли между российским экспортом и китайским импортом, 2000–2021 гг.
Источник: составлено по [Федеральная..., 2024; Министерство..., 2024]

Fig. 6. Trade Complementarity Index between Russian Exports and Chinese Imports, 2000–2021.
Source: compiled by [Federal..., 2024; Ministry..., 2024]

Структура российского экспорта и китайского импорта характеризуется абсолютным преобладанием энергоносителей. Среднее значение *TCI* торговли энергоносителями (SITC 3) составляет 5,62, достигнув в 2020 г. максимума в 9,38. Согласно индексу *TCI*, в торговле сырьем (SITC 2) происходил спад, за которым последовало постепенное восстановление: значение этого индекса в 2010 г. упало до минимума в 2,79, но к 2020 г. повысилось до 4,73. Совокупный *TCI* промышленных товаров (SITC 6, SITC 7, SITC 8) снизился с 2,02 в 2000 г. до 0,93 в 2021 г., т. е. на 54%. Значение *TCI* машин и транспортного оборудования (SITC 7) по-прежнему ниже 0,2, «различных» товаров (SITC 8) снизилось с 0,08 до 0,06. Индекс сельскохозяйственной продукции (SITC 0, SITC 1, SITC 4) показывал сильный рост. При этом значение *TCI* продовольствия (SITC 0) увеличилось с 0,07 в 2000 г. до 0,56 в 2021 г. Особенно значительно увеличилось значение *TCI* животных и растительных жиров и масел (SITC 4), составившее в 2021 г. 1,39 (см. рис. 6).

Таким образом, в российском экспорте в Китай по-прежнему преобладают энергоносители, но их в возрастающей степени дополняет сельскохозяйственная продукция. Взаимодополняемость в тор-

говле товаров, произведенных с использованием высоких технологий, слабая. В целом индекс показывает, что внешнеторговый оборот между Китаем и Россией – результат «вертикального» разделения труда и недостаточного «горизонтального» (внутриотраслевого) сотрудничества.

GL. Среднее значение индекса *GL* за все годы составляет всего 0,54, что еще раз свидетельствует о преобладании в китайско-российской торговле традиционной межотраслевой торговли. Только по трем товарным группам (SITC 1, SITC 5, SITC 7) индекс *GL* выше 0,7, что отражает наличие внутриотраслевого разделения. Кроме того, в торговле между двумя сторонами наблюдается значительная дифференциация по товарным группам. К группам с высоким индексом *GL* (более 0,8) относятся напитки и табак (SITC 1) с пиковым значением 1,0, химическая продукция (SITC 5) со значением в 2021 г. 1,0, а также машины и оборудование (SITC 7) со средним значением 0,83. К числу товарных групп с низким значением индекса *GL* (менее 0,3) принадлежат ископаемое топливо (SITC 3), животные и растительные масла и жиры (SITC 4). Внутриотраслевая торговля между Китаем и Россией заметна в химической промышленности и отчасти в машиностроении.

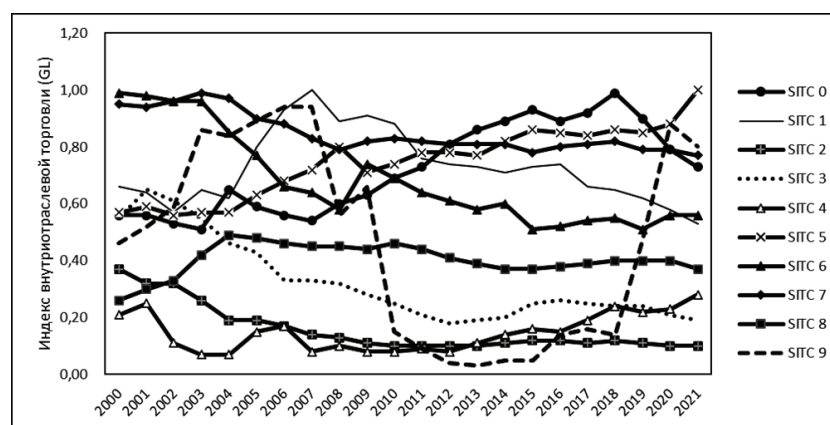


Рис. 7. Индекс внутриотраслевой торговли Китая и России, 2000–2021 гг.

Источник: составлено по [Федеральная..., 2024; Министерство..., 2024]

Fig. 7. Grubel-Lloyd index of China and Russia, 2000–2021.

Source: compiled by [Federal..., 2024; Ministry..., 2024]

Снижение среднего значения индекса *GL* в ресурсоемких отраслях свидетельствует о типичной вертикальной модели разделения труда и отсутствии взаимодействия при переработке сырья, несмотря на расширение торговли энергоносителями. Индекс *GL* трудоемких отраслей относительно стабилен: изменить позицию Китая как поставщика продукции легкой промышленности достаточно сложно.

ВЫВОДЫ

В экономическом и торговом сотрудничестве между Китаем и Российской Федерацией с начала нового века достигнуты значительные успехи, и его потенциал очень велик. Однако важно не только увеличение объема торговли, но и повышение ее «качества», т. е. изменение структуры торговли, повышение в экспорте обеих сторон доли товаров с высокой добавленной стоимостью. Структура внешней

торговли отражает уровень развития, экономический и научно-технический потенциал страны. Постоянное улучшение структуры торговли имеет большое практическое значение для долгосрочного развития сотрудничества и повышения статуса страны в международной экономической деятельности.

Изменения в торговом взаимодействии между Китаем и Россией характеризуются в основном следующим.

Переход от торговли сырьевыми товарами к ее более диверсифицированной структуре. В период с 2000 по 2010 г. Китай и Россия торговали в основном ископаемым топливом и сырьем – нефтью, природным газом, металлами, древесиной и т. д. Преобладала межотраслевая торговля. После 2010 г. по мере трансформации китайской экономики и диверсификации спроса на российском рынке, структура торговли начала постепенно расширяться за счет химической продукции с высокой добавленной стоимостью, машин и оборудования, других промышленных товаров.

Индекс двусторонней китайско-российской торговой интеграции высок, а торговые связи между двумя странами становятся все более тесными. Отрасли Китая и России, обладающие сравнительными внешнеторговыми преимуществами, не совпадают. Китай имеет очевидные сравнительные преимущества в трудоемких отраслях, а также в экспорте машин и транспортного оборудования. Россия располагает сильными конкурентными преимуществами в экспорте энергоносителей и сырья, а ее преимущества в производстве машин и транспортного оборудования постепенно снижаются. В торговле Китая и России сырьевыми товарами и продукцией трудоемких отраслей индекс взаимодополняемости растет, обмен продукцией машиностроения и транспортного оборудования постепенно также переходит к взаимодополняющему развитию. В химической промышленности и неко-

торых других отраслях постепенно растет внутриотраслевая торговля, но преобладают по-прежнему межотраслевые обмены.

Торговая взаимодополняемость между двумя странами более выражена, чем конкурентоспособность между ними, и существует большой потенциал для дальнейшего развития двусторонней торговли. По мере реформирования китайской политики, экономического развития и технологической модернизации китайский экспорт в Россию постепенно диверсифицируется, расширяясь от традиционных областей до новых, таких как сложные промышленные товары. Импорт Китая из России в основном состоит из химической продукции, древесины и изделий из дерева. Россия давно поставляет в Китай сырьевые продукты, получаемые из ископаемого топлива, и в то же время увеличила экспорт техники, в том числе военных технологий и оборудования.

По мере дальнейшего развития китайской экономики и диверсификации спроса на российском рынке обе стороны, вероятно, будут укреплять торговое сотрудничество в высокотехнологичных отраслях, электронике, технологиях защиты окружающей среды и других высокотехнологичных областях и услугах, а индекс внутриотраслевой торговли, по всей видимости, будет расти и дальше. Ожидается также, что внутриотраслевая торговля между двумя странами в области сельского хозяйства и пищевой промышленности продолжит расти по мере увеличения спроса Китая на российскую сельскохозяйственную продукцию, особенно на экологически чистые продукты питания. На фоне глобальной «зеленой» трансформации ресурсные преимущества России в энергетическом секторе и инновационный потенциал Китая в области «зеленых» технологий будут способствовать развитию сотрудничества в области новой энергетики, природоохранных технологий и «зеленой» экономики.

Благодарности. Теоретический раздел подготовлен Колосовым В.А. по теме Государственного задания ИГ РАН № 124032900015-3 (FMWS-2024-0008).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бажанов Е.П., Дацышен В.Г., Денисов А. и др. Россия и Китай: четыре века взаимодействия. История, современное состояние и перспективы развития российско-китайских отношений. М.: Весь мир, 2013. С. 299–408.
- Вардомский Л.Б. Приграничный пояс России: проблемы и тенденции развития // Россия и современный мир. 2000. № 2(27). С. 54–64.
- Дремина А. Исследование влияния акторов китайско-российской торговли // Харбинский инженерный университет. 2011. 52 с. (На китайском).
- Кан Чэнвэнь. Анализ китайско-российского торгового рынка и его потенциала // Экономика и торговля Севера. 2016. № 10. С. 1–5.
- Кузык Б.Н., Титаренко М.Л. Китай – Россия 2050. Стратегия сораживания. М.: Институт экономических стратегий, 2006. 656 с.
- Намжилова В.О. Панорама российско-китайской торговли и влияние пандемии COVID-19 // Азиатско-Тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2020. № 22(3). С. 51–67.

- Портяков В.Я. Видение многополярности в России и Китае и международные вызовы // Проблемы Дальнего Востока. 2010. № 4. С. 103–104.
- Потапенко М. В. Эволюция взаимных экономических интересов России и Китая // Вестник Рос. ун-та дружбы народов. Серия: Экономика. 2011. Т. 2. С. 40–48.
- Се Хайянь. Анализ конкурентоспособности и взаимодополняемости двусторонней торговли между Китаем и Россией в контексте строительства «Экономический пояс Шелкового пути» // Современный бизнес. 2017. № 34. С. 27–31.
- Сяоцун Г. Китайско-российское торгово-экономическое сотрудничество: новый прогресс и новые тенденции // Русский журнал. 2020. № 10(4). С. 23.
- Таотiao Л. Исследование конкурентоспособности и взаимодополняемости китайско-российской торговли // Тенденции развития социальных наук в колледжах и университетах. 2014. № 4. С. 6.
- Титаренко М.Л. Двусторонние отношения России и Китая – надежный фактор развития и процветания наших стран. М.: Институт Дальнего Востока РАН, 2018. С. 567–573.
- Титаренко М.Л. Надежные российско-китайские отношения – основа развития и процветания наших стран // Философские науки. 2015. № 1. С. 7–11.
- Туманова Т. Исследование структуры торговли товарами между Россией и Китаем и ее влияющие факторы. Шэньянский технологический университет, 2022. 84 с. (На кит.).
- Чжэн Л., Ин Л., Цзэнхуй Х. и др. Анализ конкурентоспособности и взаимодополняемости торговли чаем между Китаем и государствами – членами РСЕР // Наука о чае. 2022. № 42(5). С. 740–752.
- Яковлев А.Г. Россия, Китай и мир. М.; Пекин: Изд-во литературы по общественным наукам, 2007. 471 с.
- Balassa B. *Trade liberalisation and “revealed” comparative advantage*, The Manchester School, 1965, no. 33(2), p. 99–123.
- Bie S.J., Qi C.J. Study on the competitiveness and complementarity of agricultural products trade between China and “The Belt and Road” countries, *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, no. 40(11), p. 166–173.
- Brown A.J. Industrialization and trade: The changing world pattern and the position of Britain, *Royal Institute of International Affairs*, 1943, 71 p.
- Kojima K. The Pattern of International Trade Among Advanced Countries, *Hitotsubashi Journal of Economics*, 1964, no. 5(1), p. 16–36.
- Vollrath T.L. A theoretical evaluation of alternative trade intensity measures of revealed comparative advantage, *Weltwirtschaftliches Archiv*, 1991, no. 127(2), p. 265–280.
- Yadav P. An Analysis of the Commodity Composition of International Trade, *Geographical Perspectives on International Trade, SpringerBriefs in Geography*, Springer, 2021, p. 59–82.

Электронные источники

- Генеральная администрация таможенных органов Китайской Народной Республики, URL: <http://stats.customs.gov.cn/> (дата обращения 08.03.2024).
- Министерство коммерции Китайской Народной Республики. URL: <https://www.mofcom.gov.cn/tjsj/gb-dqmytj/index.html> (дата обращения 03.02.2024).
- Статистический отдел Организации Объединенных Наций. URL: <https://unstats.un.org/unsd/trade/sitcrev4.htm> (дата обращения 01.03.2024).
- Федеральная таможенная служба. URL: <https://customs.gov.ru/?ysclid=mf7qc3fi7r219101300> (дата обращения 12.05.2024).

Поступила в редакцию 11.12.2024

После доработки 15.05.2025

Принята к публикации 28.08.2025

DYNAMIC STRUCTURE OF BILATERAL TRADE BETWEEN RUSSIA AND CHINA SINCE THE BEGINNING OF THE 21st CENTURY

Zhen Yang¹, V.A. Kolosov²

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of World Economy

² Institute of Geography RAS, Laboratory of Geopolitical Research

¹ Postgraduate student; e-mail: reny@my.msu.ru

² Head of Laboratory, Prof., Dr. Sc. in Geography; e-mail: kolosov@igras.ru

The current international situation is volatile, and the global economic and trade landscape is being profoundly affected by geopolitical conflicts, climate change and emerging technological revolutions. However, the Belt and Road Initiative and the Eurasian integration are promoting a steady rise in the total volume of bilateral trade between Russia and China. Economic and trade interaction between the two countries is an important pillar of the China-Russia strategic partnership. But bilateral trade accounts for only a relatively low proportion of China's foreign trade volume, and there are still problems, e.g. low added value of products. A number of indices are applied to analyze the extent of bilateral trade between China and Russia over the past two decades, as well as its competitiveness and complementarity. The results of calculations show that China has a strong competitive advantage in the export of labor-intensive goods, while a strong competitive advantage of Russia is the export of primary goods. The bilateral trade volume between China and Russia has

shown vigorous growth, accounting for an increasing share of Russia's total foreign trade, while its share of China's total foreign trade has just slightly increased. Both sides still have high potential for further promoting of economic and trade cooperation.

Keywords: foreign trade, competitiveness, trade complementarity, intra-industry trade, comparative advantages, trade integration

Acknowledgments. The theoretical section was prepared by V.A. Kolosov on the topic of the State Assignment of the Institute of Geology of the Russian Academy of Sciences No. 124032900015-3 (FMWS-2024-0008).

REFERENCES

- Balassa B. Trade liberalisation and “revealed” comparative advantage, *The Manchester School*, 1965, vol. 33(2), p. 99–123.
- Bazhanov E.P., Datsyshen V.G., Denisov A. et al. *Rossiya i Kitaj: chetyre veka vzaimodejstviya* [Russia and China: four centuries of interaction. History, current state and prospects for the development of Russian-Chinese relations], Moscow, Ves Mir Publ., 2013, 704 p. (In Russian)
- Bie S.J., Qi C.J. Study on the competitiveness and complementarity of agricultural products trade between China and “The Belt and Road” countries, *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, vol. 40(11), p. 166–173.
- Brown A.J. Industrialization and trade: The changing world pattern and the position of Britain, *Royal Institute of International Affairs*, 1943, 71 p.
- Chengwen K. Analysis of the Sino-Russian trade market and its potential, *Northern Economy and Trade*, 2016, vol. 10, p. 1–5. (In Russian)
- Dremina A. *Research on the influence of actors of the China-Russia trade*, Harbin Engineering University, 2011. (In Chinese)
- Haiyan X. Analysis of competitiveness and complementarity of bilateral trade between China and Russia in the context of the construction of the “Silk Road Economic Belt”, *Modern Business*, 2017, vol. 34, p. 27–31. (In Russian)
- Kojima K. The Pattern of International Trade Among Advanced Countries, *Hitotsubashi Journal of Economics*, 1964, vol. 5(1), p. 16–36.
- Kuzyk B.N., Titarenko M.L. *Kitaj-Rossiya 2050. Strategiya sorazvitiya* [China-Russia 2050. Strategy of co-development], Moscow, In-te of Economic Strategies Publ., 2006, 656 p. (In Russian)
- Namzhilova V.O. Panorama rossijsko-kitajskoj trgovli i vliyaniye pandemii COVID-19 [Panorama of Russian-Chinese trade and the impact of the COVID-19 pandemic], *Pacific Rim: economics, politics, law*, 2020, vol. 22(3), p. 51–67. (In Russian)
- Portyakov V.Y. Videnie mnogopolyarnosti v Rossii i Kitae i mezhdunarodnye vyzovy [Vision of multipolarity in Russia and China and international challenges], *Problemy Dalnego Vostoka*, 2010, vol. 4, p. 103–104. (In Russian)
- Potapenko M.V. Evolutsiya vzaimnykh ekonomicheskikh interesov Rossii i Kitaya [Evolution of mutual economic interests of Russia and China], *Bulletin of the RUDN University. Series: Economics*, 2011, vol. 2, p. 40–48. (In Russian)
- Taotao L. Research on competitiveness and complementarity of Sino-Russian trade, *Trends of social sciences in colleges and universities*, 2014, vol. 4, p. 6. (In Russian)
- Titarenko M.L. [Bilateral relations between Russia and China – a reliable factor of development and prosperity of our countries], *Moya vtoraya rodina Kitaj* [My second motherland is China], In-te of the Far East of the Russian Academy of Sciences Publ., 2018, p. 567–573. (In Russian)
- Titarenko M.L. Nadezhnye rossijsko-kitajskie otnosheniya – osnova razvitiya i protsvetaniya nashih stran [Strong relations between Russia and China are the basis of development and prosperity of our countries], *Filisofskie nauki*, 2015, vol. 1, p. 7–11. (In Russian)
- Tumanova T. *Study of the structure of trade in goods between Russia and China and its influencing factors*, Shenyang Technological University, 2022, 84 p. (In Chinese)
- Vardomsky L.B. Prigranichny poyas Rossii: problemy i tendentsii razvitiya [The border belt of Russia: problems and development trends], *Rossiya i sovremennyy mir*, 2000, vol. 2(27), p. 54–64. (In Russian)
- Vollrath T.L. A theoretical evaluation of alternative trade intensity measures of revealed comparative advantage, *Weltwirtschaftliches Archiv*, 1991, vol. 127(2), p. 265–280.
- Xiaoqiong G. Sino-Russian trade and economic cooperation: new progress and new trends, *Russian Journal*, 2020, vol. 10(4), p. 23. (In Russian)
- Yadav P. An Analysis of the Commodity Composition of International Trade, Geographical Perspectives on International Trade, *SpringerBriefs in Geography*, 2021, p. 59–82.
- Yakovlev A.G. *Rossiya, Kitaj i mir* [Russia China and the World], Moscow, Beijing, Publishing house of literature on social sciences, 2007, 471 p. (In Russian)
- Zheng L., Ying L., Zhenhui H. et al. Analyzing the competitiveness and complementarity of tea trade between China and RCEP member states, *Tea Science*, 2022, vol. 2(5), p. 740–752. (In Russian)
- Web sources**
- Federal Customs Service, URL: <https://customs.gov.ru/?ysclid=mf7qc3fi7r219101300> (data access 12.05.2024).
- General Administration of Customs of the People's Republic of China, URL: <http://stats.customs.gov.cn/> (data access 08.03.2024).
- Ministry of Commerce of the People's Republic of China, URL: <https://www.mofcom.gov.cn/tjsj/gbdqmytj/index.html> (data access 03.02.2024).
- United Nations Statistics Division, URL: <https://unstats.un.org/unsd/trade/sitcrev4.htm> (data access 01.03.2024).

Received 11.12.2024

Revised 15.05.2025

Accepted 28.08.2025

ГЕОГРАФИЯ ГОРОДОВ

УДК 910.3

ИЗМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ГОДОНИМОВ МОСКВЫ КАК ОТРАЖЕНИЕ СОЦИАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

В.А. Колосов¹, М.В. Зотова²

^{1,2} Институт географии РАН, лаборатория геополитических исследований

¹ Зав. лабораторией, д-р геогр. наук; e-mail: vladimirkolossov@gmail.com

² Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: zotova@igras.ru

В статье анализируются способы интерпретации социальной реальности и производство символических ресурсов в Москве с помощью изменения системы топонимов – самого распространенного и наиболее употребительного класса топонимов в городе. Годонимы рассматриваются в работе как важный и наиболее динамичный элемент политического ландшафта города. В основе исследования лежит геоинформационная обработка и анализ базы данных, созданной с помощью выбора из всего массива московских годонимов портала «Электронная Москва» наименований, имеющих политические коннотации, а именно связанные с: 1) коммунистическим режимом и его реалиями; 2) деятелями культуры и искусства; 3) экономико-географическими объектами; 4) физико-географическими объектами. Изучены пространственные закономерности наименования улиц Москвы. Проанализировано использование в столице ключевых технологий (пере-)наименования улиц: «чистки», переучреждения, реституции, продвижения. Первая волна переименований после революции 1917 г. привела к значительному изменению политического и культурного ландшафта города за счет изменения более 65% названий, в первую очередь связанных с царскими династиями, дворянскими и купеческими родами, монастырями и храмами. Вторая волна, а именно постсоветская реституция, затронула лишь около 5% улиц, преимущественно расположенных в центре. В этой связи в современной системе названий московских улиц сохраняется высокая степень преемственности с советской эпохой и принятыми тогда принципами наименования. Более 30% годонимов по-прежнему напрямую связаны с коммунистическим режимом и его реалиями. По структуре годонимов Москва предстает прежде всего как центр исторической России, бывшего Московского княжества, а затем губернии и области. В столице сохраняется традиция кластеризации годонимов, заложенная еще в дореволюционное время. Проявляются как кластеры, приуроченные к местам ожесточенных столкновений революционных периодов, так и кластеры, связанные с регионами страны, находящимися с соответствующих сторон света, а также кластеры, приуроченные к расположению организаций, связанных с международной деятельностью, иностранными государствами и их представителями. В зеркале годонимов формируется образ Москвы как столицы России, собирающей окружающие территории, бывший центр великой империи и макрорегиона мира, крупной многофункциональной агломерации и мирового города.

Ключевые слова: политический ландшафт, столица, топоним, городская среда, географические названия, топонимический ландшафт

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.7

ВВЕДЕНИЕ

Москва – крупнейший город на постсоветском пространстве, одна из самых старых и в то же время относительно «молодых» столиц в Центрально-Восточной Европе. Нынешний облик Москвы ярко отражает драматические события, которые страна пережила в XX в.: две революции и крах Российской империи, приход к власти коммунистического режима и создание СССР, Великую Отечественную

войну, постепенное смягчение советской власти и распад Советского Союза. За столетие население города выросло как минимум в шесть раз, резко расширились границы самого города, он стал центром крупнейшей в России городской агломерации.

Городская среда, сложившаяся в ходе многовекового развития, представляет собой палимпсест, в котором наложились многие исторические слои, которые прослеживаются, в частности, в названи-

ях объектов, особенно годонимов¹. Они отражают определенный набор событий, имен отечественных и зарубежных деятелей, названий горных массивов, рек, городов и регионов в границах страны и за их пределами. Выбор годонимов и их изменения, как правило, носят ярко выраженный политический характер и могут служить зеркалом идеологических предпочтений властей.

Годонимы представляют собой один из элементов *политического ландшафта* города, понимаемого как территориально локализованный набор объектов и процессов, отражающих идеологию, политические ценности и нормы, и демонстрирующих идеологический контроль правящего режима и определенных социальных групп над территорией [Azaryahu, 1996; Klot, Mansfeld, 1997; Cosgrove, 1998; Kolosov, Zotova, 2023; Аксенов, 2024]. К понятию политического ландшафта близка концепция «город-текст» (*City-Text*) как взаимосвязанной, хотя и не лишенной противоречий системы представлений, определяющих политическую идентификацию географического места [Rózycki, 2018]. Множественные коллективные представления о городе рассматриваются как атрибут общественной жизни и условие его существования, фон и мотивация действий различных социальных групп [Débarbieux, 2021].

В противопоставление палимпсесту, скрывающему старые наслоения новыми, сегодняшний политический ландшафт городов ближе к интертексту, в котором зафиксированы все перемены в обществе и подчеркивается плюрализм социума, множественность социальных идентичностей и изменчивая современность, что позволяет людям сопереживать прошлому, актуализируя его в настоящем [Вендина, Гриценко, 2024]. Топонимический палимпсест предполагает раскрытие множественности места не только в контексте переименований через семиотический процесс переозначивания, но и в контексте его превращения в интертекст [Митин, 2021].

Годонимы интересны для исследования политического ландшафта тем, что они составляют самый распространенный и наиболее употребительный класс топонимов в городе. Процесс замены старых названий новыми (поиск, обсуждение и принятие решений о номинации вновь возникающих элементов улично-дорожной сети) продолжается непрерывно и, несмотря на возникающие волны массовых переименований, этот процесс сравнительно стабилен. Жители городов широко используют годонимы в повседневной практике, ассоциируя име-

на улиц с различными объектами и со своими перемещениями в пространстве.

Москва, как и любая столица, – один из главных национальных символов, арена реализации смелых градостроительных экспериментов и амбициозных проектов, источник политических и прочих инноваций. Старые названия исчезали с карты города, но одновременно появлялось еще больше новых, поскольку город постоянно расширялся. Имена около 5,5 тыс. элементов московской улично-дорожной сети – зеркало турбулентной новейшей политической истории страны, ее культуры, особенностей градостроительства, эволюции функциональной структуры и других общественных процессов. Процессы, происходящие в годонимическом ландшафте столицы, отличаются от переименований на региональном уровне [Герасименко и др., 2020; Вендина, Карпенко, 2023; Герасименко, Искалиев, 2021; Манакон, 2018], который в настоящей работе не рассматривается.

Цель настоящей работы – рассмотреть способы интерпретации социальной реальности и производство символических ресурсов политического ландшафта в Москве с помощью анализа сложившейся к настоящему моменту системы годонимов, имеющих очевидные политические коннотации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подходы к изучению географических названий, наименований и переименований. Изучение географических названий в городах и в первую очередь названий улиц превратилось за последние годы из раздела лингвистики, занимающегося главным образом семантикой и ономастикой, в новую междисциплинарную область, в которой используются также методы социальной и культурной географии, социологии, политологии и других наук [Rusu, 2021].

Топонимы традиционно рассматриваются географами как отражение или частное проявление социальных процессов. Различают собственно исследование географических названий – их историю и происхождение, значение, длительность существования и т. п. и изучение процесса наименования (*place-naming*), т. е. анализ географического и политического контекста, в котором возникла необходимость в новом названии, процедур его поиска, состава и интересов вовлеченных акторов, дискуссий и борьбы между ними.

Наименование или переименование географического объекта рассматривается как важный механизм концептуализации пространства. Цели переименований варьируют от демонстрации новых идеалов до создания новой версии национальной истории. Они могут быть связаны как со сменой государственной идеологии и политики, так и со

¹ В работе выбран годоним как вид урбонима для обозначения линейных объектов (улиц, в том числе проспектов, бульваров, аллей, набережных, проездов, переулков, линий и т. д.).

стремлением закрепить спорные территории, но в любом случае переименования формируют новые геокультурные и геополитические пространства [Герасименко и др., 2020].

Падение коммунистических режимов, вызвавшее кампании переименований во многих странах Центрально-Восточной Европы и бывшего СССР, совпал с бурным развитием критического подхода в социальных науках на теоретической базе, заложенной французскими философами Мишелем Фуко, Жаком Деррида и Пьером Бурдьё. Внимание исследователей все больше фокусируется на связи между названиями улиц и усилиями властей по укреплению или трансформации идентичности граждан на основе пересмотра официальной интерпретации исторического прошлого и конструировании пантеона отвечающих ей символических фигур – политических деятелей, военачальников, писателей, ученых и т. п. [Light, 2004]. Согласно современным исследованиям, номенклатура топонимов представляет собой часть аппарата управления. Их состав в населенном пункте интерпретируется как проявление идеологического контроля над территорией и социального неравенства. Власти монополизировали право на трактовку национальной истории в отражении топонимов и других географических названий. С одной стороны, топонимы как часть повседневной жизни и инструмент ориентации гражданина в городском пространстве влияют на восприятие истории и действовавших в ней персонажей и, следовательно, его национальную, этническую, региональную (городскую) идентичность, а с другой – определяются ею.

Отечественные исследователи выделяют три взаимосвязанных подхода к изучению наименований/переименований географических объектов – критическую топонимику, палимпсестный подход и (ре)концептуализацию места [Герасименко и др., 2020]. Критическая топонимика рассматривает топонимы как символы, вовлеченные в «создание мест» и топонимическое производство пространства [Басик, 2018], а процесс нейминга (наименования) как развитие символических значений места, конструирование социальных практик и обустройство мест общественного пользования. В рамках второго подхода наименования и переименования мест фиксируют формирование новых пластов культурного ландшафта как палимпсеста, а их масштаб и пространственный охват характеризуют новое состояние геокультурного пространства территорий [Герасименко и др., 2020]. В рамках третьего подхода топоним как местоназвание выступает единицей пространственной организации культурного ландшафта, выполняющей пространственно-организационную функцию и функцию концепту-

ализации места [Калуцков, 2008], а наименование или переименование объектов рассматривается как намеренное конструирование места картины мира индивида/сообщества или присвоение ему нового смысла и образа [Калуцков, 2020].

В культурно-географических исследованиях процесс наименований и переименований часто рассматривается как семиотический процесс конструирования нового образа окружающей реальности. Новый топоним индицирует новое значение места в контексте современных изменений в обществе, а нейминг – манифестацию власти в пространстве [Vuolteenaho, Berg, 2009].

В процессе наименования используется несколько технологий: а) «чистка» (*cleansing*) – избавление от топонимов, ассоциирующихся с прежними властями или политическим режимом; б) переучреждение (*refounding*) на новых основах и легитимация нового политического режима; в) реституция (*restoration*) – возвращение прежних названий как знака исторической преемственности, восстановления справедливости, самоопределения или возврата утраченных ранее территорий; г) продвижения (*promotion*) определенного бренда территории с помощью топонимов или персоналий, с которыми связаны позитивные коннотации, в целях обновления символического капитала и улучшения конкурентных позиций в привлечении новых жителей, инвесторов, туристов. Эти базовые технологии обычно используются совместно в разных пропорциях [Giraut, Houssay-Holzschuch, 2016].

Они широко применялись в кампаниях переименований во всех бывших социалистических странах и республиках бывшего СССР после краха коммунистических режимов. Эти кампании были поистине массовыми. Так, в Молдавии из примерно 700 улиц Кишинева в 1990-е гг. переименованы около 500 [Romanova, 2021]. В Будапеште в 1985–2001 гг. изменены названия около 1100 улиц [Palonen, 2008]. В Румынии в первые же годы после свержения Чаушеску переименованию подверглась каждая десятая городская улица [Rusu, 2021]. Этим переименованиям прежде всего в столичных, но иногда также и в других городах посвящено немало публикаций [Azaryahu, 1996; Rózycki, 2018; Palonen, 2008; Light, 2004; Rusu, 2021; Kudriavtseva, 2020; Romanova, 2021]. В большинстве этих исследований анализ политики наименования неразрывно связан с классификацией, изучением семантики топонимов.

Согласно многочисленным исследованиям, посткоммунистические переименования имеют сходную логику и последовательность. Во всех случаях эти кампании означали «чистку» – устранение наиболее одиозных в представлении новых правящих элит и общественного мнения названий, дан-

ных коммунистическими властями. В начальный период, сразу после падения коммунистического режима, переименования инициировались главным образом центральными властями и затрагивали общие для всех бывших социалистических стран названия, подчеркивавшие ориентацию на Советский Союз, например: улицы 1 Мая, 7 Ноября, Советской Армии, проспект Ленина, Московская площадь и т. п. Иными словами, первая посткоммунистическая волна переименований коснулась названий, имеющих наивысший идеологический потенциал, благодаря глобальной известности и значимости персоналий и событий, в честь которых были названы улицы и площади [Buchstaller, Fabiszak, 2021]. Вторая и последующие волны были инициированы не столько центральными, сколько местными властями. Эти волны были связаны с отрицанием роли Советского Союза во Второй мировой войне и приравниванием его к гитлеровскому режиму, интерпретацией послевоенной истории Центральной Европы как оккупации СССР, а затем с отрицанием русской культуры. С карт городов были устранены имена деятелей русской культуры – Пушкина, Толстого и др., а также национальных писателей, композиторов, ученых, обвиненных в сотрудничестве с коммунистическими властями.

Постсоциалистические переименования происходили неравномерно не только во времени, но и пространстве. В первую очередь новые названия получили улицы столиц и крупных городов, а потом уже реформы дошли до прочих городов и сельских поселений. Внутри городов менялись сначала названия крупных магистралей и ключевых площадей, улиц в исторических центрах [Rusu, 2021]. На Украине декоммунизация топонимии началась еще в 1991 г. и продвигалась гораздо активнее на западе страны, тогда как на русскоязычном юго-востоке она шла сравнительно вяло [Kudriavtseva, 2022]. Только после принятия серии законов в 2015 г. и после 2022 г. декоммунизация приняла тотальный характер. Под переименование попали все имена собственные и понятия советского и досоветского развития коммунистической идеи, которые использовались для пропаганды режима, например: *марксизм, трудящиеся, пятилетка, Красная Армия, партизаны* и т. п. Декоммунизация была одновременно попыткой вычеркнуть из истории страны не только советский период, но и более чем три с половиной столетия, в течение которых большая часть ее территории входила в состав единого государства с Россией.

Декоммунизация не была принята общественным мнением однозначно. В повседневной жизни многие граждане воспринимают привычные географические названия, не задумываясь об их идеологической нагрузке, и потому выступают про-

тив их изменений. Привычные, существующие многие десятилетия топонимы служат маркерами пространства, постоянно упоминаются в быту и кажутся совершенно лишними политических коннотаций, хотя на самом деле глубоко внедряются в общественное сознание [Azaryahu, 1996].

Яркий пример его консерватизма – многолетняя общественная дискуссия о переименовании станции метро Войковская в Москве, носящей имя одного из организаторов убийства императора Николая II и его семьи. В поддержку переименования выступили глава Русской православной церкви, многие авторитетные деятели культуры и видные чиновники. Однако на интернет-референдуме, организованном правительством Москвы, 53% участников проголосовали против переименования (за – 35%). Хотя репрезентативность референдума дискуссионна, большинство наблюдателей считают его результаты соответствующими общественному мнению [Дверь..., 2024].

Главным смыслом реформы городской топонимии в результате декоммунизации стало переучреждение всей ее системы, в основу которой лег национализм – почитание правителей прошлого, способствовавших формированию национального государства и расширению территории, коммеморация периодов наибольшего его влияния, национальных поэтов и других деятелей культуры, героических битв и борцов за национальную независимость, в том числе против «советской оккупации» и коммунистического режима [Palonen, 2008; Young, Kaczmarek, 2008].

Например, в Венгрии памятники и топонимы увековечивают память об антикоммунистическом восстании 1956 г., на Украине – восславляют историю Киевской Руси, казачества, писателей и историков, деятелей национальной культуры и призваны укрепить украинскую политическую и этническую идентичность, обосновывая древнее происхождение украинцев и их демократические традиции, преемственность нынешнего украинского государства с протогосударственными образованиями прошлого.

Наряду с этим наблюдалась тенденция к регионализации и локализации топонимов, в отличие от коммунистического периода, когда власти повсеместно применяли одинаковый набор топонимов. Новые названия гораздо теснее связаны с историей регионов и городов, именами местных деятелей. Налицо также деидеологизация и демилитаризация топонимии: увеличилась доля топографических топонимов, связанных с реками, горами, урочищами, близлежащими населенными пунктами и т. п. [Rusu, 2021]. Эти тенденции отражают как стремление к стабилизации названий,

так и относительное усиление региональной и локальной идентичности, заинтересованность в этом процессе местных элит.

Названиям улиц Москвы посвящены многочисленные публикации. До 1970-х гг. исследователи были сосредоточены главным образом на анализе образования топонимов и других городских топонимов в рамках традиционной ономастики как раздела лингвистики. Однако постепенно изучение московской топонимии становилось все более широким и междисциплинарным, и все больше внимания уделялось этимологии [Поспелов, 1985; Соколова, 1985]. Названия московских улиц рассматривались в контексте истории столицы, ее связей с крупнейшими русскими городами и географическими ориентирами разных времен, а также с индустриальными, миграционными и культурными взаимодействиями в рамках СССР [Саушкин, Глушкова, 1983]. Были выдвинуты версии происхождения названий многих исторических улиц Москвы, рассмотрена история советских топонимов, обоснованы принципы номинации внутригородских объектов [Смолицкая, Горбаневский, 1982; Аверьянов, 2009], рассмотрено соотношение топонимов с радиально-кольцевой планировочной структурой и расширением города, выделены некоторые их категории, в частности по названиям поселений, вошедших в черту столицы или расположенных недалеко от нее. Особенно хотелось бы отметить последнюю книгу Ю.К. Ефремова (1913–1989), географа, историка и многолетнего члена Комиссии по наименованиям улиц при Московском совете [Ефремов, 2006], на которую опирается часть этой работы. В трудах советских и российских ученых установлена общая тенденция к увеличению числа и доли коммеморативных топонимов, показано неуклонное вытеснение в советское время исторических названий, нередко замещаемых топонимами, абстрактными по видимости, но имеющими выраженное идеологическое звучание. Практически все авторы приветствовали формирование локально-тематических групп, или кластеров названий сходной тематики. Специально изучались переименования. В некоторых публикациях отмечена идеологическая и «воспитательная» значимость советских названий [Поспелов, 1985; Соколова, 1985], однако детально и систематически она не была проанализирована. Мало изучена роль всей системы московских топонимов как элемента политического ландшафта города, ее изменения во времени, соотношение разных категорий названий, их специфика, связанная со столичным статусом, в том числе международными функциями, наконец, принципы наименования улиц в Новой

Москве. Настоящая работа, естественно, не может полностью восполнить эти пробелы и нацелена прежде всего на анализ динамики системы топонимов за последнее столетие.

Информационная база и методы. Исследование основывается на базе данных, в которую из всего массива московских топонимов (5376 по состоянию на июнь 2024 г.) авторами было отобрано 727 наименований, имеющих наиболее очевидные политические коннотации, а именно связанные с: 1) коммунистическим режимом и его реалиями, в том числе участниками революций, руководителями советского государства, зарубежными деятелями коммунистического движения; 2) деятелями культуры, искусства, науки, спорта; 3) экономико-географическими объектами (странами, регионами, городами, отраслями хозяйства, предприятиями и т. д.); 4) физико-географическими объектами (реками, горами, озерами и т. д.) (рис. 1).

Первичным источником информации послужил сайт портала «Электронная Москва» [Электронная Москва, 2024]. Затем данные верифицировались по Общемосковскому классификатору улиц Москвы (ОМК УМ), portalу открытых данных Правительства Москвы [Портал открытых..., 2024]. Далее экономико- и физико-географические объекты были категоризированы одновременно по географическому (уровню стран и федеральных округов РФ) и тематическому принципам (см. категории выше). При создании базы данных изучалась история названия улицы, выявлялись ложные или неочевидные² географические названия. Помимо названия улицы, в базу данных были включены год ее наименования, название района и округа Москвы, где она расположена, предыдущие названия и год переименования (при наличии). Особого внимания потребовал учет улиц, которые недавно вошли в состав города, так как многие из них еще не включены в официальные списки, и иногда их названия дублируют уже существующие улицы. При помощи автоматизированного геокодирования места расположения объектов были привязаны к виртуальной карте в ГИС-проекте, созданном в картографическом сервисе QGIS. Качественный анализ проводился на основе кросс-анализа сведений о местоположении улицы и прочей вспомогательной информации для выявления пространственных закономерностей их размещения на территории Москвы.

² Например, Вятская улица названа не по реке Вятке – ее название происходит от слова «вязь». Первоначально улица именовалась «Вязкая». Ростовская набережная названа в честь ростовских архиереев, а не города Ростова, Иерусалимская улица – в честь церкви Иерусалимской иконы Божьей Матери, а не города Иерусалима и т. д.

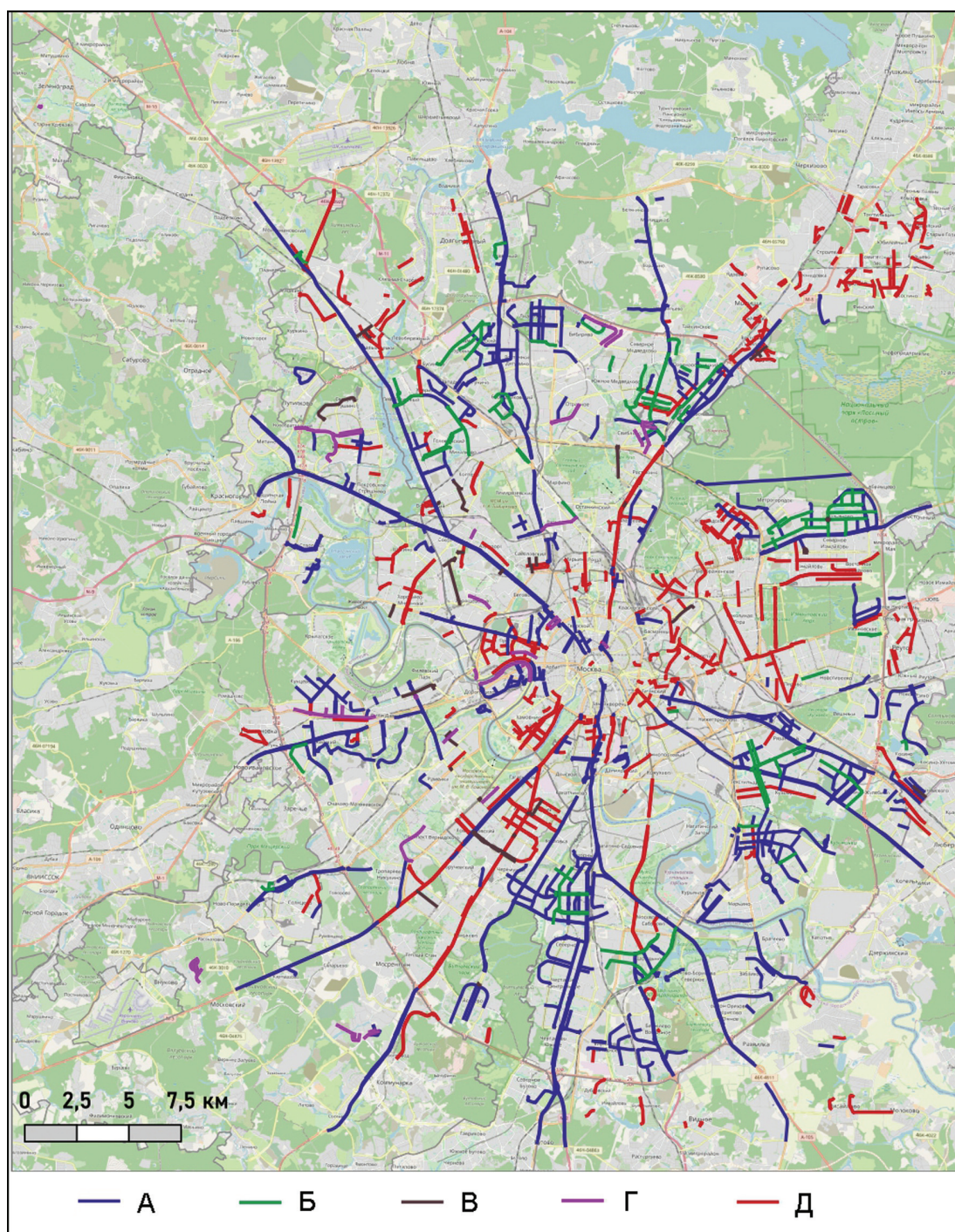


Рис. 1. Типы названий улиц в Москве:

А – по городам, странам, областям; Б – по физико-географическим объектам; В – по именам политических деятелей; Г – по именам деятелей культуры и науки; Д – «коммунистические». *Источник:* составлено А.П. Соболевской по данным портала [Электронная Москва..., 2024]

Fig. 1. Types of street names in Moscow:

A – by cities, countries, regions; Б – by physical-geographical objects; В – by political figures; Г – by cultural and scientific figures; Д – “communist”. *Source:* compiled by A.P. Sobolevskaya and based on data from the portal [Electronic Moscow..., 2024]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Турбулентное столетие: содержание и смена эпох в названиях столичных улиц. «Чистки» гонимов характерны для периодов сильных со-

циальных потрясений. После Октябрьской революции 1917 г. переименования сильно затронули исторический центр города внутри Садового кольца, в котором за годы советской власти было изменено около 400 названий из тогдашних примерно 600

[Ефремов, 2006]. Коммунистические переименования происходили не только в виде «взрыва», следовавшего за приходом к власти большевиков, но и кампаниями меньшего размаха, и продолжались непрерывно: старые названия менялись в ознаменование юбилейных дат, после смерти «видных деятелей партии и правительства», лидеров коммунистических партий. Таким образом, из политического и культурного ландшафта была убрана весомая часть памяти о восьми веках истории столицы (см. рис. 1).

Многие улицы приобрели одинаковые названия из ограниченного идеологического набора, единого для всей страны: 1 Мая, Октябрьская, Советская, Социалистическая, Коммунистическая, Коммунаров, Красноармейская, Красногвардейская и т. п. Помимо «общесоциалистических», выделяются группы названий, связанных с Московским восстанием в период первой русской революции 1904–1905 гг. и событий 1917 г. При этом обозначилась московская традиция кластеризации топонимов, заложенная еще в дореволюционное время. Большинство переименований в память о революции 1905 г. локализовано в промышленном районе Пресня на северо-западе, где происходили наиболее ожесточенные столкновения восставших с правительственными войсками.

В 1922 г. была образована специальная комиссия при Московском совете, которой было поручено выносить заключения о предложениях по переименованию и упорядочить их [Поспелов, 1985]. Отражая общественное недовольство переименованиями, комиссия в меру возможности сопротивлялась произволу чиновников, стремилась минимизировать негативные для исторических названий последствия идеологических кампаний. Впрочем, вплоть до самого конца советского периода переименования нередко происходили по прямому указанию высших властей в обход комиссии. Со временем, несмотря на повторявшиеся время от времени вспышки преобразований в сложившейся части города, их интенсивность в целом снижалась, и они далеко не всегда были идеологизированными.

Тем не менее в истории московской топонимии сохранились последствия искоренения названий, содержащих корень «царь», часто не имевших никакого отношения к царям. Более того, происходила массовая чистка названий, происходивших от личных имен российских царей – Михаил, Николай, Алексей, Петр, Александр и др. Переименованы многие улицы, названные по домовладельцам. Уничтожались также топонимы, связанные с названиями «эксплуататорских классов» – дворян, купцов, фабрикантов, и именами людей, происшедших из этих сословий, несмотря ни на какие их

заслуги. Наряду с массовым сносом церквей, в том числе исторических, имевших несомненную архитектурную и культурную ценность, переименовывались и названные по ним улицы.

Визитной карточкой советской Москвы, частью ее образа были промышленные предприятия, особенно крупные, занимавшие целые кварталы. Жилье и общежития крупных заводов, принадлежавшие им поликлиники, дома культуры и стадионы обычно строили неподалеку, поэтому деятельность таких предприятий определяла жизнь в обширном районе города. По ним названы многие улицы (Автозаводская, Электrozаводская, Хлебозаводская, Кабельная, Шарикоподшипниковская, Вагоноремонтная, Мартеновская, Силикатная, Хлебобулочная и др.). Многие улицы наименованы по массовым рабочим профессиям (Металлургов, Сталеваров, Строителей и др.). Эти отнюдь не романтические названия имели и идеологическое значение: в советской риторике большое место принадлежало восхвалению рабочего класса как социальной опоры государства, акцентированию передовой роли рабочих в обществе.

Уже начиная с первых лет советской власти быстро возрастало число и доля коммеморативных топонимов, призванных создать новый набор символических фигур. Московский (центральный) пантеон имел особое общегосударственное значение. В первую очередь в него были внесены К. Маркс и Ф. Энгельс, но прежде всего Ленин. Его имя вошло в топонимы во всех производных – Ленинский проспект, улица Ленинская Слобода, Ленинские горы, площадь Ильича, Ульяновская улица. На ранних этапах многие улицы получили имена революционеров-демократов царского времени, руководителей и участников восстаний 1905 и 1917 гг., героев Гражданской войны 1918–1922 гг. Позже пантеон постоянно пополнялся именами скончавшихся партийных руководителей.

Наследие советского периода в топонимии Москвы, как и других советских городов, – обилие топонимов, происходящих от реалий тех лет и имеющих очевидную коннотацию с коммунистическим режимом, например улица Юннатов (Юных натуралистов), Совхозная, Коминтерна. 48 названий начинаются с корня «красно-». Большая их часть либо прямо соотносится с символом революционной борьбы и советским флагом, либо представляет собой производные от него. Даже такие, казалось бы, абстрактные названия, как улица Юности, улица Дружбы или Солнечная ясно отсылают к коммунистическому прошлому, так как отражают официальную идеологию социального оптимизма. Название улицы Юности связано с расположением на ней Высшей комсомольской школы. Улица Дружбы по-

лучила свое название в 1958 г. – период «нерушимой дружбы» между КНР и Советским Союзом, поскольку на ней находится посольство Китая.

Важная черта советской топонимики – обилие улиц с труднопроизносимыми именами, данными «в ознаменование» какого-либо юбилея (800-летия Москвы, 10 лет Октября, 60-летия Октября), праздника или иной даты (улицы 8 Марта, 1812 г., 1905 г. и др.).

С конца 1950-х гг. успехи в космических исследованиях, ядерной физике и некоторых других отраслях знания широко использовались в советской пропаганде, что отразилось в многочисленных топонимах, связанных с наукой. В Москве сосредоточено около трети научных кадров страны. Только улиц, названия которых начинаются со слова «Академика...», насчитывается 54. Не считая конструкторов авиационной и ракетно-космической техники, по нашим подсчетам, в основной части Москвы именами ученых названо 90 улиц. К ним можно добавить улицы Академическую и Большую Академическую, Институтские улицы и т. п. Большая часть таких названий сконцентрирована в Юго-Западном округе и прилегающей к нему части Западного, где расположены большинство институтов РАН, МГУ, Российский университет Дружбы народов и многие другие вузы. В муниципальных районах Обручевский и Коньково две трети улиц названы в честь академиков и прочих ученых. В то же время часть «научных» годонимов приурочена к размещению исследовательских учреждений, учебных заведений и конструкторских бюро в иных районах города.

Список символических фигур, запечатленных в названиях улиц, включал имена официально «одобренных» писателей и поэтов, композиторов и художников – как умерших до революции (Пушкин, Чехов, Толстой), так и авторов, поддерживавших коммунистический режим в своих произведениях или общественной деятельности. В пантеон поэтому вошли в том числе посредственные, давно забытые писатели. Однако этой чести не удостоились многие почитаемые до сих пор авторы, широко известные в стране и за рубежом, если они «запятнали» себя «неправильными» произведениями, эмиграцией или были верующими, например Михаил Булгаков, Андрей Платонов, лауреаты Нобелевской премии по литературе Борис Пастернак и Иосиф Бродский и др. Возведение памятника видному писателю «дублировалось» переименованием улицы, на которой он был установлен, даже если она не была напрямую связана с его биографией.

Одной из доминант политического ландшафта Москвы в сочетании с отдельными памятниками и крупными мемориалами стали названия, связанные с событиями и героями Великой Отечественной войны. На памятники им приходится 42% общего чис-

ла монументов, а если к ним прибавить памятники полководцам – участникам войны, то еще больше [Kolosov, Zotova, 2023]. Память о победе – одна из основ современной российской идентичности. Так, 31 улица столицы носит имена Маршалов Советского Союза и родов войск, еще 11 – генералов – участников войны. Каждая «круглая» годовщина победы отмечалась наименованием ряда улиц в честь героев войны. При этом большая часть «маршальских» улиц расположена в одном районе на северо-западе города, где в первые послевоенные годы с участием немецких военнопленных было построено несколько кварталов жилых домов для офицеров – сотрудников военных ведомств и академий.

Реституция исторических годонимов происходила лишь в 1990–1993 гг. по инициативе демократически избранного Московского совета. Его решения были реализованы правительством города лишь в конце 1994 г. Они затронули около 150 годонимов из существовавших тогда примерно 3500, почти исключительно в центре. Многочисленные предложения по дальнейшей реституции и «пакетным» переименованиям так и остались на бумаге. Власти ссылались на значительные затраты, технические и политические трудности. Список возвращенных названий показывает, что реституция предполагала отказ не только от сугубо «идеологических» названий, но и замену весьма достойных имен, например крупных поэтов XIX в. Михаила Лермонтова и Александра Грибоедова, Александра Островского, Евгения Вахтангова, Ильи Репина, Адама Мицкевича и др.

«Топонимы в годонимах»: Москва как центр губернии, региона, столицы страны и империи. Для Москвы, как и для многих других городов, всегда были характерны названия улиц по населенным пунктам, куда вели начинающиеся от них дороги, другим ближним и дальним городам и поселениям. Всего, по нашим подсчетам, названий улиц по топонимам в российской столице примерно в 1,6 раза больше (371), чем коммунистических.

На использование топонимов в Москве, как и в Петербурге [Аксенов, 2024], оказал сильное влияние ее столичный статус. Москва отличается особенно широким набором и географическим распределением топонимов в названиях ее улиц. В московских годонимах отчетливо различаются «слои», отсылающие к различным этапам истории страны – расширения Московского княжества, а затем Московского царства, Российской империи, Советского Союза, в том числе освоения территорий Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Однако, судя по структуре годонимов, Москва предстает прежде всего как центр исторической России, бывшего Московского княжества, а затем

губернии и области [Смолицкая, Горбаневский, 1982]. В целом по городу с большим отрывом преобладают топонимы теперешнего Центрального федерального округа (ЦФО) (рис. 2). На них приходится 59% «географических» названий, а среди них – на названия самых близких городов и поселков современной Московской области – около 21%. Показательно, что из 52 названий улиц по топонимам

в историческом центре Москвы в границах ее Центрального административного округа окружающие области ЦФО представлены 41 названием, причем 25 из них были даны до начала XX в. С учетом небольшого числа сохранившихся годонимов, данных до XX в., это немало. Самые древние названия носят улицы или площади, с которых начинается дорога в соседние города, например в Тверь.

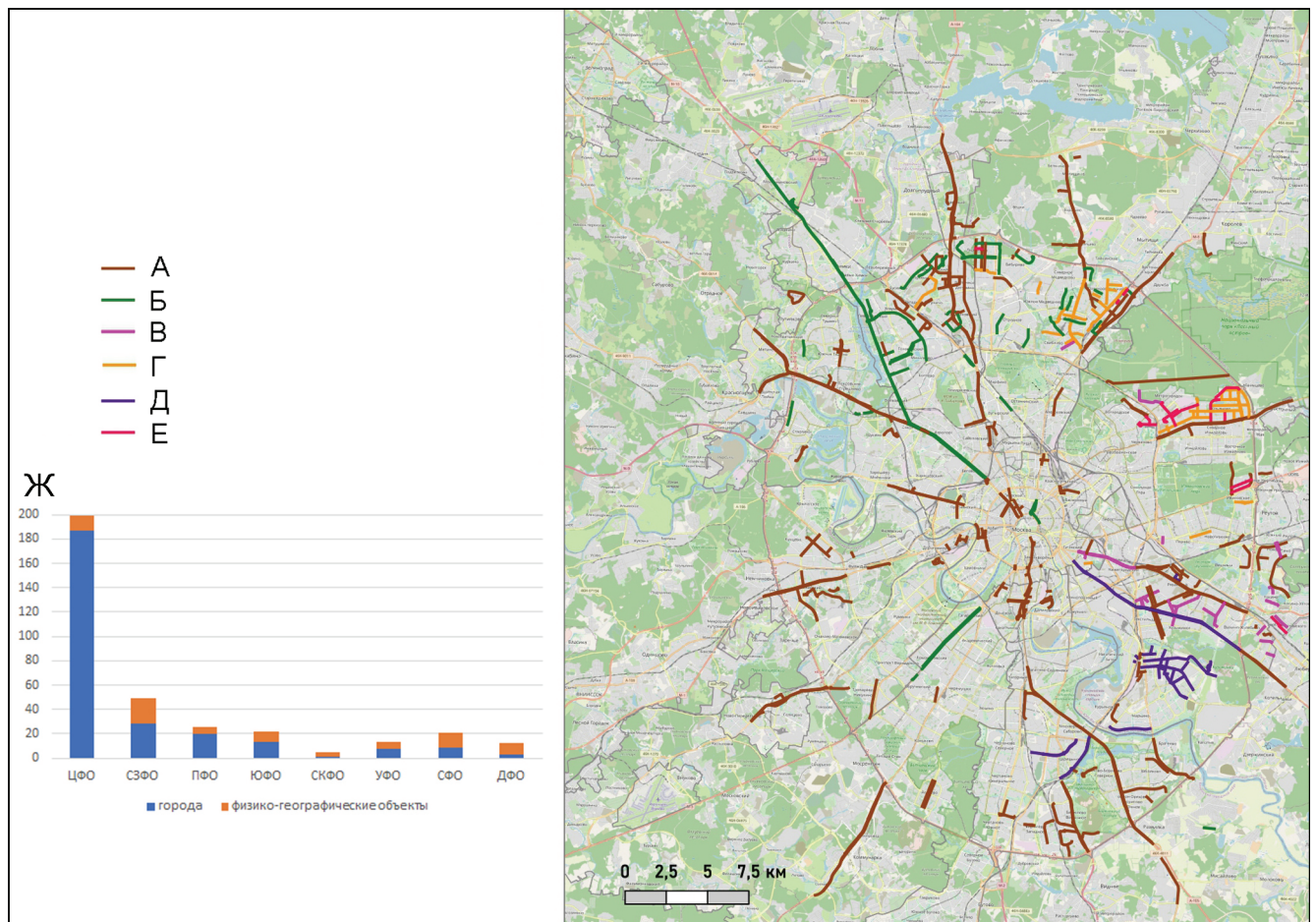


Рис. 2. Распределение топонимов по федеральным округам:
А – ЦФО; Б – СЗФО; В – ПФО; Г – СФО и ДФО; Д – СКФО и ЮФО; Е – УФО; Ж – распределение по типам названий.
Источник: составлено А.П. Соболевской по данным портала [Электронная Москва..., 2024]

Fig. 2. Distribution of toponyms used in the names of the streets by federal districts:
А – CFD; Б – NFDi; В – VFD; Г – SFD and FEFD; Д – NCFD and SFD; Е – UFD; Ж – by type of name. Source: compiled by
A.P. Sobolevskaya and based on data from the portal [Electronic Moscow..., 2024]

Вскоре после начала индустриального строительства стандартных многоэтажных домов в начале 1960-х гг. в Москве решили давать быстро возникавшим новым улицам названия регионов страны, находящихся с соответствующей стороны света. Это гипотетически давало возможность лучше ориентироваться в городе, но самое главное, подчеркивало разнообразие и необъятность территории страны.

Столичный статус Москвы сказывается в том, что в названиях улиц представлены все восемь федеральных округов России, причем в сравнительно малом числе, за исключением Северо-Кавказского (см. рис. 2). Однако все же топонимы других федеральных округов, помимо Центрального и в меньшей степени Северо-Западного, в котором расположен Санкт-Петербург, встречаются значительно реже.

В два этапа, в 1964 и 1986 гг., недалеко от исторического Ленинградского проспекта в сегодняшних Северном и Северо-Восточном округах Москвы возникла целая группа улиц, названных по городам севера России (см. рис. 2). Некоторые из этих улиц до 1960 г. входили в присоединенные к Москве город Бабушкин, поселок Ховрино и другие населенные пункты, поэтому одновременно устранялось дублирование названий с остальной территорией.

После 1964 г. в районе тогдашних новостроек на северо-востоке и востоке Москвы возникло и два компактных кластера улиц, носящих сибирские, уральские и дальневосточные названия. Не забыта и Арктика – важная ресурсная территория, активное присутствие в которой всегда было одним из российских геополитических приоритетов: 11 названий городов и рек Крайнего Севера даны в основном еще в начале 1960-х гг. кластеру улиц на севере города. С этими годонимами сочетаются имена полярных исследователей (С. Дежнева, Я. Санникова, Р. Амундсена, Ф. Нансена и др.), которые носят соседние улицы.

На этом фоне удивительна относительная скудность годонимов по названиям и известным людям российских республик (бывших автономий). Таких названий всего десять, из них пять – по топонимам Карелии. Совсем нет годонимов по республикам Сибири и Северного Кавказа.

В политическом ландшафте Москвы как столицы бывшего СССР осталось много символов, хранящих память о том, что новые независимые государства в течение многих веков или десятилетий входили в состав общего с Россией государства, – памятники выдающимся деятелям их титульных национальностей, названия объектов и, конечно, годонимы. В отличие от стран Балтии, Украины, Молдавии и других республик, ни одна улица из этого списка не была переименована. Наоборот, сохранение всех его названий призвано символизировать стабильность и преемственность нынешней российской геополитической картины мира, важность связей с бывшими регионами общей страны, а в случае Украины – принадлежность ее части «русскому миру» и включение «новых территорий» в состав России.

Как правило, названия в честь советских республик, их городов и известных людей получали новые улицы на периферии города, располагающиеся в соответствующих географическом положению республики по отношению к Москве направлениях (рис. 3). Десять улиц именуются по белорусским городам (компактно на западе города), но всего три – по казахстанским топонимам. Удостоились «своих» годонимов и балтийские республики: Латвия – пяти, Литва – четырех, Эстония – двух. Восемь названий

приходится на три республики Южного Кавказа. На юго-востоке представлено несколько названий городов Узбекистана, но таджикских и киргизских названий нет вовсе.

Из 108 названий в честь союзных республик 73 (67,6%) имеют отношения к Украине – свидетельство важнейшей экономической и политической роли этой республики в СССР. Большинство этих улиц расположено компактным массивом в районах Южного и Юго-Западного округов, т. е. в направлении магистралей, ведущих на Украину, образуя своего рода «украинский квартал». Основные исключения составляют, во-первых, несколько улиц около Киевского вокзала, в том числе Украинский бульвар – бульварно-парковая зона, окруженная престижными жилыми домами, и во-вторых, несколько улиц в давно поглощенном Москвой городе Кунцево, где украинские топонимы использовали во избежание дублирования. Примечательно, что «украинские» улицы получили свои названия не в ходе единой кампании, но в разные годы – следовательно, символическая политика по отношению к Украине не менялась.

Немало улиц названо не только в честь крупных областных центров Украины, но и сравнительно небольших городов (например, Синельниково, Красного Лимана, Изюма, Никополя, Иловайска). При этом нет улиц, носящих имена западноукраинских областных центров и других городов: Львова, Тернополя, Ровно, Луцка, Ужгорода. Преобладают топонимы восточных, русскоязычных регионов, особенно крымские и донбасские. При этом в названиях московских улиц увековечено всего пять украинских деятелей: это национальный поэт Тарас Шевченко, писатели конца XIX – начала XX в. М. Коцюбинский и И. Франко, советский писатель А. Корнейчук и кинорежиссер А. Довженко.

Международные функции столицы России в зеркале годонимов. Появление зарубежных топонимов и антропонимов в названиях улиц было знаком усиления открытости страны, политического сближения с другими государствами. Нередко такие номинации были приурочены к важным государственным визитам или юбилейным датам. Привлечение зарубежных топонимов и антропонимов было призвано способствовать формированию у граждан определенного геополитического видения мира – выделению дружественных стран и приоритетов в международных отношениях, отношения к действующим за рубежом политическим силам.

Таких годонимов в столице довольно много – около 8% от общего числа. Преобладающая часть «зарубежных» годонимов – названия в память о политиках (33), деятелях культуры и науки (17). Еще в первые годы после революции 1917 г. несколькими

улицам были присвоены имена немецких марксистов – А. Бебеля, К. Маркса, Ф. Энгельса, Р. Люксембург, К. Цеткин (1922–1923). Однако после этого, в сталинскую эпоху и в первые годы по ее окончании, новых зарубежных названий не возникло.

Дальнейшие наименования в честь зарубежных персон последовали фактически только начиная с 1960-х гг. Присвоение московским улицам таких топонимов происходило обычно по прямому указанию центральных властей или во всяком случае по согласованию с ними после гибели или естественной смерти близких к Советскому Союзу политических деятелей. Так, на карте Москвы появились имена погибшей в результате покушения

премьер-министра Индии И. Ганди (1985), руководителей коммунистических партий Вьетнама – Хо Ши Мина и Л. Зуана (соответственно 1969 и 1987 гг.), Аргентины – В. Кодовилья (1970), борца за независимость Гвинеи-Бисау и Кабо Верде А. Кабрала (1974), погибших в тюрьме коммунистов – иракского С. Адиля (1963) и испанского Х. Гримау (1963), левого социалиста, президента Чили С. Альенде (1973), многолетнего лидера Югославии И.Б. Тито (1980). В московских топонимах были увековечены также идейно близкие представители зарубежной творческой интеллигенции – писатели, журналисты, историки: З. Неедла, Ю. Фучик, Я. Гашек, Р. Роллан и др.

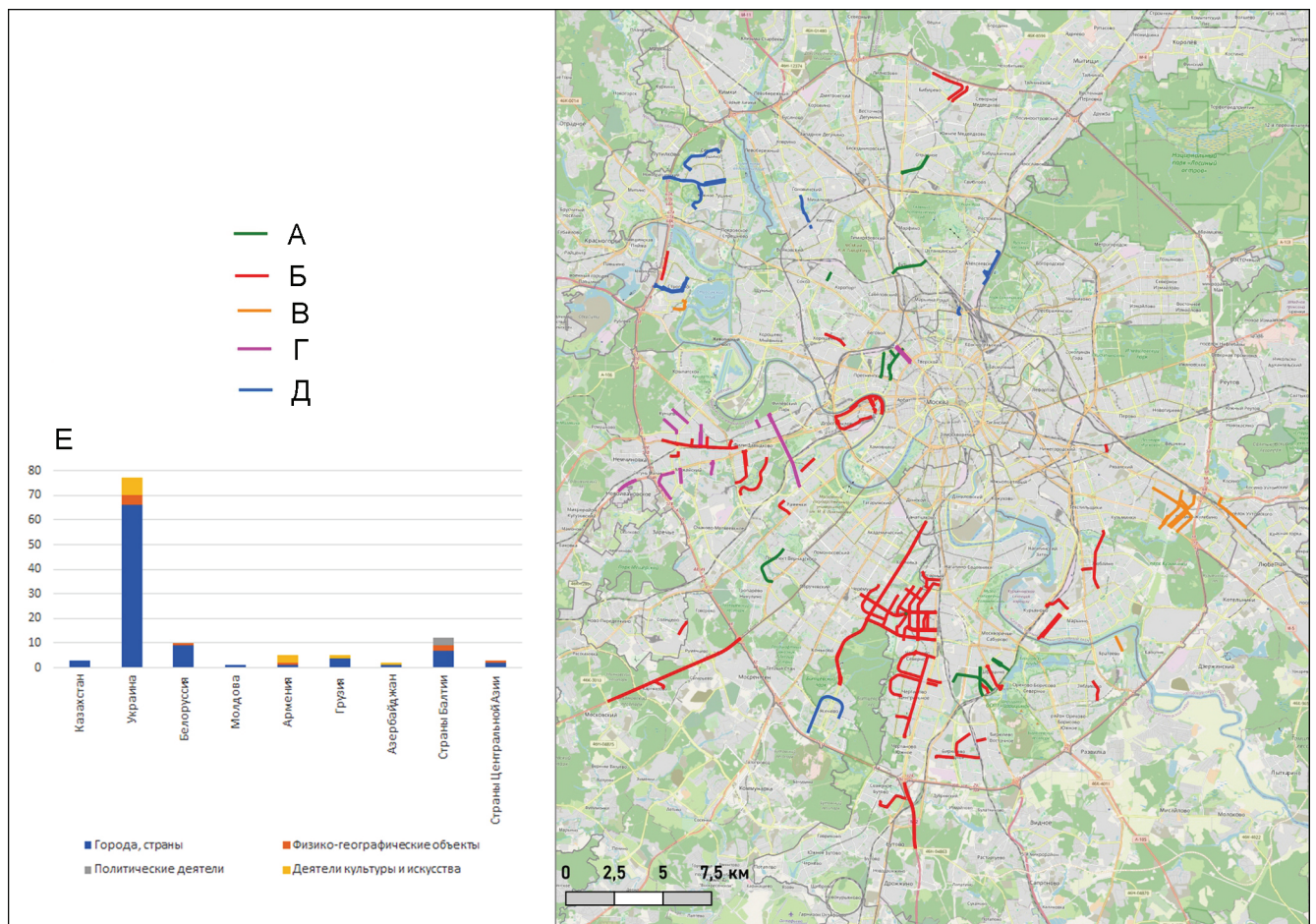


Рис. 3. Распределение топонимов по бывшим республикам СССР:
А – Южный Кавказ; Б – Украина; В – Центральная Азия; Г – Беларусь; Д – страны Балтии; Е – распределение по типам названий. *Источник:* составлено А.П. Соболевской по данным портала [Электронная Москва..., 2024]

Fig. 3. Distribution of toponyms used in the streets' names by the former USSR republics:
А – South Caucasus; Б – Ukraine; В – Central Asia; Г – Belarus; Д – Baltic countries; Е – by types of names.
Source: compiled by A.P. Sobolevskaya and based on data from the portal [Electronic Moscow..., 2024]

знаком солидарности, символом перестройки и редким исключением стало наименование в 1987 г. московской улицы, на которой расположено посольство Швеции, именем премьер-министра этой страны Улофа Пальме вскоре после его трагической

гибели. В ту же эпоху одна из площадей города получила имя Шарля де Голля (1990).

Локализация таких топонимов была иногда приурочена к расположению организаций, связанных с международной деятельностью, иностранными

государствами и их представителями. Кластер гонимов в честь зарубежных коммунистических и левых деятелей (Л. Лонго, С. Альенде, В. Ульбрихта, Г. Георгиу-Дежа) на северо-западе Москвы был связан с близостью к Институту общественных наук (ИОН) при ЦК КПСС, который готовил кадры для коммунистических и леворадикальных партий и национально-освободительных движений (рис. 4). На улице Ю. Фучика рядом с улицей

Я. Гашека, названных так в 1963 г., в комплексе монументальных зданий бывшего посольства Чехословакии, построенных в «сталинском» стиле в 1954–1955 гг., теперь расположены посольства Чехии и Словакии. Улицы рядом с Университетом Дружбы народов и общежитием МГУ для иностранных студентов названы в память о первом президенте Мозамбика (тогда «страны социалистической ориентации») С. Машела.

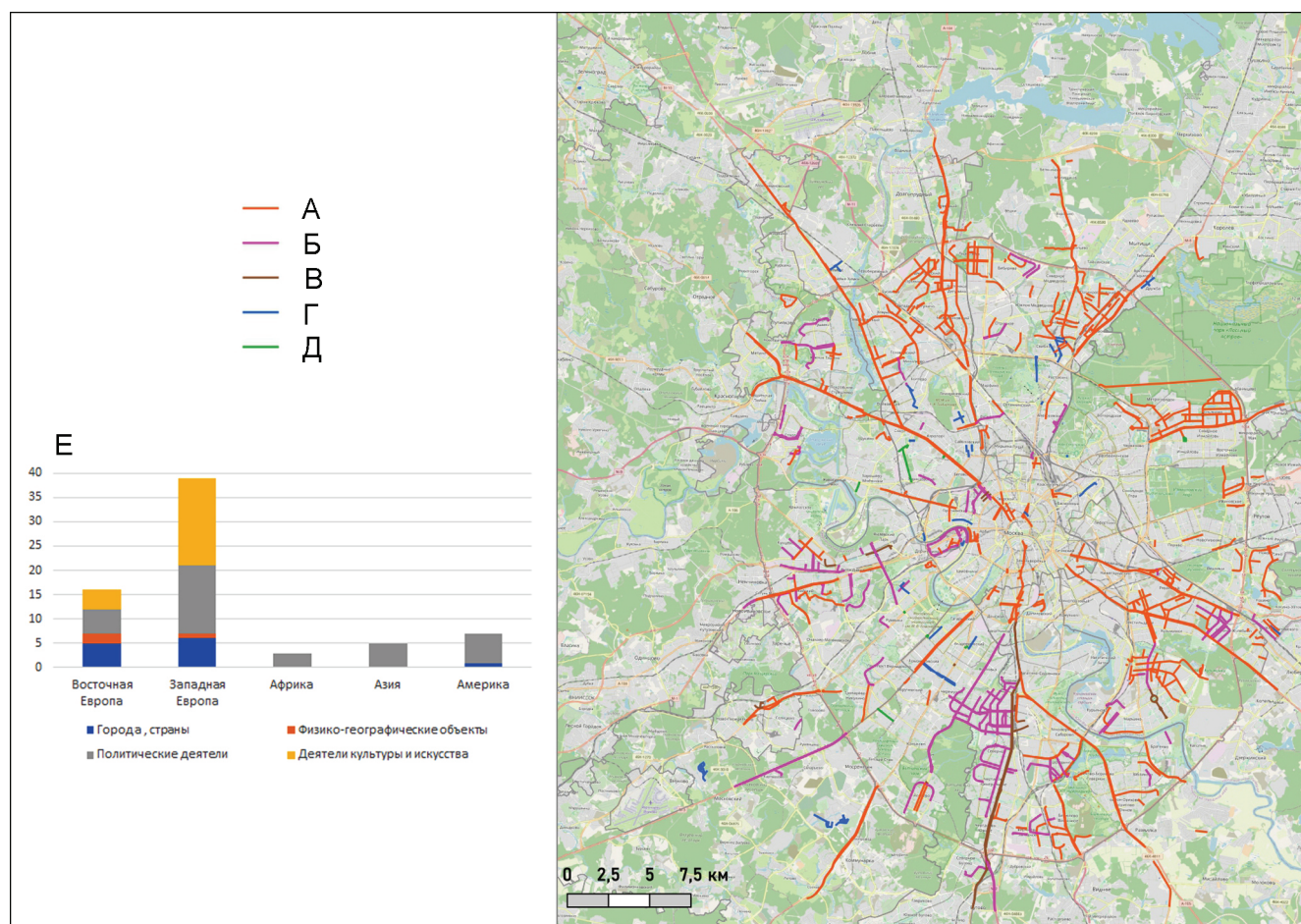


Рис. 4. Улицы, названные в честь государств:

А – России; Б – стран бывшего СССР; В – бывших социалистических стран; Г – стран Европы; Д – остальных стран; Е – распределение по типам названий. *Источник:* составлено А.П. Соболевской по данным портала [Электронная Москва..., 2024]

Fig. 4. Streets named after countries:

A – Russia; Б – countries of the former USSR; В – former socialist countries; Г – European countries; Д – other countries; Е – by types of names. *Source:* compiled by A.P. Sobolevskaya and based on data from the portal [Electronic Moscow..., 2024]

Постсоветские наименования по имени зарубежных деятелей отражают политические ориентиры постсоветской России. При этом по-прежнему соблюдается принцип кластеров. Так, в Северном округе дополнен новыми названиями кластер улиц, названных в честь зарубежных левых деятелей, возглавлявших дружественные России государства, – президента Венесуэлы У. Чавеса и кубинского лидера Ф. Кастро, которому здесь установлен памятник.

На юго-западе в 2023 г. появились памятник и площадь Н. Манделы, дополняющие соседние площади И. Ганди и Д. Неру.

Отражая маркетинговую политику девелоперов, в 2023 г. в Новой Москве с целью продвижения бренда жилого комплекса, застраиваемого одной из крупных компаний, появился кластер улиц, названных в честь выдающихся испанских деятелей культуры (Ф. Гарсия Лорки, А. Гауди, М. Серванте-

са, П. Пикассо), имена которых имеют безусловно положительные коннотации. По тем же причинам в коттеджном поселке Бристоль ряд улиц получил имена английских писателей – Ч. Диккенса, У. Шекспира, Р. Кипплинга.

Значительно меньше (только 15%) топонимов приходится на названия по топонимам зарубежных городов, стран, физико-географических объектов (см. рис. 4). Из городов и стран на карте Москвы представлены Варшава, Амстердам, Братислава, Севилья и Аргентина. При этом два топонима принадлежат к числу исторических: Варшавское шоссе унаследовало свое название от Московско-Варшавского тракта, построенного в первой половине XIX в. после четвертого раздела Польши. Название Астрадамской улицы восходит к искаженному названию города Амстердама, который так называл в своих письмах Петр I.

Названия физико-географических объектов, расположенных за пределами страны, на карте Москвы редки. Условную связь с физической географией имеет площадь между Киевским вокзалом и Бережковской набережной Москвы-реки: в рамках совместного проекта России и Бельгии в 2002 г. она была названа в честь Европы и символизировала единение континента. На площади были установлены флаги 48 государств Европы и авангардистский памятник бельгийского скульптора Оливье Стребеля «Похищение Европы». В июле 2024 г. площадь Европы была переименована в площадь Евразии, а флаги европейских стран были сняты.

ВЫВОДЫ

Городские топонимы – важный и один из наиболее динамичных элементов политического ландшафта города. Процесс переименований и номинации новых улиц, появляющихся на карте города в процессе его реконструкции и/или расширения застройки, протекает непрерывно. В то же время вся система топонимов сравнительно инерционна, поскольку даже частные переименования улиц новыми влечет затраты и часто долгие дебаты и конфликты.

Однако после Октябрьской революции 1917 г. радикальная смена политического режима вызвала в Москве кампанию массовых переименований, ибо новые власти нуждались в демонстрации и легитимации своего идеологического контроля над городом, продвижении проповедуемых ими политических ценностей, создании своего пантеона героев и выдающихся личностей и на этой основе – новой национальной идентичности. Топонимы и тем более топонимы особенно важны в столице как витрине достижений любой страны. Перестройка топонимической системы города происходит в ходе четырех процессов – «чистки» (устранения)

наиболее идеологически нагруженных старых названий, переутверждения основ наименования на новых принципах, реституции (возвращения) старых названий и продвижения бренда территории в коммерческих или иных целях [Giraut, Houssay-Holzschuch, 2016].

В результате переименований, не прекращавшихся практически до самого распада Советского Союза, и масштабной территориальной экспансии Москвы большая часть столичных топонимов – продукт советской эпохи. В них ярко отражается ее содержание: лозунги, выдвинутые в разные периоды, прославление революционеров, руководителей партии и государства, героев гражданской и ВОВ, демонстрация интернационализма, единства народов СССР, социалистического переустройства хозяйства и всей жизни, индустриализации, исследований космоса, освоения Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока и т. д.

Переименования в первые постсоветские годы ограничились в основном наиболее известными улицами и площадями исторического центра, а потом были заморожены. Не были заменены даже названия по явно противоречивым фигурам советского прошлого. В набор московских топонимов не вернулись названия в честь правителей России. В отличие от других городов страны, в нем очень мало имен государственных деятелей дореволюционного прошлого, деятелей культуры, преследовавшихся или запрещенных при советской власти, церковных названий. Фактически не наблюдается даже типичной для некоторых стран Центрально-Восточной Европы гибридизации реликтов советского прошлого и динамичного настоящего: отсветы попыток построить новую политическую или русскую этническую идентичность если и можно усмотреть в новых топонимах, то крайне слабые.

Главная черта системы названий московских улиц – почти полная преемственность с советской эпохой и принятыми тогда принципами наименования. В отличие от других постсоциалистических стран, в этом проявляется ее интерпретация не как трагического отступления от «нормальности», но как закономерного этапа национальной истории.

Не изменилась и геополитическая картина мира в отражении топонимов. Сохранилось разделение стран мира на дружественные и недружественные: доля названий, связанных с недружественными странами, осталась очень низкой. Неизменность названий по бывшим советским республикам подчеркивает не только отказ от использования топонимов по топонимам в политических целях и прагматическую заинтересованность в стабильности топонимии, но и сохраняющуюся роль России как ведущего игрока на постсоветском пространстве.

Москва предстает в зеркале топонимов одновременно как крупная многофункциональная агломерация, к которой исторически тяготеют обширные территории, древняя столица России, бывший центр великой империи и макрорегиона мира, ставший мировым городом. Коммеморативные топонимы Москвы носят главным образом имена национальных деятелей культуры, военачальников, политиков, героев отечественных войн. Улицы столицы чаще, чем в других городах, за исключением Санкт-Петербурга, названы в честь зарубежных стран, городов и известных людей. К особенностям московской системы топонимов относится также и такая унаследованная от советской эпохи «нестолличная» черта, как обилие улиц, названных по предприятиям и рабочим профессиям.

Символический капитал столицы усиливает общероссийская известность многих топонимов исторического центра и основных магистралей, таких как один из национальных символов – Красная площадь, Тверская улица, Арбат и др. Увеличению символического капитала Москвы способствует концентрация близких названий в кластерах и соче-

тание однородных топонимов с другими элементами политического ландшафта – соответствующими им памятниками и мемориалами, названиями государственных учреждений и т. п.

Тем не менее система столичных топонимов меняется, хотя и медленно. Москва не стала исключением из общей для бывших социалистических стран тенденции увеличения доли деидеологизированных, нейтральных, локальных названий, особенно наследующих названия деревень и элементов ландшафта Новой Москвы. Совсем недавно там появились и несвойственные раньше городу названия по именам московских князей феодальной эпохи – Симеона Гордого и Ивана Калиты. Ряд улиц получил имена крупных испанских и британских писателей и художников. Несколько улиц названы в честь недавно ушедших из жизни крупных советских и российских артистов и композиторов. Новые названия не случайно присвоены в основном улицам именно в недавно присоединенной новой части Москвы, в которой полномочия по наименованию объектов пока принадлежат сохранившим автономию местным советам поселков и городов.

Благодарности. Статья подготовлена по материалам исследований по теме Государственного задания ИГ РАН № 124032900015-3 (FMWS-2024-0008). Авторы выражают благодарность участникам проекта SPACEROL (Project-ANR-21-CE22-0023) за обсуждения материалов статьи, а также студентке географического факультета МГУ А.П. Соболевской за сбор данных и подготовку картографических материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверьянов К.А. История Московских районов. М.: Астрель, АСТ. 2005. 830 с.
- Аксенов К.Э. Символический геополитический капитал и городское пространство // Полис. Политические исследования. 2024. № 1. С. 67–88.
- Басик С.Н. Критическая топонимика как направление географических исследований: проблемы и перспективы // Географический вестник. 2018. № 1(44). С. 56–63.
- Вендина О.И., Гриценко А.А. От нарративов к монументам: символическая трансформация культурного ландшафта Калининградской области // Журнал фронтирных исследований. 2024. Т. 9. № 2. С. 134–171.
- Вендина О.И., Карпенко М.С. Топонимический ландшафт Казахстана пограничья с Россией: культурная суверенизация и политика переименований // Журнал фронтирных исследований. 2023. Т. 8. № 4. С. 277–305.
- Герасименко Т.И., Исканиев Д.Ж. Процессы трансформации топонимов на географической карте Казахстана (конец XIX – начало XXI века) // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 3. С. 23–42.
- Герасименко Т.И., Калуцков В.Н., Коломейцева О.В. и др. Топонимия Ближнего Зарубежья: 100 лет переименований. Атлас-справочник. М., 2020. 255 с.
- Ефремов Ю.К. Московских улиц имена. М.: Вече, 1997. 512 с.
- Калуцков В.Н. Ландшафт в культурной географии. М.: Новый хронограф, 2008. 320 с.
- Калуцков В.Н. Концептуализация географического пространства: ономастические аспекты // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 19. Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2020. № 1. С. 57–69.
- Манаков А.Г. Топонимический ландшафт российско-эстонского и российско-латвийского порубежья // Культурный ландшафт Пограничья: прошлое, настоящее, будущее. Псков: ПГУ, 2018. Т. II. С. 56–64.
- Митин И.И. Топонимический палимпсест: переименования как символическое (пере)конструирование пространства и места // Псковский регионологический журнал. 2021. Т. 17. № 4. С. 73–83.
- Поспелов Е.М. Географические названия в Москве // Вопросы географии. Сб. 126. М., 1985. С. 126–137.
- Саушкин Ю.Г., Глушкова В.Г. Москва среди городов мира. М.: Мысль, 1983. 285 с.
- Смолицкая Г.П., Горбаневский М.В. Топонимия Москвы. М.: Наука. 1982. 176 с.
- Соколова Т.П. Обзор литературы о топонимии Москвы // Вопросы географии. 1985. Сб. 129. С. 179–186.
- Azaryahu M. The Power of Commemorative Street Names, *Environment and Planning D Society and Space*, 1996, no. 14, p. 311–330.

- Buchstaller I., Fabiszak M.* Editorial: ideology and commemoration in the urban space, *Linguistics Vanguard*, 2021, no. 7(s5), p. 1–10.
- Cosgrove D.E.* *Social Formation and Symbolic Landscape*, Univ of Wisconsin Press, 1998, 332 p.
- Débarbieux B.* *L'espace de l'imaginaire. Essais et détours*, Paris, Edition du CNRS, 2021.
- Giraut F., Houssay-Holzschuch M.* Place Naming as Dispositif: Toward a Theoretical Framework, *Geopolitics*, 2016, DOI: 10.1080/14650045.2015.1134493.
- Kliot N., Mansfeld Y.* The political landscape of partition. The case of Cyprus, *Political Geography*, 1997, no. 16(6), p. 495–521.
- Kolosov V.A., Zotova M.V.* Evolution of the political landscape of Moscow as capital, *Regional Research of Russia*, 2023, no. 5(13), p. S40–S54.
- Kudriavtseva N.* Reconfiguring identities within the cityscape: ideologies of decommunization renaming in Ukraine, *Ideology and politics*, 2020, no. 1(15), p. 2–21.
- Light D.* Street names in Bucharest, 1990–1997: Exploring the modern historical geographies of post-socialist change, *Journal of Historical Geography*, 2004, no. 30(1), p. 154–72.
- Palonen E.* Building a New City through a New Discourse: Street Naming Revolutions in Budapest, *The Political Life of Urban Streetscape: Naming, Politics, and Place*, R. Rose-Redwood, D. Alderman, M. Azaryahu (eds.), Routledge, Abingdon, 2017, p. 98–113.
- Romanova A.* Political Dynamics of Urban Hodonyms: A Case of Chisinau, Moldova, *Urbana*, 2021, no. 22, p. 132–143.
- Różycki B.* Renaming urban toponymy as a mean of redefining local identity: the case of street decommunization in Poland, *Open Political Science*, 2018, no. 1, p. 20–31.
- Rusu M.S.* Street naming practices: A systematic review of urban toponymic scholarship, *Onoma*, 2021, no. 56, p. 269–292.
- Young C., Kaczmarek S.* The Socialist Past and Postsocialist Urban Identity in Central and Eastern Europe. The Case of Łódź, Poland, *European Urban and Regional Studies*, 2008, no. 15(1), p. 53–70.
- Vuolteenaho J., Berg L.D.* Towards critical toponymies, *Critical toponymies. The contested politics of place naming*, L.D. Berg, J. Vuolteenaho (eds.), Farnham, Burlington, Ashgate, 2009, p. 1–18.
- Электронные ресурсы
- Дверь в 17-й год. Почему переименование Войковской стало общенациональной проблемой. URL: <https://lenta.ru/columns/2015/11/12/mavzol/> (дата обращения 15.12.2024).
- Электронная Москва. URL: <http://mosopen.ru/streets> (дата обращения 13.08.2024).
- Портал открытых данных. Правительство Москвы. URL: <https://data.mos.ru> (дата обращения 17.07.2024).

Поступила в редакцию 18.06.2025

После доработки 08.07.2025

Принята к публикации 28.08.2025

CHANGES OF THE MOSCOW HODONYM SYSTEM AS A WAY OF INTERPRETING SOCIAL REALITY

V.A.Kolosov¹, M.V.Zotova²

^{1,2} *Institute of Geography RAS, Laboratory of Geopolitical Studies*

¹ *Head of the Laboratory, D.Sc. in Geography; e-mail: vladimirkolossov@gmail.com*

² *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: zotova@igras.ru*

The paper analyzes the ways of interpreting social reality and producing symbolic resources in Moscow by changing the system of streetnames (hodonyms) which are the most widespread and used class of urban toponyms. Hodonyms are considered as an important and the most dynamic element of the political landscape of a city. The study is based on geoinformation analysis of the database created by selecting streetnames with political connotations from the Moscow hodonyms of the portal “Electronic Moscow”. These are associated with: 1) the communist regime and its realities; 2) cultural and art persons; 3) economic-geographical objects; 4) physical-geographical objects. Spatial patterns of naming Moscow streets were studied. The use of key technologies of (re)naming streets in the capital is analyzed, including “cleansing”, re-establishment, restitution and promotion. The first wave of renaming after the 1917 revolution led to a significant change in the political and cultural landscape of the city by changing more than 65% of the names, primarily those associated with royal dynasties, noble and merchant families, monasteries and churches. The second wave, i. e. the post-Soviet restitution, affected only about 5% of streets, mainly located in the center. Therefore, the modern system of Moscow street names is to a high degree inherited from the Soviet era and the naming principles adopted then. More than 30% of hodonyms are still directly related to the communist regime and its realities. According to the structure of streetnames, Moscow appears first of all as a center of historical Russia, the former Moscow principality, and then the province and region. The capital preserves the tradition of clustering hodonyms, laid down in pre-revolutionary times. There are clusters associated with places of violent clashes during revolutionary periods, clusters associated with regions of the country located towards the corresponding corners of the

earth, and clusters associated with the location of organizations associated with international activities, foreign states and their representatives. The mirror of toponyms reflects the image of Moscow as a capital of Russia, collecting the surrounding territories, a former center of the great empire and macroregion of the world, as well as a large multifunctional agglomeration and a world city.

Keywords: political landscape, capital, toponym, urban environment, placenames, toponymic landscape

Acknowledgements. The paper is based on the materials resulting from the study conducted under the State Assignment of the Institute of Geography RAS, Project No. AAAA-A19-119022190170-1 (FMGE-2019-0008). The authors express their gratitude to the participants of the SPACEPOL project (Project-ANR-21-CE22-0023) for discussions on the paper materials, and to A.P. Sobolevskaya, student of the MSU Faculty of Geography, for collection of data and compilation of cartographic materials.

REFERENCES

- Aksenov K.E. Simvolicheskij geopoliticheskij kapital i gorodskoe prostranstvo [Symbolic geopolitical capital and urban space], *Polis. Politicheskie issledovaniya*, 2024, no. 1, p. 67–88. (In Russian)
- Averyanov K.A. *Istoriya Moskovskih rajonov* [History of Moscow districts], Moscow, Astrel, AST Publ., 2005, 830 p. (In Russian)
- Azaryahu M. The Power of Commemorative Street Names, *Environment and Planning D: Society and Space*, 1996, no. 14, p. 311–330.
- Basik S.N. Critical toponymy as a direction of geographical research: problems and prospects [Kriticheskaya toponimika kak napravlenie geograficheskix issledovanij: problemy i perspektivy], *Geogr. vestn.*, 2018, no. 1, p. 56–63. (In Russian)
- Buchstaller I., Fabiszak M. Editorial: ideology and commemoration in the urban space. *Linguistics Vanguard*, 2001, no. 7, p. 1–10.
- Cosgrove D.E. *Social Formation and Symbolic Landscape*, Univ of Wisconsin Press, 1998, 332 p.
- Debarbieux B. *L'espace de l'imaginaire. Essais et détours*, Paris, Edition du CNRS, 2021.
- Efremov Yu.K. *Moskovskih ulic imena* [Names of Moscow streets], Moscow, Veche Publ., 1997, 512 p. (In Russian)
- Gerasimenko T.I., Iskaliyev D.Zh. Processy transformacii astionimov na geograficheskoi karte Kazaxstana (konec XIX – nachalo XXI veka) [Transformation processes of the toponyms on the geographical map of Kazakhstan (late XIX – early XXI centuries)], *Nauka. Innov. Tekhnol.*, 2021, no. 3, p. 23–42. (In Russian)
- Gerasimenko T.I., Kalutskov V.N., Kolomeitsev O.V., et al. *Toponimiya Blizhnego Zarubezh'ya: 100 let pereimenovaniy. Atlas-spravochnik* [Toponymy of the Near Abroad: 100 Years of Renaming. Atlas-reference], Moscow, 2020, 255 p. (In Russian)
- Giraut F., Houssay-Holzschuch M. Place Naming as Dispositif: Toward a Theoretical Framework, *Geopolitics*, 2016, DOI: 10.1080/14650045.2015.1134493.
- Kalutskov V. Konceptualizaciya geograficheskogo prostranstva: onomasticheskie aspekty [Conceptualization of Geographical Space: Onomastic Aspects], *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 19, Lingvist. Mezhkult. Kommun.*, 2020, no. 1, p. 57–69. (In Russian)
- Kalutskov V.N. *Landshaft v kul'turnoj geografii* [Landscape in cultural geography], Moscow, Novyi Khronograf Publ., 2008, 320 p. (In Russian)
- Kliot N., Mansfeld Y. The political landscape of partition. The case of Cyprus, *Political Geography*, 1997, no. 16(6), p. 495–521.
- Kolosov V.A., Zotova M.V. Evolution of the political landscape of Moscow as capital, *Regional Research of Russia*, 2023, no. 5(13), p. S40–S54.
- Kudriavtseva N. Reconfiguring identities within the cityscape: ideologies of decommunization renaming in Ukraine, *Ideology and politics*, 2020, no. 1(15), p. 2–21.
- Light D. Street names in Bucharest, 1990–1997: Exploring the modern historical geographies of post-socialist change, *Journal of Historical Geography*, 2004, no. 30(1), p. 154–72.
- Manakov A.G. [Toponymic landscape of the Russian-Estonian and Russian-Latvian borderlands], *Kul'turny'j landshaft Pogranich'ya: proshloe, nastoyashchee, budushchee*, [Cultural landscape of the Borderland: past, present, future], 2018, vol. 2, p. 56–64. (In Russian)
- Mitin I. Toponimicheskij palimpsest: pereimenovaniya kak simvolicheskoe (pere)konstruirovanie prostranstva i mesta [The toponymical palimpsest: renaming as a symbolic (re)construction of space and place], *Pskov. Regionolog. Zh.*, 2021, vol. 17, no. 4, p. 73–83. (In Russian)
- Palonen E. Building a New City through a New Discourse: Street Naming Revolutions in Budapest, *The Political Life of Urban Streetscape: Naming, Politics, and Place*, R. Rose-Redwood, D. Alderman, M. Azaryahu (eds.), Routledge, Abingdon, 2017, p. 98–113.
- Pospelov E.M. Geograficheskie nazvaniya v Moskve [Geographical names in Moscow], *Voprosy geografii*, no. 126, 1985, p. 126–137. (In Russian)
- Romanova A. Political Dynamics of Urban Hodonyms: A Case of Chisinau, Moldova, *Urbana*, 2021, no. 22, p. 132–143.
- Różycki B. Renaming urban toponymy as a mean of redefining local identity: the case of street decommunization in Poland, *Open Political Science*, 2018, no. 1, p. 20–31.
- Rusu M.S. Street naming practices: A systematic review of urban toponymic scholarship, *Onoma*, 2021, no. 56, p. 269–292.
- Saushkin Yu.G., Glushkova V.G. *Moskva sredi gorodov mira* [Moscow among the cities of the world], Moscow, Mysl' Publ., 1983, 285 p. (In Russian)
- Smolitskaya G.P., Gorbanevsky M.V. *Toponimiya Moskvy* [Toponymy of Moscow], Moscow, Nauka, 1982, 176 p. (In Russian)
- Sokolova T.P. Obzor literatury o toponimii Moskvy [Review of literature on toponymy of Moscow], *Voprosy geografii*, 1985, no. 129, p. 179–186. (In Russian)
- Vendina O., Gritsenko A. Ot narrativov k monumentam: simvolicheskaya transformaciya kul'turnogo landshafta Kaliningradskoj oblasti [From Narratives to Monuments:

- Symbolic Transformation of the Cultural Landscape of the Kaliningrad Region], *Zh. Front. Issled.*, 2024, vol. 9, p. 134–171. (In Russian)
- Vendina O., Karpenko M. Toponimicheskij landshaft Kazakhstanskogo pogranich'ya s Rossiej: kul'turnaya suverenizaciya i politika pereimenovanij [Toponymic Landscape of the Kazakhstan-Russia Borderland: Cultural Sovereignty and Renaming Policies], *Zh. Front. Issled.*, 2023, vol. 8, no. 4, p. 277–305. (In Russian)
- Vuolteenaho J., Berg L.D. Towards critical toponymies, *Critical toponymies. The contested politics of place naming*, L.D. Berg, J. Vuolteenaho (eds.), Farnham, Burlington, Ashgate, 2009, p. 1–18.
- Young C., Kaczmarek S. The Socialist Past and Postsocialist Urban Identity in Central and Eastern Europe. The Case of Łódź, Poland, *European Urban and Regional Studies*, 2008, no. 15(1), p. 53–70.
- Web resources*
- The door to the year 1917. Why renaming Voykovskaya became a national problem, URL: <https://lenta.ru/columns/2015/11/12/mavzol/> (access date 15.12.2024).
- Electronic Moscow, URL: <http://mosopen.ru/streets> (access date 13.08.2024).
- Open data portal. Government of Moscow, URL: <https://data.mos.ru> (access date 17.07.2024).

Received 18.06.2025

Revised 08.07.2025

Accepted 28.08.2025

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ГОРОДОВ РОССИИ И КАНАДЫ С СЕРЕДИНЫ XX в.

Н.Ю. Замятина¹, Б.В. Никитин², А.Е. Полозун³

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

³ *Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет городского и регионального развития, Высшая школа урбанистики имени А.А. Высоковского, Центр арктической и северной урбанистики*

¹ *Доцент, канд. геогр. наук; e-mail: nadezam@yandex.ru*

² *Аспирант; e-mail: borisnikitin25@gmail.com*

³ *Магистрант; e-mail: polozun.alex@gmail.com*

Статья рассматривает проблему универсализации характеристик арктических городов и ставит под сомнение возможность выделения единых закономерностей их демографической динамики. Анализ базируется на сопоставлении данных переписей населения более 100 городов России и Канады с середины XX в. Авторы показывают, что официальное определение Арктической зоны как управленческой категории не отражает реальных различий между городами: в пределах как современной Арктической зоны Российской Федерации, так и севера Канады встречаются радикально различные траектории развития. Один из вариантов детально проанализирован на примере Норильска (современный Центральный район города Норильска): это фронтирный тип динамики численности населения, когда падение численности населения вызывается не столько оттоком населения, сколько падением входящей миграции при общем высоком миграционном обороте. Выводы акцентируют необходимость отказа от унифицированных сценариев планирования и перехода к учету разнообразия локальных условий в управлении развитием арктических территорий.

Ключевые слова: арктическая урбанизация, городское сжатие, Крайний Север, фронтирная динамика численности населения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.8

ВВЕДЕНИЕ

Большое политическое внимание, оказываемое Российской Арктике в последние два десятилетия, логично вызвало всплеск интереса к изучению арктических городов. Буквально за последние несколько лет, судя по базе РИНЦ, изучению «арктических городов» как отдельного объекта исследования были посвящены десятки статей российских авторов (среди наиболее цитируемых – работы из совершенно различных отраслей знания [Силин, 2021; Желнина, Терещенко, 2020; Федоров и др., 2021; Замятина, Гончаров, 2020; Замятина, 2016]).

Обратим внимание на объект исследования: речь идет об арктических городах, а не о городах районов Крайнего Севера, городах районов нового освоения и иных темах, традиционно изучавшихся в советской науке. Более того, есть попытки выявить некую специфику арктического города, отличия «арктических» городов от «северных» [Пилясов, Путилова, 2020; Маряхин, Часовский, 2023].

Однако само по себе выделение совокупности арктических городов как объекта исследования

требует оговорок в силу того, что и границы собственно Арктики – вопрос дискуссионный (проблема детально рассмотрена, например, в работах М.А. Жукова [Жуков, 2014]); аналогично, кстати, не совсем очевидна и граница Крайнего Севера. Однако и понятие «Арктика», и понятие «Крайний Север» закреплены в российском законодательстве. Поэтому, говоря об арктических городах многие авторы используют в качестве критерия выборки официальные границы, а не, допустим, физико-географические границы Арктики (как раз довольно очевидные). Обращение к официальным границам логично, однако при этом нужно отдавать отчет в том, что же стоит за выбором совокупности городов, идентифицируемых как «арктические»: официально закрепленные границы вступают в противоречие практически с любым научным критерием, и эта ситуация не нова.

Еще в 1940-е гг. велась дискуссия о том, допустимо ли выделять границы Севера по физико-географическим параметрам типа северной границы леса и июльской изотермы 10°, по экономическим

критериям (например, удаленности), или в контексте выделения коренных малочисленных народов Севера. Известный советский северовед и экономист С.В. Славин, например, в 1930-е гг. «открещивался» от понятия «Крайний Север», увязывая его с национальным вопросом, выделяя Дальний и Ближний Север как экономические понятия [Тараканов, 2010]. Все эти подходы совокупно активно критиковал М.А. Сергеев, говоря о необходимости рассмотрения Севера как в первую очередь управленческой категории, требующей особой государственной политики [Сергеев, 1949].

Сегодня очень похожая ситуация складывается с Арктикой. Арктический Совет – международный совещательный орган – рекомендует использовать в качестве южной границы Арктики традиционные физико-географические границы – июльскую изотерму и границу леса (те самые границы, которые критиковал в контексте выделения границ Севера как политической единицы упомянутый выше М.А. Сергеев). Есть экономическая категория районов с ограниченным сроком завоза грузов (положенная в 2022 г. в основу закона о северном завозе [Федеральный..., 2023]). При этом официально учрежденная Арктическая зона Российской Федерации охватывает зону, несколько не идентичную ни территории к северу от границы леса, ни совокупности удаленных территорий с ограниченным сроком завоза грузов и т. д. Невозможно подобрать ни одного параметра, значение которого было бы более-менее постоянно в границах АЗРФ (ни наличие многолетнемерзлых пород, ни климатические параметры, ни транспортная доступность не позволяют оконтурить АЗРФ более-менее похоже на официальные ее границы). По сути, как и в случае с Севером в приведенном выше примере, АЗРФ в официальных границах – это не какой-то «естественный» однородный объект (что уже неоднократно отмечалось в литературе [Жуков, 2014; Лукин, 2014]), но зона реализации определенной государственной политики, в частности системы льгот, предусмотренных законом о поддержке предпринимательства в Арктике [Федеральный закон..., 2020]. При этом текущий вариант границы является компромиссным: в силу целенаправленных мер властей ряда субъектов Российской Федерации сухопутная граница Арктики несколько раз смещалась на юг, включая все новые и новые районы (последний раз в состав АЗРФ были включены два района Ханты-Мансийского автономного округа – Югры [Федеральный закон..., 2025]). Очевидно, что после вхождения этих районов в состав АЗРФ они не превратились из «северных» в «арктические» по особенностям развития, но получили определенные льготы.

В этой связи вопрос о поисках каких-то общих черт арктических городов просто не может иметь решения: города выделены в особую группу не по сходству друг с другом и даже не по сходству друг с другом соответствующих регионов, а совершенно по иным критериям. В общем случае можно говорить о стратегической роли Арктики; не случайно АЗРФ относится в Стратегии пространственного развития к числу «геостратегических территорий» [Распоряжение Правительства..., 2024].

Политический генезис самого понятия «Арктическая зона Российской Федерации» не отменяет возможности ее научного изучения – однако она приобретает прикладную направленность. По сути, вопрос нужно ставить не о свойствах научно обоснованного объекта «арктические города», но о наборе свойств городов, выделенных нормативными документами в особую категорию государственной политики – и ответ на этот вопрос поможет подобрать, очевидно, наиболее адекватные ее инструменты.

Динамика изменения численности населения городов: арктический контекст. Ввиду стратегического понимания Арктики в государственной политике обычно большое внимание уделяется теме ее численности. В частности, в принятой в 2024 г. Стратегии пространственного развития прямо введен показатель «неуменьшения» численности ее населения («Отношение численности постоянно проживающего населения на территориях субъектов Российской Федерации, входящих в <...> Арктическую зону Российской Федерации, к уровню 2023 года», в целевом сценарии должно составить в 2036 г. «не менее 100%») [Распоряжение Правительства..., 2024].

подавляющая часть – 89% населения Российской Арктики проживает в городах, поэтому динамика численности населения именно в городах имеет при этом первостепенное значение.

Тема численности населения северных городов (а большая часть арктических городов расположена в районах Крайнего Севера, по которым накоплен уже довольно большой объем литературы) – довольно сложная. В отношении мировой Арктики заговорили об урбанизации именно в последние десятилетия – при этом зарубежные авторы отмечают происходящий сейчас рост большей части зарубежных арктических городов [Larsen et al., 2015]. Города Севера России в большинстве росли до 1990-х гг., после чего значительная их часть испытала сокращение численности населения. Однако ни в зарубежной, ни в Российской Арктике ситуация не столь однозначна, и нужно понять, какие именно города и когда испытывают тенденции роста и спада численности населения. Ситуацию осложняет тот факт, что оценка роста численности населения северных городов неоднозначна как в отечественной, так и в советской литературе.

С одной стороны, рост как численности населения, так и числа самих постоянных населенных пунктов в районах нового освоения зачастую даже превышал планы. О росте городов на севере Западной Сибири создана серия обобщающих работ И.Н. Стася [Стась, 2016, 2017], при этом автор выделяет как важный фактор урбанизации Севера ведомственные интересы, зачастую шедшие вразрез комплексным, взвешенным планам освоения территории. Отдельные постоянные населенные пункты на севере Западной Сибири иногда возникали даже вопреки решениям плановых органов о строительстве сугубо вахтовых поселков (что, конечно, квалифицировалось как «грубейшее нарушение» [Стась, 2017]). В мемуарной литературе есть детальные описания «эволюции» вахтовых поселков в постоянные – например, Пангоды, сегодня насчитывающем около 10 тыс. человек [Нетребо, 1999]. С учетом анализа таких примеров можно констатировать, что незапланированный рост поселков во многом стал «ответом снизу» на низкое качество жизни в вахтовых поселках того времени, преобладания не столько даже ведомственных, сколько сиюминутных интересов в отношении добычи ресурсов во всей структуре советской экономики того времени [Замятина, 2022].

В некоторых случаях планировщики закладывали даже сокращение численности населения северных городов по мере перехода соответствующих месторождений от этапа обустройства на этап стабильной добычи (явление всплеска и последующего падения численности населения промышленных городов описывалось советскими проектировщиками [Прогноз..., 1974; Проблемы..., 1977], и кстати, именно под удовлетворение спроса на жилье строились известные на Севере некапитальные дома – «деревяшки». Лишь некоторые из городов в районах нового освоения, оказавшиеся в наиболее выгодном положении и ставшие базовыми городами освоения обширной окружающей территории, рассматривались как центры стабильного роста в будущем. В отношении так называемых «промышленных городов» при месторождениях уже в 1974 г. речь шла о ликвидации [Прогноз..., 1974]. В целом же речь шла о расселении на Севере преимущественно только ценных специалистов – с завозом трудящихся с рабочими профессиями вахтовым методом.

Ситуация, близкая к изложенным прогнозам, наблюдается и в настоящее время. Так, например, в работе по типам арктических городов [Замятина, Гончаров, 2020] было установлено, что в среднем лучшая динамика численности населения в мировой Арктике наблюдается у городов – административных центров, а также у группы многофункциональных университетских городов. Впрочем,

многие из них расположены в южных районах зоны исследования, а вот административные центры – «настоящие» арктические города типа Йеллоунайфа и Нарьян-Мара. Однако в целом в Российской Арктике уникально высокая доля именно промышленных городов – для которых, по-видимому, естественным было бы сокращение населения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве территории исследования были выбраны Российская Арктика (в официально утвержденных Федеральным законом от 13.07.2020 № 193-ФЗ по состоянию на 1 января 2023 г. [Федеральный закон..., 2020]) и Канадская Арктика в границах, используемых в крупнейшем международном исследовательском проекте по социально-экономическому развитию мировой Арктики «Доклад о развитии человека в Арктике» [Larsen et al., 2015]. Дополнительно были рассмотрены отдельные канадские города южнее данной границы, поскольку в условиях Канады эти города имеют модели развития, схожие с моделями развития значительной части арктических городов России – речь об узкоспециализированных городах при месторождениях (mining towns), таких как Фермон, Ганьон и т. п.

На первом этапе проведен анализ динамики численности населения всех населенных пунктов выбранных территорий, которые за период с 1959 г. по настоящее время хотя бы раз достигали численности населения в 500 человек (статус города при этом не учитывался – по сути, речь идет о населенных пунктах, но для краткости сохраним наименование «города»). Использованы данные переписей населения СССР, РФ, а также по данным официальной статистической службы Канады (Statistics Canada). Для контекста была проанализирована динамика численности крупнейших городов мировой Арктики в целом в период 2000–2020 гг. Для обеих стран выделены типы динамики численности населения; подобный подход применялся в статье и других авторов [Кириллов и др., 2023], однако в данной работе подход иной: рассматривается тип динамики относительно пика для конкретного города, и дальнейшая типология траекторий развития строится как по времени достижения пика, так и по типу послепиковой траектории (продолжение роста, падение, волнообразная динамика и др.). Повышенное внимание не столько к падению численности населения (как в «модной» концепции «городского сжатия»), сколько к пику связано с ожиданием хотя бы примерно выявить случаи фронтальной динамики численности населения: закономерный цикл роста и падения численности населения городов в районах нового освоения, предсказанные в ряде работ 1970-х гг. [Прогнозы..., 1974].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика численности населения арктических городов. Как видно на рис. 1, в первом приближении наблюдается две разнонаправленных тенденции: потеря населения городами в целом больше характерна для Российской Арктики, а рост городов – для зарубежной, однако есть много важных деталей. В Российской Арктике выше и общее число городов, и общая численность городского населения, а города, в среднем, крупнее городов зарубежной Арктики. В зарубежной Арктике особенно заметен рост более крупных городов и городов, являющихся административными центрами (Уайтхорс, Йеллоунайф, Тромсе, Нуук и др.), именно такие и преобладают в зарубежной Арктике [Замятина, Гончаров, 2020]. Среди зарубежных городов теряют население в основном такие, которые связаны с добычей рудных полезных ископаемых и их транспортировкой: Нарвик и Кируна в Швеции, Лабрадор-Сити и Хэппи-Вали-Гуз-Бей в Канаде, а также отдельные небольшие (менее 10 тыс. жителей) города и поселки. Столица Исландии Рейкьявик в последнее десятилетие тоже теряла население, однако при этом активно росли ее пригороды, т. е. происходила классическая субурбанизация.

В России ситуация сложнее, что естественно в силу радикально большей численности арктических поселений. Единой тенденции нет ни среди административных центров (в зарубежной Арктике они, как правило, растут, в России – как растут (например, Салехард), так и убывают (например, Мурманск)), ни среди городов, специализирующихся на добывающей промышленности. В последнем случае убывают скорее более старые города, основанные в связи с освоением месторождений более 50 лет назад, но есть случаи сокращения численности населения и в молодых городах (Муравленко).

Самые сильные колебания численности населения в Канадской Арктике происходили на рубеже XIX–XX вв. – в связи со вспышкой, а затем затуханием знаменитой клондайкской золотой лихорадки. Численность населения города Доусон (главный центр золотодобычи на р. Клондайк) упала с 9,1 тыс. человек в 1901 г. до 3 тыс. уже в 1911 г., и затем до 975 человек в 1921 г., т. е. в 10 раз за 20 лет. В рассматриваемый период второй половины XX в. также происходили существенные изменения, хотя и с меньшей амплитудой. В 1960–1970-е гг. активно росли, а с 1980-х гг. активно депопулировали города востока Канадской Арктики, связанные с добычей железной руды, а также некоторые рудные города на Западе, например Фаро. Все это время росли, в основном, административные центры и поселки с преобладанием коренного населения (рис. 2).

Большинство населенных пунктов канадской Арктики – небольшие административные центры или поселки коренного населения; они почти не потеряли население за рассматриваемый период. А вот промышленные города (также в среднем небольшие по численности населения) испытали за рассматриваемый период сжатие как минимум на 20%.

В *Российской Арктике* спектр траекторий динамики численности населения городов намного богаче – что связано с большим разнообразием самих типов арктических городов в России по сравнению с Канадой (рис. 3).

Населенные пункты западной (и более староосвоенной) части Российской Арктики (Мурманская, Архангельская области, Республика Карелия и Республика Коми) испытали за рассматриваемый период сначала сильный рост (в том числе часть из них была создана «с нуля», как, например, Воркута, Апатиты и др.), затем – сильный спад населения. Во многих городах здесь современная численность населения составляет $\frac{3}{4}$ и даже $\frac{2}{3}$ от максимальной за рассматриваемый период. При этом спад пережили города практически всех типов – добывающие (Воркута, Никель, Ковдор), перерабатывающие сырье (Мончегорск), административные центры, вплоть до региональных столиц (Мурманск потерял около $\frac{1}{4}$ населения по сравнению с максимумом), транспортные, портовые и др. Аналогичная ситуация на северо-востоке страны – здесь многие поселки (в основном, связанные с добывающей промышленностью, а также порты Северморпути) потеряли более половины численности населения по сравнению с максимумом. Исключение составляют только «столичный» Анадырь и отдельные небольшие поселки в Якутии (Оленек, Батагай-Альта).

Напротив, арктическая Западная Сибирь и прилегающий к ней Ненецкий автономный округ – район непрекращающегося в большинстве населенных пунктов роста численности населения. Растут здесь как промышленные города и поселки (Новый Уренгой, Губкинский), так и административные центры, а также удаленные поселки с преимущественно коренным населением (Ныда, Сеяха и т. п.). Все эти населенные пункты относятся к регионам с большими масштабами нефтегазодобычи (ЯНАО и НАО), и, соответственно, если даже конкретный населенный пункт не связан с добывающей отраслью, он получает значительное бюджетное финансирование. При этом некоторые промышленные города все же теряют население и в этих регионах (Надым, Муравленко). Относительно стабильно и население Норильска на Таймыре (отчасти это объясняется административным присоединением к Норильску Талнаха и Кайеркана), хотя в целом населенные пункты севера Красноярского края по динамике ближе к северо-востоку (город Игарка потерял даже $\frac{3}{4}$ населения по сравнению с максимумом).



Рис. 1. Динамика численности населения мировой Арктики с 2000 по 2020 г.

Fig. 1. Population dynamics of the global Arctic during 2000 to 2020

Варианты динамики численности населения.

В общем случае и в России, и в Канаде наблюдается комбинация всех возможных типов динамики – рост, падение (причем с пиками в разные периоды), волнообразная динамика. Рассмотрим их отдельно.

Модель 1. Сокращение численности населения.

В России для большинства изученных населенных пунктов (47 населенных пунктов, или 45% всего массива изученных городов) пик численности приходится на перепись 1989 г., и далее численность населения неуклонно падает (табл., тип динамики 1). Это можно было бы объяснить изменениями в экономической модели развития страны, произошедшие в 1990-е гг. Однако обратим внимание, что многие канадские города испытали аналогичное резкое сокращение численности населения уже в 1980-е гг., причем политико-экономических изменений, аналогичных российским изменениям 1990-х гг., в Канаде не наблюдалось (табл., тип динамики 4).

В большинстве случаев падение численности населения городов данного типа связано с сокращением в них промышленной деятельности в добывающих отраслях (добыча полезных ископаемых, лесная промышленность и др.) – особенно ярко это проявилось в Канаде.

Два десятилетия (1960–1970-е) почти все поселения севера Канады росли очень высокими темпами (в некоторых случаях – свыше 30% за десятилетие). В этот период Канадский Север стал рассматриваться как важный источник новых природных ресурсов (известный, хотя и не реализованный проект «Дороги к ресурсам» относится именно к этому периоду; большую роль в продвижении экономики на Север играла государственная поддержка [Агранат, 1970, 1984]. Активно сооружалась инфраструктура (Аляскинская трасса, Северная железная дорога Маккензи, связавшая провинцию Альберта со свинцово-цинковым месторождением Пайн-Пойнт близ Хей-Ривер). Вопреки распространенному заблуждению о том, что зарубежный Север осваивался преимущественно вахтовым методом, уже в этот период на севере Канады активно строились новые города. В частности, Фаро на территории Юкон, в 1970-е гг. стал одним из ключевых мировых центров добычи свинцово-цинковых руд. В 1960 г. получил официальный статус поселения квебекский Ганьон, в 1974 – Фермон (Ferme), начиная с 1960-х гг. застраивался Лабрадор-Сити – все три были связаны с добычей железной руды.

Ситуация радикально меняется только в 1980-е гг., хотя в период с 1981 по 1991 г. медианный темп прироста численности составил 19,5%, 11 из 40 населенных пунктов уже депопулировали. В этот период упал спрос на сталь, в результате чего разработка многих железорудных месторождений ста-

ла нерентабельной. Город Ганьон был полностью ликвидирован после закрытия шахт, Лабрадор-Сити потерял более 20% населения. Таким образом, в 1980-е гг. в Канаде массово проявился конец фронтального сценария развития городов, который можно охарактеризовать как зависимость «живет месторождение – живет город, нет месторождения – нет города». Данная модель динамики примечательна именно тем, что опровергает два полярных стереотипа о характере заселения севера Канады: что в данном регионе Канады не строили городов и, наоборот, что там «все стабильно»; она проиллюстрирована на рис. 4.

В России 1960–1970-е гг. также были периодом преимущественного роста северных городов в связи с освоением нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири. Рост здесь был намного масштабнее, чем в Канаде, но и масштаб западносибирских месторождений не сопоставим с канадским.

Многие из возникших в те годы городов начали депопуляцию в 1990-е гг., чуть позже канадских промышленных городов – и можно было бы «списать» ее на экономические изменения. Однако обратим внимание: в некоторых случаях сокращение численности населения российских арктических городов произошло уже в советское время. Так, например, в 11 населенных пунктах советской Арктики пик численности населения пришелся на 1970-е гг., и уже к концу советского периода население сокращалось. Падение численности населения в этих случаях было обусловлено оттоком населения по завершении строительства крупного промышленного объекта (Снежногорск), или снижении потребности в продукции строительной отрасли (Кильдинстрой) и др. Практически об этом писали исследователи 1970-х гг., прогнозируя плановую ликвидацию в первую очередь поселков, приуроченных к небольшим месторождениям в период освоения их в 1930–1950-е гг. (зачастую такие поселки изначально предназначались для размещения заключенных). При этом прогнозировалась ликвидация ряда поселков под Воркутой [Прогноз..., 1974]. По всей видимости, 1990-е гг. не всегда были причиной, но в ряде случаев – катализатором естественных процессов. Но если в Канаде сжатие городов обычно связано с конъюнктурой цен (Ганьон был ликвидирован в возрасте менее 30 лет), то в СССР цикл явно был длиннее, и связан был со следующими факторами: истощение месторождения (Норильск), окончание периода строительства (Снежногорск), оптимизация системы расселения (в современных условиях это называется «управляемое сжатие») – такой вариант предполагался для поселков в районе Воркуты (так называемое «Воркутинское кольцо»). Только в редких случаях сокращение численности

Таблица

Типы динамики численности населения арктических городов

| Российская Арктика | | | | | Канадская Арктика | | | | | | |
|---|----------|-----------------------------|-------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|---|----------|-----------------------------|-------------------------|
| Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность | Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность | Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность |
| Тип динамики I: пик численности населения в 1989 г. с последующим убыванием | | | | | | | | | | | |
| Апатиты | 1989 | 88 026 | 52 762 | Мурманск | 1989 | 468 039 | 279 064 | Аклавик | 1989 | 801 | 536 |
| Архангельск | 1989 | 415 921 | 342 164 | Надвоицы | 1989 | 11 514 | 7042 | Мэристаун | 1989 | 6739 | 5204 |
| Африканда | 1989 | 3469 | 1368 | Новодвинск | 1989 | 50 183 | 36 832 | | | | |
| Багай | 1989 | 8358 | 3497 | Оленегорск | 1989 | 35 584 | 19 533 | | | | |
| Белая Гора | 1989 | 3517 | 1931 | Онега | 1989 | 26 070 | 17 745 | | | | |
| Беломорск | 1989 | 18 935 | 8699 | Островной | 1989 | 12 000 | 1589 | | | | |
| Билибино | 1989 | 15 558 | 5506 | Полярные Зори | 1989 | 19 428 | 14 209 | | | | |
| Боровой | 1989 | 3060 | 1328 | Полярный | 1989 | 27 635 | 17 105 | | | | |
| Воргашор | 1989 | 24 869 | 9190 | Ревда | 1989 | 13 820 | 7831 | | | | |
| Воркута | 1989 | 115 646 | 51 321 | Северный | 1989 | 20 428 | 7946 | | | | |
| Депутатский | 1989 | 13 305 | 3009 | Северодвинск | 1989 | 248 670 | 179 742 | | | | |
| Дудинка | 1989 | 32 325 | 20 925 | Сегежа | 1989 | 38 207 | 25 334 | | | | |
| Жиганск | 1989 | 4511 | 3328 | Среднеколымск | 1989 | 4489 | 3394 | | | | |
| Заполярный | 1989 | 23 564 | 13 939 | Талнах | 1989 | 62 849 | 47 216 | | | | |
| Зырянка | 1989 | 6687 | 2634 | Тикси | 1989 | 11 649 | 4808 | | | | |
| Инга | 1989 | 60 220 | 23 171 | Тура | 1989 | 7474 | 5343 | | | | |
| Кайеркан | 1989 | 27 881 | 21 193 | Туруханск | 1989 | 8869 | 3178 | | | | |
| Кандалакша | 1989 | 54 080 | 29 047 | Умба | 1989 | 8309 | 4280 | | | | |
| Кировск | 1989 | 43 526 | 25 586 | Хаганга | 1989 | 6385 | 2321 | | | | |
| Ковдор | 1989 | 30 478 | 15 525 | Хонуу | 1989 | 3057 | 2200 | | | | |
| Кола | 1989 | 16 541 | 9431 | Черский | 1989 | 11 176 | 2472 | | | | |
| Красноселькуп | 1989 | 5300 | 3732 | Чокурдах | 1989 | 3845 | 2059 | | | | |
| Лабитнанги | 1989 | 31 501 | 26 788 | Чупа | 1989 | 5214 | 2100 | | | | |
| Ловозеро | 1989 | 3638 | 2848 | | | | | | | | |
| Мезень | 1989 | 4968 | 3122 | | | | | | | | |
| Мончегорск | 1989 | 68 652 | 40 425 | | | | | | | | |
| Итого 45,37% от всех изученных российских городов | | | | | | | | Итого 4,65% от всех изученных канадских городов | | | |

Продолжение таблицы

| Российская Арктика | | | | | | Канадская Арктика | | | | | |
|---|----------|-----------------------------|-------------------------|--|----------|-----------------------------|-------------------------|----------------|----------|-----------------------------|-------------------------|
| Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность | Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность | Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность |
| Тип динамики 2: относительно стабильный рост численности населения | | | | | | | | | | | |
| Аксарка | 2020 | 4352 | 4352 | | | | | Айбекс-Вэлли | 2020 | 523 | 523 |
| Батагай-Алыта | 2020 | 1897 | 1897 | | | | | Арвиат | 2020 | 2864 | 2864 |
| Губкинский | 2020 | 38 336 | 38 336 | | | | | Бейкер-Лейк | 2020 | 2061 | 2061 |
| Мужи | 2020 | 3736 | 3736 | | | | | Доусон | 2020 | 1577 | 1577 |
| Новый Уренгой | 2020 | 11 8667 | 118 667 | | | | | Иглулик | 2020 | 2049 | 2049 |
| Ныда | 2020 | 1870 | 1870 | | | | | Икалуит | 2020 | 7429 | 7429 |
| Оленек | 2020 | 2346 | 2346 | | | | | Йеллоунайф | 2020 | 20 340 | 20 340 |
| Салехард | 2020 | 51 972 | 51 972 | | | | | Кармакс | 2020 | 588 | 588 |
| Тарко-Сале | 2020 | 22 181 | 22 181 | | | | | Кеймбридж-Бей | 2020 | 1760 | 1760 |
| Яр-Сале | 2020 | 7410 | 7410 | | | | | Кейп-Дорсет | 2020 | 1396 | 1396 |
| | | | | | | | | Маунт-Лорн | 2020 | 468 | 468 |
| | | | | | | | | Пангниртанг | 2020 | 1504 | 1504 |
| | | | | | | | | Понд-Инлет | 2020 | 1555 | 1555 |
| | | | | | | | | Ранкин-Инлет | 2020 | 2975 | 2975 |
| | | | | | | | | Росс-Ривер | 2020 | 355 | 355 |
| | | | | | | | | Тактояктук | 2020 | 937 | 937 |
| | | | | | | | | Уайтхорс | 2020 | 28 201 | 28 201 |
| | | | | | | | | Уотсон-Лейк | 2020 | 1133 | 1133 |
| | | | | | | | | Хейнс-Джанкшен | 2020 | 688 | 688 |
| Итого 9,26% от всех изученных российских городов | | | | Итого 44,19% от всех изученных канадских городов | | | | | | | |
| Тип динамики 3: пик численности до 1989 г. с возобновлением роста численности населения после сокращения 1990-х гг. | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| Анадырь | 1989 | 17 094 | 15 079 | Пинега | 1989 | 4401 | 3786 | Инувик | 1989 | 3206 | 3137 |
| Искателей | 1989 | 8672 | 7463 | Сафоново | 1989 | 7661 | 5820 | Фаро | 1979 | 1652 | 440 |
| Карпогоры | 1989 | 5335 | 4667 | Североморск | 1989 | 62 120 | 55 005 | Форт-Смит | 1989 | 2480 | 2248 |

Продолжение таблицы

| Российская Арктика | | | | | | Канадская Арктика | | | | | |
|--|-----------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|----------|-----------------------------|-------------------------|---|----------|-----------------------------|-------------------------|
| Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность | Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность | Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность |
| Костомукша | 1989 | 30 432 | 29 739 | Снежногорск | 1989 | 15 420 | 12 995 | Хаппи-Валли-Гуэ-Бей | 1989 | 8610 | 8040 |
| Лаврентия | 1989 | 3012 | 1420 | Тазовский | 1989 | 8441 | 8441 | | | | |
| Лешуконское | 1989 | 6199 | 4760 | Угольные Копи | 1989 | 12 357 | 4225 | | | | |
| Надым | 1989 | 52 586 | 46 445 | Уемский | 1979 | 4905 | 4232 | | | | |
| Пангоды | 1989 | 12 635 | 11 132 | Уренгой | 1989 | 11 868 | 10 112 | | | | |
| Певек | 1989 | 12 915 | 4890 | Эгвекиног | 1989 | 5478 | 3228 | | | | |
| Итого 16,67% от всех изученных российских городов | | | | | | | | Итого 9,3% от всех изученных канадских городов | | | |
| Тип динамики 4: пик численности населения с 1959 по 1979 с последующим убыванием | | | | | | | | | | | |
| Верхняя Инта | 1959 | 6675 | 1037 | Малошуйка | 1959 | 8029 | 2229 | Бэ-Комо | 1979 | 26 861 | 20 687 |
| Заполярный (К) | 1970 | 9709 | 1322 | Норильск | 1979 | 180 358 | 106 044 | Вабана | 1959 | 8026 | 1815 |
| Зеленоборский | 1970 | 10 224 | 5044 | Парма | 1979 | 11 870 | 1124 | Ганьон | 1970 | 3787 | Закрыт в 1985 |
| Каменка | 1970 | 6898 | 1903 | Пяозерский | 1979 | 2660 | 1521 | Корнер-Брук | 1970 | 26 309 | 19 333 |
| Кемь | 1970 | 21 025 | 10 222 | Снежногорск (К) | 1970 | 9685 | 784 | Лабрадор-Сити | 1979 | 11 538 | 7412 |
| Кестеньга | 1970 | 3012 | 732 | Сосновец | 1959 | 3319 | 1178 | Стивенвилл | 1979 | 8876 | 6540 |
| Кильдинстрой | 1970 | 4376 | 1964 | Усть-Цильма | 1979 | 5498 | 4331 | Шанель-Порт-о-Баск | 1979 | 6102 | 3547 |
| Летнереченский | 1959 | 4392 | 1204 | | | | | Фермон | 1979 | 4215 | 2256 |
| Итого 13,89% от всех изученных российских городов | | | | | | | | Итого 18,6% от всех изученных канадских городов | | | |
| Тип динамики 5: пульсирующая численность населения | | | | | | | | | | | |
| Верхнегуломский | 1989 | 2797 | 1320 | Нарьян-Мар | 1979 | 23 435 | 25 795 | Тамблер-Ридж | 1989 | 4650 | 2399 |
| | 2010 | 2580 | | | 2020 | 2710 | | | | | |
| | Верхоянск | 1970 | 1864 | 1064 | Никель | 1970 | 21 299 | 10 389 | Мейо | 1979 | 398 |
| 1989 | | 1883 | 1989 | | | 366 | | | | | |
| Игарка | | 1939 | 23 648 | 4089 | Печенга | 1959 | 3458 | 3543 | | | |
| | 1989 | 18 820 | 2010 | | | 3188 | | | | | |

Окончание таблицы

| Российская Арктика | | | | | | Канадская Арктика | | | | | |
|--|----------|-----------------------------|-------------------------|-----------------|----------|-----------------------------|-------------------------|----------------|----------|-----------------------------|-------------------------|
| Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность | Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность | Город | Год пика | Численность населения в пик | Современная численность |
| Люхи | 1959 | 6107 | 3632 | Провидения | 2020 | 3543 | 2151 | | | | |
| | 1989 | 6405 | | | 1970 | 6586 | | | | | |
| Итого 7,4% от всех изученных российских городов | | | | | | | | | | | |
| Тип динамики 6: относительно стабильно падающая численность населения с начала периода анализа | | | | | | | | | | | |
| Нивский | 1939 | 7287 | 891 | Рабочееостровск | 1939 | 4120 | 2000 | | | | |
| Итого 1,85% от всех изученных российских городов | | | | | | | | | | | |
| Тип динамики 7: пик численности населения после 2000 г. | | | | | | | | | | | |
| Калевала | 2002 | 5578 | 3697 | | | | | Бечоко | 2010 | 1926 | 1746 |
| Муравленко | 2002 | 35 925 | 31 332 | | | | | Кугаарук | 2010 | 1450 | 1382 |
| Мурмаши | 2002 | 16 343 | 13 646 | | | | | Маунт-Перл | 2002 | 24 964 | 22 477 |
| Ноябрьск | 2010 | 110 620 | 106 911 | | | | | Норман-Уэлс | 2010 | 727 | 673 |
| Усинск | 2002 | 47 800 | 36 775 | | | | | Форт-Макферсон | 2010 | 792 | 647 |
| Харп | 2002 | 7278 | 5798 | | | | | Форт-Провиденс | 2002 | 753 | 618 |
| | | | | | | | | Форт-Симпсон | 2010 | 1238 | 1100 |
| | | | | | | | | Хей-Ривер | 2010 | 3606 | 3169 |
| Итого 5,56% от всех изученных российских городов | | | | | | | | | | | |
| Итого 18,6% от всех изученных канадских городов | | | | | | | | | | | |

населения было связано с экономической нецелесообразностью продолжения добычи (прекращение добычи флюорита в Амдерме, которая не вошла в выборку в силу экстремально низкой численности

населения в настоящее время – менее 500 человек).

Особенно интересен случай Норильска, где соединилось сразу несколько тенденций; он детально рассмотрен ниже.

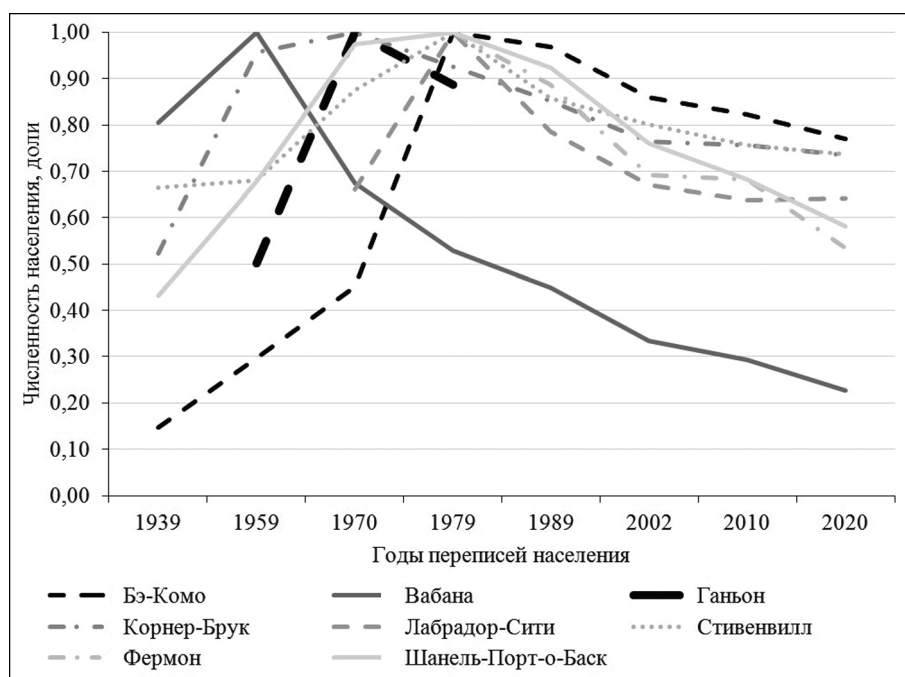


Рис. 4. Динамика численности населения канадских городов с пиком численности в 1960–1970-е гг.

Fig. 4. Population dynamics of Canadian cities with peak values in the 1960s and 1970s

Модель 2. Стабильный рост. Она характерна для большинства канадских поселков, но встречается и в России (см. табл. 1, тип 2).

Быстро растущие населенные пункты делятся на две группы. Во-первых, это административные центры ресурсных регионов (Салехард, Йеллоунаф, Уайтхорс), центры административных единиц с высокой долей коренного населения или просто удаленные поселки с преобладанием коренных жителей (в России – Аксарка, Батагай-Алыта, Мужы, Оленек, Тарко-Сале, Яр-Сале, Ныда; в Канаде – Кармакс, Пангниртанг, Иглулик и т. п.).

В группу стабильно растущих городов в России попадают также города и поселки – центры освоения «молодых» месторождений, введенных в эксплуатацию не ранее 1970-х гг. (Новый Уренгой, Губкинский). Впрочем, возраст здесь не является гарантией роста: некоторые их «ровесники» испытали уже спад населения (Надым, Муравленко). По всей видимости, расхождение траекторий развития молодых добывающих городов зависит во многом от местных факторов (транспортное положение, запасы прилегающих месторождений и даже, возможно, институциональные особенности).

К модели роста можно отнести и целую группу городов и поселков Российской Арктики, где после «провала» 1990-х гг. возобновился рост численности населения (см. табл. 1, тип динамики 3), это тоже или города при «молодых» месторождениях, или поселки с высокой долей коренного населения. Кроме того, здесь выделяется группа пригородов (пос. Угольные Копи – пригород Анадыря, Верхнетуломский – Мурманска, Искателей – Нарьян-Мара), а также старинные Каргопоры, Пинега и Лешуконское, но их можно вынести за рамки общих тенденций.

Модель 3. Пульсирующий город. Самый, наверное, интересный случай – это пульсирующее развитие городов, включающее два и более пиков численности населения (см. табл. 1, тип 5).

Объяснение каждого случая индивидуально. Изменение конъюнктуры цен на добываемое сырье (уголь) вызывало колебания численности канадского города Тамблер-Ридж (ставшего хрестоматийным примером монопрофильного города [Замятина и др., 2023]). В середине 2000-х гг. цены на уголь начали расти и позволили снова открыть шахты, в результате чего численность населения выросла на 46%. В Игарке вторичный после первого пика

всплеск численности населения был связан с переоснащением градообразующего предприятия новыми технологиями (внедрением технологии перевалки леса «в пакетах» к началу 1970-х гг. [Замятина, 2021]). Последующее обвальное падение численности населения Игарки в 1990-е гг. стало, упрощая, результатом изменения траектории торговых путей: с изменением цен на провоз грузов по Севморпути вывоз древесины морем сменился транспортировкой по железной дороге, в обход Игарки [Замятина, 2021]. Такая причина угасания экономики роднит Игарку с Мангазеей и Верхотурьем.

Частный случай: Норильск. 1980-е годы были парадоксальным периодом в развитии города. С одной стороны, это период активного развития новых производств (в 1985 г. на полную мощность вышел Надеждинский металлургический завод, первая очередь которого была запущена в 1979 г.), период максимально активного

благоустройства и комфортизации города, и максимального роста численности населения всего Норильского промышленного района (НПР). Но именно в этот период впервые сокращается численность населения самого Норильска (180 358 чел. по переписи 1979 г., 174 673 чел. – в 1989 г.). Одновременно растет численность населения соседних поселков (в 1982 г. им присваивается статус города) – Талнаха и Кайеркана. Рост городов-спутников при снижении численности населения центрального города можно было бы отнести к классической субурбанизации в наиболее общем смысле этого слова, однако в реальности картина сложнее – и удивительным образом напоминает ситуацию в современном Подмоскowie, когда города-спутники принимают не столько переселенцев центрального города, как в классической субурбанизации, сколько новых мигрантов в регион [Карачурина, 2022].

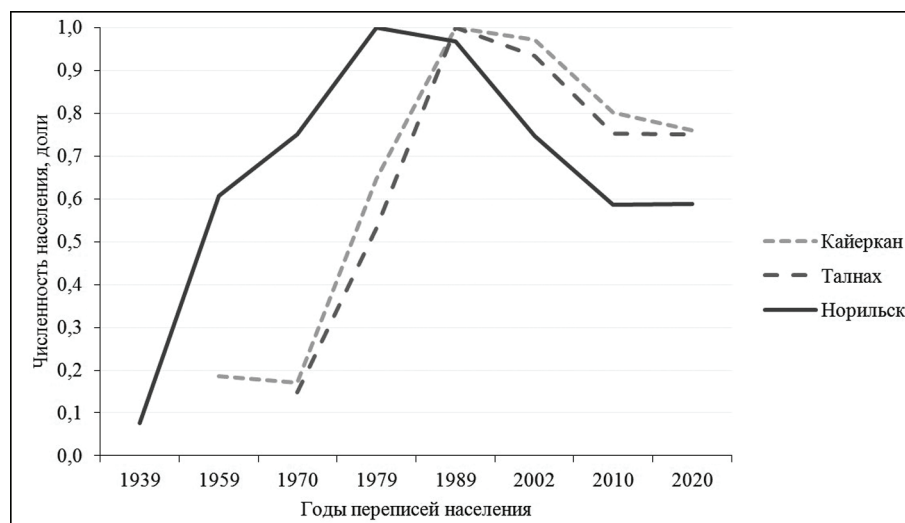


Рис. 5. Динамика численности населения Кайеркана, Талнаха и Норильска (до 2004 г. – самостоятельные населенные пункты): рост пригородов при снижении численности центрального города

Fig. 5. Population dynamics of Norilsk, Kayerkan and Talnakh (independent settlements before 2004): growth of suburbs and a decrease in the population of the central city

Как отмечает исследовательница сибирских миграций Т.П. Урожаева, «в 1980-е гг. ведущая роль в формировании населения НПР перешла к естественному приросту. Шел активный миграционный обмен НПР с Центральным районом РСФСР (54%), Украиной, Белоруссией, Молдавией (27%), Восточной Сибирью (10,8%). С 1979 г. в НПР стабильно установилось отрицательное сальдо миграции, увеличивающееся с каждым годом. Этому можно назвать несколько причин. Уезжали строители Надеждинского металлургического завода. Также повлиял «местный» фактор – демографические процессы в самом Норильске: в 1980-е гг. бывшие «комсомоль-

ские десантники», приехавшие в Норильск в середине 1950-х гг., уже достигли пенсионного возраста и «потянулись на материк». Наметился отток населения из Восточной Сибири, вызванный в основном территориальными (межрайонными) различиями в условиях и уровне жизни, так как имеющиеся у северян льготы и преимущества лишь частично компенсировали худшие условия жизни по сравнению с западными и южными районами страны» [Урожаева, 2016].

Обратим при этом внимание на миграционный баланс как важнейший элемент перераспределения населения. Стабильность численности населения

в Норильске (и в целом это характерно для арктических городов) во многом поддерживается за счет взаимно компенсирующих потоков входящей и исходящей миграции. В таких условиях городское сжатие – это не только и не столько отток (как в классических работах по «городскому сжатию»). По сути, *мы имеем дело с особым типом динамики населения молодого – фронтирного города, где падение численности во многом генерируется падением компенсационного потока входящей миграции при высоком обороте миграции в целом*. Таким образом, в 1980-е гг. не только «уехали комсомольцы» («комсомольцы» – лица, приехавшие в Норильск по комсомольским путевкам в 1950-е гг. – значимая социальная группа, до сих пор упоминаемая в интервью норильчанами), но на смену им не пришел поток новых мигрантов в Норильск. Между тем население НПП росло, и поток входящей миграции был еще существенным (хотя, как отмечает Т.П. Урожаева, уже сложился отрицательный миграционный баланс). Важнейшим фактором падения численности населения Норильска здесь стали, очевидно, сравнительные конкурентные преимущества более молодых, растущих городов – Кайеркана и Талнаха (рис. 5). Первый, по-видимому, стал базой обеспечения кадрами растущего Надеждинского металлургического завода (как ближайший к нему населенный пункт НПП). Бурный рост Кайеркана несколько парадоксален, поскольку еще в 1977 г. в специальной литературе утверждалось, что Кайеркан – исторически – центр угледобычи для нужд Норильского промузла – «в значительной мере потерял свое промышленное значение в связи с пуском газопровода Мессояха – Норильск» [Проблемы..., 1977], однако, как видно, строительство Надеждинского металлургического комбината «вдохнуло» в него новую жизнь. Талнах же стал «рудной столицей»¹, центром разработки сравнительно недавно открытых богатых месторождений Талнахского рудного узла (Октябрьский и другие рудники). Набираемые для работы на растущих предприятиях кадры расселялись в ближайших населенных пунктах соответственно, в Кайеркане – сотрудники «Надежды», в Талнахе – работники новых рудников.

При этом в 1970-е гг. происходил процесс, который сегодня можно было бы назвать «управляемым сжатием»: активно ликвидировались барачные поселки на месте бывших лагпунктов, расположенных практически при каждом промышленном объекте (отдельные шахты и т. д.) [Толстов, 2007]. Еще в 1960-е гг. под Норильском существовали поселки с индивидуальным жилым фондом (очевидцы опи-

сывают даже наличие в нем свинарников и т. д.) [Норильские поселки, 2012], однако к 1980-м гг. они в большинстве были снесены. По сути, только Кайеркан (изначально – также лагерный пункт) получил «второе рождение» в связи со строительством рядом Надеждинского комбината. Талнах же был построен с нуля. Таким образом, вопреки распространенному мнению о новизне «управляемого сжатия», мощное перераспределение населения в пригородах Норильска и оптимизация структуры расселения района была проведена еще в советское время. Именно этому сегодня Норильск обязан компактностью своей центральной части. На месте множества пригородных поселков было создано два города-спутника, Талнах и Кайеркан, позже включенных в состав Норильска (чем и объясняется сегодня относительная стабильность его населения в статистике).

Норильский промышленный район в целом может считаться хорошим образцом для изучения фронтирного типа динамики численности населения, включающим быстрый рост и последующее закономерное снижение численности населения, концентрацию изначально дисперсного расселения на зрелой стадии освоения, а также интересное явление роста городов-спутников за счет новых мигрантов (что сближает фронтирные регионы со столичными). Однако столь яркий фронтирный тип динамики не может быть распространен на всю Арктику, в которой наблюдаются принципиально разнонаправленные траектории динамики численности населенных пунктов.

ВЫВОДЫ

Тенденции развития арктических населенных пунктов разнонаправлены: наблюдается как стабильный рост, так и цикл «взлета и падения» численности населения, а также (реже) варианты пульсирующих траекторий.

В большинстве случаев стабильный рост численности населения характерен для административных центров ресурсодобывающих районов и районов с высокой долей численности населения, однако даже статус областного центра не гарантирует от радикального сокращения численности населения (случай Мурманска). Для сокращения численности населения есть много причин. Улучшение транспортной доступности создает объективные предпосылки для сокращения обслуживающих производств в северных городах (завоз из южных регионов позволяет получить экономию на масштабе производства в последних). Сокращение численности населения (вплоть до полной ликвидации города) встречается в связи с падением цен на определенное сырье (Восточная Канада в 1980-е гг.), оптимизацией системы

¹ Бренд Талнах как «рудной столицы России» действительно предлагался мэром города Талнах Юрием Луксом (из интервью Н.Ю. Замятиной с Ю.В. Луксом).

расселения в крупных добывающих районах по мере совершенствования транспортных и иных технологий (Воркутинское кольцо с 1990-х и Норильск в 1980-е гг.). Часто города испытывают сокращение численности населения просто в связи с завершением этапа строительства промышленного объекта, требующего привлечения дополнительной рабочей силы (Снежногорск). Как показывает сравнение опыта СССР и Канады, данные тенденции в целом не зависят от политического строя и являются общими для северных районов мира.

Благодарность. Статья подготовлена в ходе проведения исследования в рамках проекта «Международное академическое сотрудничество» НИУ ВШЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агранат Г.А. Зарубежный Север: опыт освоения. М.: Наука, 1970. 414 с.
- Агранат Г.А. Использование ресурсов и освоение территории Зарубежного Севера. М.: Наука, 1984. 263 с.
- Желнина З.Ю., Терещенко Е.Ю. Визуальный текст арктического города: методы анализа и варианты интерпретации // Общество: философия, история, культура. 2020. № 4(72). С. 87–93. DOI: 10.24158/fik.2020.4.16.
- Жуков М.А. Методологические и методические проблемы выделения Арктической зоны Российской Федерации // Арктика XXI век. 2014. № 1(2). С. 4–20.
- Замятина Н.Ю. Арктическая урбанизация как фронтир // Научный вестник ЯНАО. 2016. № 3(92). С. 114–120.
- Замятина Н.Ю. Развилки судьбы фронтирного города: уроки Игарки // ЭКО. 2021. № 1. С. 67–92. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2021-1-67-92.
- Замятина Н.Ю., Гончаров Р.В. Арктическая урбанизация: феномен и сравнительный анализ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 4. С. 69–82.
- Замятина Н.Ю., Сиваев С.Б., Никитин Б.В. и др.. Сжатие. Управляемое и не очень: опыт городов Севера и Арктики. М.: PressPass, 2023. 248 с.
- Карачурина Л.Б. Урбанизация или субурбанизация определяет миграцию населения в Московской области? // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Науки о Земле. 2022. № 67(2). С. 360–381. DOI: 10.21638/spbu07.2022.208.
- Кириллов П.Л., Махрова А.Г., Балабан М.О. и др. Сжимающиеся города в России в постсоветский период // Региональные исследования. 2023. № 1. С. 4–18.
- Лукин Ю.Ф. Статус, состав, население Российской Арктики // Арктика и Север. 2014. № 15. С. 57–94.
- Маряхин В.М., Часовский В.И. Северные города России: географические особенности и современные подходы к исследованию // Вестн. Балтийского фед. ун-та им. И. Канта. Сер.: Естественные и медицинские науки. 2023. № 3. С. 24–39. DOI: 10.5922/gikbfu-2023-3-2.
- Нетребко Л.В. Пангоды: очерки, зарисовки. Екатеринбург: Уральский рабочий, 1999. 136 с.
- Пилясов А.Н., Путилова Е.С. Оспаривая очевидное: арктические города // Городские исследования и практики. 2020. Т. 5. № 1. С. 9–32. DOI: 10.17323/usp5120209-32.
- Проблемы расселения в районах Севера / под ред. В.М. Мякиненкова. Л.: Стройиздат, 1977. 223 с.
- Прогнозы расселения и планировки городов Крайнего Севера / под ред. Л.К. Панова. Л.: Стройиздат, 1973. 200 с.
- Сергеев М.А. К вопросу о применении термина «Крайний Север» // Летопись Севера. М.; Л.: Изд-во Главсевморпути, 1949. Т. I. С. 189–208.
- Силин А.Н. Арктический город и вахтовик: новые вызовы // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2021. № 1(110). С. 68–82. DOI: 10.26110/ARCTIC.2021.110.1.005.
- Стась И.Н. Вахтовый метод в системе расселения Западно-Сибирского нефтегазового комплекса (1960–1980-е гг.) // Северный регион: наука, образование, культура. 2017. № 2(36). С. 81–86.
- Стась И.Н. От поселков к городам и обратно: история градостроительной политики в Ханты-Мансийском округе (1960-е – начало 1990-х гг.). Сургут: Дефис, 2016. 258 с.
- Тараканов М.А. Эволюция пространственной локализации понятий «Крайний Север» и «Север» в России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2010. № 26. С. 32–36.
- Толстов В.А. Летопись Норильска. Популярная энциклопедия. Норильск: АПЕКС, 2007. 448 с.
- Урожаева Т.П. Миграционные процессы в городах Норильского промышленного района в 1970–1990-е гг. // Уральский исторический вестник. 2016. № 1(5). С. 130–138.
- Федоров Р.Ю., Сизов О.С., Куклина В.В. и др. Возможности применения концепции «зимнего города» в Российской Арктике (на примере города Надыма) // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11. № 2. С. 291–303. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-291-303.
- Larsen J., Fondahl G. (eds.), Arctic Human Development Report: Regional Processes and Global Linkages, Copenhagen, Nordisk Ministerråd, 2015.

Электронные источники

- Замятина Н.Ю. Сага о трубах большого диаметра: Госплан, освоение Севера и проблемы импортозамещения. [Б.м.]: Издательские решения, 2022. 88 с. URL: https://www.argorussia.ru/sites/default/files/2023-01/Saga_o%C2%A0трубах_большого_диаметра_Госплан_освоение_Севера_и%C2%A0проблемы%20%282%29.pdf (дата обращения 17.03.2024).

Федеральный закон от 04.08.2023 № 411-ФЗ «О северном завозе». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202308040016> (дата обращения 17.03.2024).

Федеральный закон от 13.07.2020 № 193-ФЗ «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Арктической зоне Российской Федерации». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/view/0001202007130047> (дата обращения 17.03.2024).

Федеральный закон от 21.04.2025 № 97-ФЗ «О внесении изменений в статью 1 Федерального закона «Об особенностях предоставления гражданам земельных участков...» и в статьи 2 и 16 Федерального закона «О государственной поддержке предпринимательской деятельности в Аркти-

ческой зоне Российской Федерации». URL: <http://pravo.gov.ru/proxy%2Fips%2F?docbody=&prevDoc=102396725&backlink=1&&nd=608556106> (дата обращения 17.05.2025).

Распоряжение Правительства РФ от 28.12.2024 № 4146-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202501060001> (дата обращения 17.05.2025).

Норильские поселки // Разное о прошлом Норильска и НПП: блог краеведа-любителя. 26.09.2012. URL: <https://severok1979.livejournal.com/4516.html> (дата обращения 26.09.2012).

Поступила в редакцию 20.03.2025

После доработки 15.07.2025

Принята к публикации 28.08.2025

POPULATION DYNAMICS OF ARCTIC CITIES IN RUSSIA AND CANADA SINCE THE MID-20th CENTURY

N.Yu. Zamyatina¹, B.V. Nikitin², A.E. Polozun³

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

³ *HSE University, Faculty of Urban and Regional Development, Vysokovsky Graduate School of Urban Studies and Planning, Centre for Arctic and Northern Urban Studies*

¹ *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: nadezam@yandex.ru*

² *Postgraduate student; e-mail: borisnikitin25@gmail.com*

³ *Master's student; e-mail: polozun.alex@gmail.com*

The paper addresses the problem of universalizing the characteristics of Arctic cities and questions the possibility of identifying uniform patterns in their demographic dynamics. The analysis is based on a comparison of census data for more than 100 cities in Russia and Canada since the mid-20th century. The authors demonstrate that the official definition of the Arctic Zone as an administrative category does not reflect the real differences between cities. The authors show that the official definition of the Arctic zone as a management category does not reflect the real differences between cities because there are radically different development trajectories within the boundaries of both the modern Arctic zone of the Russian Federation and the North of Canada. One of the trajectories is analyzed in detail using the example of the town of Norilsk (the modern Central District of the town of Norilsk). This is a frontier type of population dynamics: the decrease in population numbers is caused not so much by the outflow of population as by a decline in incoming migration while an overall high migration turnover is constant. The findings emphasize the need to move away from standardized planning scenarios and to consider the diversity of local conditions in managing the development of Arctic territories.

Keywords: Arctic urbanization, urban shrinkage, Far North, frontier population dynamics

Acknowledgements. The paper was prepared under the International Academic Cooperation project “Dynamic urbanistics: a comparative analysis of the cities with rapid population changes in Russia and China” of the HSE University (A.E. Polozun).

REFERENCES

- Agranat G.A. *Ispol'zovanie resursov i osvoenie territorii Zarubezhnogo Severa* [Use of Resources and Development of Foreign North Territory], Moscow, Nauka Publ., 1984, 263 p. (In Russian)
- Agranat G.A. *Zarubezhnyi Sever: opyt osvoeniya* [Foreign North: Experience of Development], Moscow, Nauka Publ., 1970, 414 p. (In Russian)
- Fedorov R.Yu., Sizov O.S., Kuklina V.V. et al. *Vozможности primeneniya kontseptsii “zimnego goroda” v rossiiskoi Arktike (na primere goroda Nadym)* [Application of a “Winter City” Concept in the Russian Arctic: Case Study of the Town of Nadym], *Arktika: Ekologiya i Ekonomika*, 2021, vol. 11, no. 2, p. 291–303, DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-291-303. (In Russian)
- Karachurina L.B. *Urbanizatsiya ili suburbanizatsiya opredelyayet migratsiyu naseleniya v Moskovskoy oblasti?* [Urbanization and Suburbanization: Which One Determines Population Migration in Moscow Oblast?], *Vestn. Sankt-Peterburgskogo un-ta, Nauki o Zemle*, 2022, no. 67(2), p. 360–381, DOI: 10.21638/spbu07.2022.208. (In Russian)

- Kirillov P.L., Makhrova A.G., Balaban M.O., Gao L. Szhimayuschiesya goroda v Rossii v postsovetstskii period [Shrinking Cities in Post-Soviet Russia], *Regional'nye issledovaniya*, Smolensk, 2023, no. 1, p. 4–18. (In Russian)
- Larsen J., Fondahl G. (eds.), *Arctic Human Development Report: Regional Processes and Global Linkages*, Copenhagen, Nordisk Ministerråd, 2015.
- Lukin Yu.F. Status, sostav, naselenie Rossiyskoy Arktiki [Status, Composition and Population of the Russian Arctic], *Arktika i Sever*, 2014, no. 15, p. 57–94. (In Russian)
- Mariakhin V.M., Chasovskii V.I. Severnye goroda Rossii: geograficheskie osobennosti i sovremennye podkhody k issledovaniyu [Northern Cities of Russia: Geographic Features and Modern Approaches to Study], *Vestn. Baltiskogo Fed. Un-ta im. I. Kanta. Ser.: Natural and Medical Sciences*, 2023, no. 3. (In Russian)
- Netrebo L.V. *Pangody: ocherki, zarizovki* [Pangody: Essays, Sketches], Ekaterinburg, Uralsky Rabochiy Publ., 1999, 136 p. (In Russian)
- Pilyasov A.N., Putilova E.S. Osparivaya ochevidnoe: arkticheskie goroda [Challenging the Obvious: Arctic Cities], *Gorodskie Issledovaniya i Praktiki*, 2020, vol. 5, no. 1, p. 9–32, DOI: 10.17323/usp5120209-32. (In Russian)
- Problemy rasseleniya v raionakh Severa* [Settlement Problems in the Northern Regions], V.M. Myakinenkov (ed.), Leningrad, Stroyizdat Publ., 1977, 223 p. (In Russian)
- Prognozy rasseleniya i planirovki gorodov Kraynego Severa* [Settlement and Planning Forecasts for Far North Cities], L.K. Panov (ed.), Leningrad, Stroyizdat Publ., 1973, 200 p. (In Russian)
- Sergeev M.A. [On the Use of the “Far North” Term], *Letopis Severa* [Chronicle of the North], Moscow, Leningrad, Glavsevmorput' Publ., 1949, vol. I, p. 189–208. (In Russian)
- Silin A.N. Arkticheskiy gorod i vakhtovik: novye vyzovy [Arctic City and a Shift Worker: New Challenges], *Nauchnyi Vestnik Yamalo-Nenetskogo Avtonomnogo Okruga*, 2021, no. 1(110), p. 68–82. DOI: 10.26110/ARCTIC.2021.110.1.005. (In Russian)
- Stas' I.N. *Ot poselkov k gorodam i obratno: istoriya gradostroitel'noi politiki v Khanty-Mansiyskom okruge (1960-e – nachalo 1990-kh gg.)* [From Villages to Cities and Back: History of Urban Planning Policy in Khanty-Mansiysk Region (1960s – early 1990s)], Surgut, Defis Publ., 2016, 258 p. (In Russian)
- Stas' I.N. Vakhtovyi metod v sisteme rasseleniya Zapadno-Sibirskogo neftegazovogo kompleksa (1960–1980-e gg.) [Shift Method in the Settlement System of the West Siberian Oil and Gas Complex (1960s–1980s)], *Severnyi Region: Nauka, Obrazovanie, Kultura*, 2017, no. 2(36), p. 81–86. (In Russian)
- Tarakanov M.A. Evolyutsiya prostranstvennoy lokalizatsii ponyatii “Krayniy Sever” i “Sever” v Rossii [Evolution of the Spatial Localization of the “Far North” and “North” Concepts in Russia], *Natsional'nye Interesy: Prioritety i Bezopasnost'*, 2010, no. 26, p. 32–36. (In Russian)
- Tolstov V.A. *Letopis Noril'ska: Populyarnaya entsiklopediya* [The Chronicle of Noril'sk: A Popular Encyclopedia], Noril'sk, APEKS Publ., 2007, 448 p. (In Russian)
- Urozhayeva T.P. Migratsionnye protsessy v gorodakh Noril'skogo promyshlennogo rayona v 1970–1990-e gg. [Migration Processes in the Cities of the Noril'sk Industrial Region in the 1970s–1990s], *Uralskiy Istoricheskiy Vestnik*, 2016, no. 1(5), p. 130–138. (In Russian)
- Zamyatina N.Yu. Arkticheskaya urbanizatsiya kak frontir [Arctic Urbanization as a Frontier], *Nauchnyi Vestnik YANAO*, 2016, no. 3(92), p. 114–120. (In Russian)
- Zamyatina N.Yu. Razvilki sud'by frontirnogo goroda: uroki Igarki [Forks in the Fate of a Frontier City: Lessons from the town of Igarka], *EKO*, 2021, no. 1, p. 67–92, DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2021-1-67-92. (In Russian)
- Zamyatina N.Yu., Goncharov R.V. Arkticheskaya urbanizatsiya: fenomen i sravnitel'nyi analiz [Arctic Urbanization: Phenomenon and Comparative Analysis], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 4, p. 69–82. (In Russian)
- Zamyatina N.Yu., Sivaev S.B., Nikitin B.V., et al. *Szhatie. Upravlyаемое i ne ochen': opyt gorodov Severa i Arktiki* [Schrinking. Controlled and Not: The Experience of Northern and Arctic Cities], Moscow, PressPass, 2023, 248 p. (In Russian)
- Zhukov M.A. Metodologicheskie i metodicheskie problemy vydeleniya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii [Methodological and Methodical Problems of Delimiting the Arctic Zone of the Russian Federation], *Arktika XXI vek*, 2014, no. 1(2), p. 4–20. (In Russian)

Web sources

- Federal Law No. 193-FZ of July 13, 2020 “On State Support for Entrepreneurial Activity in the Arctic Zone of the Russian Federation”, URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/view/0001202007130047> (data access 17.03.2024).
- Federal Law No. 411-FZ of August 4, 2023, “On Northern Delivery”, URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202308040016> (data access 17.03.2024).
- Federal Law of April 21, 2025 No. 97-FZ “On Amendments to Article 1 of the Federal Law “On the Specifics of Providing Citizens with Land Plots...” and Articles 2 and 16 of the Federal Law “On State Support for Entrepreneurial Activity in the Arctic Zone of the Russian Federation”, URL: <http://pravo.gov.ru/proxy%2Fips%2Fdocbody=&prevDoc=102396725&backlink=1&&nd=608556106> (data access 17.03.2025).
- Noril'skie poselki [Noril'sk Settlements], Raznoe o proshlom Noril'ska i NPR: blog kraevedy-liubitelya, 26.09.2012, URL: <https://severok1979.livejournal.com/4516.html> (data access 26.09.2012). (In Russian)
- Order of the Government of the Russian Federation of 28.12.2024 No. 4146-r “On approval of the Strategy for spatial development of the Russian Federation for the period up to 2030 with a forecast up to 2036”. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202501060001> (data access 17.05.2025).
- Zamyatina N.Yu. *Saga o trubah bol'shogo diametra: Gosplan, osvoenie Severa i problemy importozameshcheniya* [Saga of Large-Diameter Pipes: Gosplan, Northern Development and Import Substitution Issues], Izdatelskie Resheniya Publ., 2022, 86 p. URL: https://www.argorussia.ru/sites/default/files/2023-01/Saga_o%2C%A0трубах_большого_диаметра_Gосплан_освоение_Севера_и%2C%A0проблемы%20%28%29.pdf (data access 17.03.2024). (In Russian)

Received 20.03.2025

Revised 15.07.2025

Accepted 28.08.2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТРОВА ТЕПЛА ЯКУТСКА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ПО ДАННЫМ ТЕРМИЧЕСКИХ МИКРОДАТЧИКОВ

П.И. Константинов¹, А.А. Семенова², У.И. Антипина³, М.А. Тимофеев⁴, Н.И. Тананаев⁵

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии*

³ *Институт физики атмосферы РАН имени А.М. Обухова*

^{4,5} *Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова*

¹ *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: kostadini@mail.ru*

² *Аспирант; e-mail: mos7kit@mail.ru*

³ *Мл. науч. сотр., аспирант; e-mail: ant.ulya@yandex.ru*

⁴ *Инженер-исследователь; e-mail: m.a.timofeev@s-vfu.ru*

⁵ *Зав. лабораторией, доц., канд. геогр. наук; e-mail: tanni@s-vfu.ru*

В настоящей работе описываются результаты микроклиматического эксперимента по изучению термической структуры города Якутска с помощью самостоятельной развернутой сети термических датчиков TZONE. С ее помощью город и ближайшие пригороды были охвачены измерительной инфраструктурой, состоящей из 18 единиц датчиков на двухмесячный срок во второй половине лета 2024 г. В результате полученные данные однозначно указывают на образование в Якутске летней температурной аномалии, которая может быть классифицирована как «летний остров тепла», интенсивность которой в ночные часы (диагностический признак острова тепла) достигает 2,5–3,6°C. Среднее же значение острова тепла для всего летнего периода может быть оценено в пределах 1,3–1,6°C. Также отмечается значительная неоднородность в суточном ходе температуры внутри города и в фоновой зоне, что, скорее всего, связано с различиями в режиме нагрева приземного слоя воздуха вследствие дифференцированного прихода прямой солнечной радиации (большая открытость «фоновых» площадок солнечным лучам).

Ключевые слова: микроклимат города, полярные регионы, арктические города, экспериментальные измерения, региональные особенности климата

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.9

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в арктическом регионе и в высоких широтах скорость изменения климата выше, чем в среднем по планете. Этот эффект называется арктическим усилением [Davy et al., 2018]. Среднегодовая температура поверхности в Арктике с 1971 по 2017 г. выросла на 3,1°C зимой и на 1,8°C летом [АМАР, 2019]. Положительные последствия потепления Арктики: круглогодичное освобождение Северного морского пути ото льда и повышение комфортности проживания населения и развития экономики [Semenova et al., 2019]. Негативными последствиями, которые сильно повлияют на климат и жизнь людей, можно назвать следующие: изменение природных зон и возникновение необычных для данной территории заболеваний, снижение альбедо поверхности из-за сокращения ледового покрова моря, увеличение потоков CO₂ из почвы в атмосферу, таяние вечной мерзлоты [Biskaborn et al., 2019, Harsh et al., 2009, Kinnard et al., 2011, Sitch et al., 2007]. Имеется много доказательств того, что вечная мерзлота ослабляет несущую способ-

ность грунта. Она разрушает арктическую инфраструктуру: дороги, здания, промышленные объекты [Shiklomanov et al., 2016; Hjort et al., 2018]. Разрушение домов может привести к миграции населения в более низкие широты.

При этом большая часть зданий в городах Арктики строилась, когда еще не было достаточной информации о микроклиматических параметрах города. Одним из главных эффектов влияния города на термический режим является городской остров тепла (UHI), т. е. область устойчивой положительной аномалии приземной температуры воздуха внутри города, по сравнению с пригородом [Oke, 1982]. Это явление трехмерное и может оказывать комплексное влияние на территорию [Oke et al., 2017; Fan et al., 2018]. Например, положительные аномалии температуры видны и в деятельном слое почвы [Lokoshchenko, Korneva, 2015] и в грунтовых водах [Benz et al., 2016]. В последнем докладе IPCC подтверждается влияние городов на окружающую среду [IPCC, 2019]. При этом потепление климата Арктики может повышать температуру воздуха в

арктических городах [Lappalainen et al., 2016; Esau et al., 2016].

В летний период остров тепла может усиливать тепловой стресс в городах низких широт [Wouters et al., 2017]. Но в арктических городах, благодаря изменению климата, в среднем проживание становится более комфортным [Semenova et al., 2019]. Однако, потепление летних сезонов, в том числе волны тепла, могут оказывать существенное влияние на экосистемы и население Арктики, к которому они могут быть не готовы.

На данный момент существует много подробных и комплексных работ об изучении микроклимата города в низких и средних широтах [Baklanov et al., 2004; Peng et al., 2012; Piringner et al., 2007; Wienert, Kuttler, 2005; Zhao et al., 2014]. Однако для городов Заполярья таких исследований практически не проводилось.

Одна из первых попыток изучить микроклимат холодного высокоширотного города описана в работе [Bowling, Benson, 1978]. Bowling S.A. и Benson C.S. в 1974–1976 гг. провели первое инструментальное измерение острова тепла и приземных температурных инверсий в городе Фербанк на Аляске. Для измерений использовались регулярные данные метеостанции и мобильные термодатчики, которые измеряли приземную температуру во время их перемещений по городу на автомобиле. Таким образом было получена информация о распределении приземных температур в городе около него. Измерения показали, что уже в 1970-х гг. даже в небольшом городе при преобладании подходящих атмосферных условий может существовать мощный городской остров тепла. Предполагалось, что во время данного исследования главными причинами образования острова тепла являлись последствия искусственного нагрева города (антропогенного тепла), так как из-за низкой высоты солнца в холодное время года, низкой инсоляции и устойчивого снежного покрова, тепловой баланс и альбедо существенно не менялись, а очень низкие скорости ветра свели к минимуму эффект шероховатости поверхности. В ходе нескольких серий инструментальных измерений было обнаружено, что в зимний период наблюдаемый устойчивый тепловой остров при низком балле облачности и при низких скоростях ветра в среднем был равен 10–11°C, при этом его максимальные значения достигали 14°C. Вероятно, такие высокие значения связаны в том числе и с приземными инверсиями. Также было установлено, что в летние ночи интенсивность острова тепла может быть сопоставима с зимними дневными значениями. При этом эффект острова тепла существенно ослабевает в период с марта по сентябрь, за исключением короткого периода в конце весны,

когда в городе уже отсутствует снежный покров, а на фоновой территории таяние снега еще продолжается [Bowling, Benson, 1978].

В те же годы вышла первая отечественная работа «Климат Якутска» о попытках изучения климата одного из самых холодных городов мира [Швер, Изюменко, 1982]. В работе описаны эксперименты в 1976–1978 гг. в Якутске. В течение четырех сезонов были проведены периодические измерения в центре города с помощью данных местной телевизионной мачты и временного метеопоста, а также с метеостанции, располагающейся на окраине города, а также проводились синхронные микроклиматические съемки. Результаты показали, что зимой как при тихой ясной погоде, так и с при наличии морозного тумана в городе, термические различия между окраиной и центральной частью города составляют 1,0–3,0°C с максимумом до 4–6°C, между городом и пригородом 1,5–4,0°C с максимумом в утренние часы. Таким образом, измерения выявили наличие острова тепла в Якутске. Температурные контрасты зависят от характера погоды и синоптической ситуации: они усиливаются при ясной и безветренной погоде. При облачной и ветреной погоде распределение метеоэлементов на территории города становится более однородным [Швер, Изюменко, 1982]. Следует отметить, что в данной работе [Швер, Изюменко, 1982] отсутствует четкая информация о метеорологических приборах и их точности, используемой для измерения.

Также была оценена разница температуры между Якутском и сельскими (условно фоновыми) метеостанциями, находящимися в 12–150 км от города отдельно за каждое десятилетие с 1939 по 1978 г. Анализ данных показал, что температура воздуха в городе постепенно повышалась по сравнению с соседними пунктами. Это объясняется ростом города и развитием промышленных предприятий. Наибольшая разница температур приходилась на самые холодные месяцы. За 38 лет температура в Якутске повысилась на 1,0–1,9°C зимой, и на 0,3–0,4°C – в теплый период. Это связано с наибольшей повторяемостью антициклонических погод зимой и с антропогенным теплом. Летом температурные контрасты сглаживаются в связи с увеличением циклонического типа погоды и усилением ветра [Швер, Изюменко, 1982].

В работе [Magee et al., 1999] сопоставлялись прямые данные измерений с метеостанции аэропорта Фербанк, с измерениями на фоновой метеостанции, расположенной в сельской местности. Изучение острова тепла города Фербанк за период с 1949 по 1997 г. дало представление о его среднесезонной и среднесуточной динамике. Установлено, что среднегодовой остров тепла в городе почти за 50 лет

вырос на $0,4^{\circ}\text{C}$, причем в холодный период его мощность увеличивалась интенсивнее. На рубеже веков изучались остров тепла в прибрежном городе Барроу на Аляске [Hinkel et al., 2003] и в Рейкьявике [Steinecke et al., 1999]. Исследование городского микроклимата и городского загрязнения в городах южной Финляндии представлено в работах [Järvi et al., 2009; Hjort et al., 2016].

В России изучение островов тепла особенно актуально, поскольку в стране много городов с холодным континентальным климатом, а в Арктической зоне около 85% населения проживает в городах. Первые данные *in situ* по российским арктическим городам были собраны в 2014 г. в городах Апатиты [Konstantinov et al., 2014] и Норильск [Варенцов и др., 2014]. Согласно этим исследованиям, в Норильске и Апатитах разница температур между центром города и прилегающими территориями зимой составляет в среднем $1\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$, а максимальные значения достигают $5\text{--}7^{\circ}\text{C}$. Через несколько лет с помощью сети UHIARC были собраны натурные данные в нескольких арктических городах России: Апатиты, Салехард, Воркута, Новый Уренгой и Надым [Konstantinov et al., 2018; Varentsov et al., 2018]. Эти исследования позволили получить непрерывные измерения температуры воздуха в городах в течение зимнего сезона за период с 2015 по 2022 г.

Остров тепла в Якутске был отмечен в работе П.И. Константинова и А. Кукановой об островах тепла в городах России, где рассматривался период станционных измерений только с 2000 по 2012 г. Было выявлено, что случаи экстремальных значений островов тепла наблюдаются при антициклонном поле давления, чаще всего в центре антициклона и составляют до $13\text{--}15^{\circ}\text{C}$. В работе был обнаружен типичный суточный ход острова тепла и выявлены закономерности его сезонной динамики [Константинов, Куканова, 2014].

Исследования городского острова тепла требуют синхронного измерения как минимум с пары станций, которые расположены внутри и за пределами каждого города [Mishra et al., 2015]. Поверхностный остров тепла (SUHI) удобен для спутникового мониторинга с помощью тепловых снимков поверхности [Voogt, Oke, 2003; Zhou et al., 2018], тогда как стандартный остров тепла необходимо измерять с помощью приборов *in situ*.

Города Сибири хорошо изучены также с помощью дистанционных измерений [Варенцов и др., 2014; Esau et al., 2016, 2019; Miles et al., 2017]. В некоторых городах Западной Сибири, например, в Ханты-Мансийске положительная аномалия температуры в городе (до 4°C) на порядок превышает подобное значения, рассчитанное для 56 крупнейших городов Европы в зимний период [Miles et al.,

2017; Peng et al., 2011]. Попытка оценить тепловые аномалии в Якутске с помощью тепловых снимков представлена в работе Стручковой с соавторами [Стручкова и др., 2023].

Даже для условий полярной ночи в Арктике спутниковые данные успешно могут быть использованы для дешифрирования поверхностного острова тепла (SUHI) и могут быть дополнением прямых измерений интенсивности острова тепла. Но тепловые снимки не могут полностью заменить измерения, так как для каждого отдельного случая необходима верификация спутниковых данных на каждом конкретном объекте [Варенцов и др., 2014].

Поэтому необходимы экспедиционные исследования, а также установка в городах большего числа датчиков и/или метеостанций. Это позволит получить надежные данные о современном климате городов. В связи с этим основной целью данного исследования является получение информации о пространственно-временной динамике острова тепла экстремально-холодного города Якутска в летний сезон, ведь остров тепла считается преимущественно летним явлением [Oke, 1982].

Природные условия территории и их изменения. Якутск является одним из самых быстрорастущих городов России, за последние 20 лет население выросло примерно на 150 тыс. человек, за последние четыре года примерно на 50,5 тыс. человек [Республика..., 2025] и город значительно увеличился по площади. Официально Якутск не относится к Арктической зоне РФ, но относится к районам крайнего севера, несмотря на то что климат в нем не менее экстремальный, и температура зимой может опускаться до $-50\text{--}-60^{\circ}\text{C}$ [Швер, Изюменко, 1982]. В летнее время наблюдается длительный период «белых ночей», а в декабре светлое время суток длится всего 3–4 часа.

Якутск, имеющий площадь в 122 км^2 и население 389 тыс. человек на 2024 г. [Республика..., 2025], является самым крупным городом на планете, расположенным в зоне многолетней мерзлоты. Город расположен в равнинной местности, на берегу реки Лены (на одной из ее протоков). На территории города и около него имеется много озер и стариц. Климат Якутска обусловлен его нахождением в высоких широтах с соответствующим радиационным и циркуляционным режимом. Согласно классификации Б.П. Алисова, Якутск находится в экстремально резко-континентальном климате. Континентальность климата обусловлена тем, что территория Якутска удалена от всех океанов и защищена возвышенностями и горами, препятствующими свободному доступу морских воздушных масс. Погоду преимущественно определяет Азиатский максимум, преобладают континентальные умеренные и арктические

воздушные массы [Швер, Изюменко, 1982]. Осадков выпадает мало, всего 230 мм/год с максимумом летом. Ветер слабый, большая повторяемость штилей. Средняя годовая скорость ветра в Якутске 2,4 м/с. По сравнению с городами, расположенными на той же широте, зимой преобладают экстремально низкие температуры, средняя температура января -37°C , но температура может опускаться и до -60°C , как и было отмечено ранее. Зима в Якутске продолжительная, очень холодная и малоснежная, а лето короткое, сравнительно жаркое и засушливое. Средняя температура июля $+19,9^{\circ}\text{C}$ [Климатические нормы..., 2024].

Центр Якутска имеет радиально-кольцевую структуру города, но при этом город вытянут вдоль поймы реки Лены. Река ограничивает город с северо-востока по юго-восток. Частая сетка улиц образует значительное количество небольших по площади кварталов. Якутск плотно застроен среднеэтажными жилыми домами в 5–9 этажей с централизованным отоплением. Преобладающей локальной климатической зоной (LCZ) во всех городах является

открытая среднеэтажная зона (LCZ 5) [Stewart, Oke, 2012]. В Якутске также встречаются зона тяжелой промышленности (LCZ 10), плотная малоэтажная застройка (LCZ 6) и открытая малоэтажная с искусственными покрытиями (LCZ 8). Перепады высот в городе не превышают нескольких метров. Из-за наличия многолетней мерзлоты Якутск построен на сваях, что позволяет теплу от зданий не нагревать грунт под ними, а коммуникации выведены наружу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения летнего острова тепла в городе Якутске была установлена сеть из 18 предварительно прошедших поверку температурных датчиков (Temperature Data Logger) модели TZ-TempU02. Для оценки пространственной динамики острова тепла датчики устанавливались равномерно по городу и доступным пригородам вокруг него на высоте около 2 м (рис. 1). Измерения проводились с 25 июля по 5 сентября 2024 г., таким образом были получены непрерывные ряды данных за 41 сутки для каждой точки сети с частотой в 10 минут.

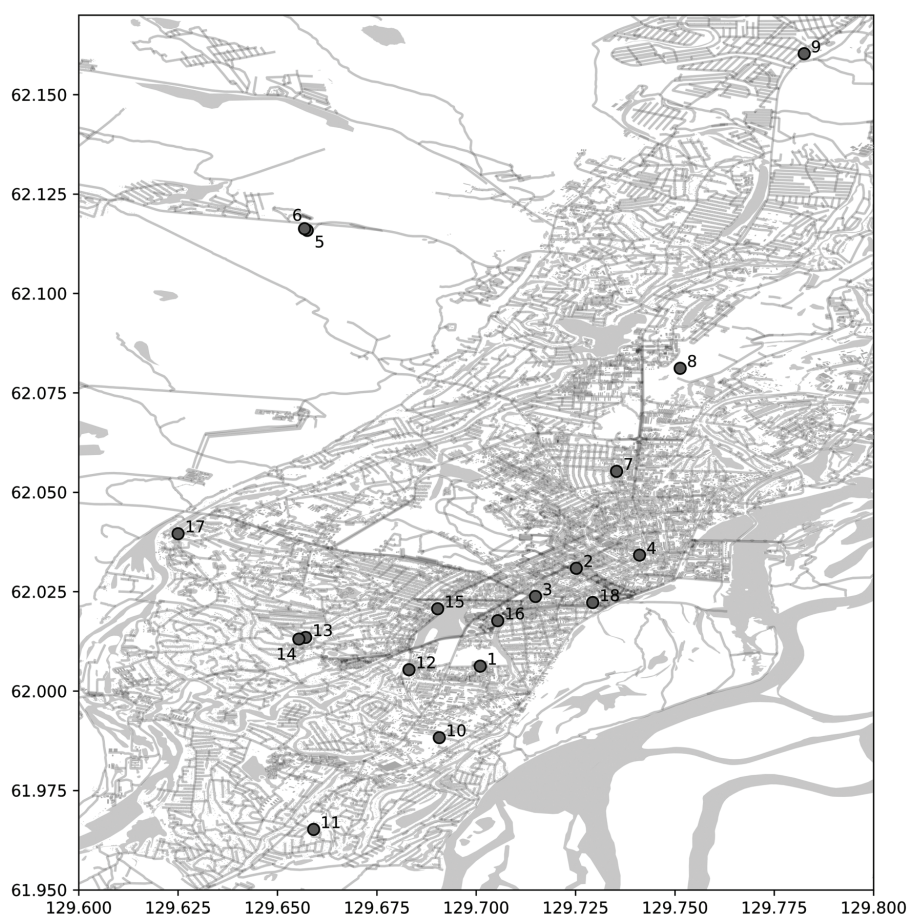


Рис. 1. Схема расположения термических датчиков в пределах г. Якутска (сеть измерений)

Fig. 1. Scheme of thermal microsensors location within the town of Yakutsk (measurement network)

Регистратор данных температуры (TDL) TZ-TempU02 является одним из видов регистраторов данных холодильной цепи TZONE. В основном он используется для регистрации температуры при хранении и транспортировке продуктов питания, лекарств, химикатов и других товаров. TDL имеет внутренний термистор и может быть подключен к внешним источникам. Получение данных может осуществляться по кабелю USB. Они работают от батарей, портативны, оснащены микропроцессором, внутренней памятью для хранения данных и датчиками. Некоторые регистраторы данных взаимодействуют с персональными компьютерами или смартфонами для настройки, управления и анализа. Преимуществами таких датчиков являются низкая стоимость, простота сбора данных (в зависимости от количества измерений батареи хватает на 30–90 дней), интервал измерений от 5 до 15 минут, диапазон измеряемых температур (датчики подходят для измерений в жаркую погоду, рабочая температура от -30 до $+60^{\circ}\text{C}$), точность $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, влагозащита. Недостатки: TZ-TempU02 являются одноразовыми. TDL – это точная, долговечная и недорогая альтернатива более дорогим системам регистрации температуры, которая хорошо подходит для получения качественных данных пространственного распределения при исследовании окружающей среды. Подобные измерения с использованием небольших датчиков температуры уже проводились в более ранних исследованиях [Hubbart et al., 2005; Varentsov et al., 2018; Konstantinov et al., 2018; Asa, Zemba, 2023]. В данной работе для измерений температуры воздуха датчики были снабжены радиационной защитой, как описано в работе Asa и Zemba с соавторами [Asa, Zemba, 2023], поэтому влияние прямой солнечной радиации на температуру авторы постарались свести к минимуму (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По итогам проведения измерений были получены синхронные данные за 41 сутки измерений в 18 пунктах (в двух пунктах датчики не сохранились, и не указываются в итоговой таблице). Это позволило провести канонический анализ интенсивности городского острова тепла в его пространственном и временном развитии [Bowling, Benson, 1978; Hinkel et al., 2003; Hjørt et al., 2016; Järvi et al., 2009; Magee et al., 1999].

При анализе средней температуры воздуха за весь период по всем датчикам (рис. 3) отчетливо видны различия в термической структуре поля данных: участки, располагавшиеся в центральной части (на улицах Орджоникидзе, Кирова и Кулаковского) характеризовались заметно более высокой средней температурой (в пределах от $+17,6$ до



Рис. 2. Вид датчика с импровизированной радиационной защитой

Fig. 2. View of the sensor with improvised radiation shield

$+18^{\circ}\text{C}$), в то время как наиболее «холодные» фоновые точки отмечали среднюю температуру в пределах от $+14,4$ до $+15^{\circ}\text{C}$. Мгновенные отклонения температуры воздуха от среднего значения по полю в центре городской тепловой аномалии достигали $+6^{\circ}\text{C}$ и регистрировались в ночные сроки, что подтверждают более ранние исследования [Bowling, Benson, 1978; Hinkel et al., 2003; Magee et al., 1999; Varentsov et al., 2018] и каноничная теория развития городского острова тепла, максимум в котором приходится на поздний вечер и ночь в связи с неравномерностью скорости ночного понижения температуры в урбанизированных районах (городских каньонах) и в фоновых условиях [Oke, 1982, 2017; Fan et al., 2018]. Среднее значение интенсивности острова тепла (разность между «центром города» – в качестве нее принимаются средние значения по пунктам № 2, 3, 4, 18) и фоном (средние значения по пунктам № 5, 6, 9, 11, 17) составляло порядка $+1,4^{\circ}\text{C}$ за весь период наблюдений. И это минимальное среднее значение летнего городского острова тепла, поскольку в оба набора точек входят и точки, характеризующие местные условия (точки 3 и 11), и точки, которые отличаются от локального уровня температур в *urban center* и в фоновых территориях.

Сравнение отдельно средних ночных температур (рис. 4) позволяет отделить возможное влияние солнечной радиации и возможный дневной перегрев конструкции датчика. Ночными считались сроки с 9 часов вечера до 6 часов утра по местному времени, когда солнце находилось под горизонтом. Сравнение средних ночных температур показало микроклиматические различия в температуре воздуха достигающие $4\text{--}5,6^{\circ}\text{C}$ в пользу городских ландшафтов.

Координаты и места расположения датчиков в Якутске

| № | Широта | Долгота | Адрес |
|----|-------------------|--------------------|-------------------------------------|
| 1 | 62° 0'22.79»с.ш. | 129°42'3.61» в.д. | ул. К.Д. Уткина, 5 |
| 2 | 62° 1'51.30» с.ш. | 129°43'30.86» в.д. | ул. Кирова, 20 |
| 3 | 62° 1'25.50» с.ш. | 129°42'53.51» в.д. | ул. Ярославского, 30/2 |
| 4 | 62° 2'3.21» с.ш. | 129°44'28.14» в.д. | ул. Орджоникидзе, 4 |
| 5 | 62° 6'57.09» с.ш. | 129°39'27.03» в.д. | ул. Маганский тракт, 6 |
| 6 | 62° 6'58.55» с.ш. | 129°39'24.48» в.д. | ул. Маганский тракт, 6 |
| 7 | 62° 3'18.98» с.ш. | 129°44'7.09» в.д. | ул. Строителей, 13/1 |
| 8 | 62° 4'52.47» с.ш. | 129°44'5.69» в.д. | ул. Кузьмина, 15/3 |
| 9 | 62° 9'37.23» с.ш. | 129°46'57.17» в.д. | проезд Аартык, 9 |
| 10 | 61°59'18.04»с.ш. | 129°41'26.68» в.д. | пер. Гавриила Ксенофонтова, 29, к.2 |
| 11 | 61°57'54.76»с.ш. | 129°39'32.77» в.д. | просп. Михаила Николаева, 29, к.2 |
| 12 | 62° 0'19.45» с.ш. | 129°40'59.29» в.д. | ул. Красильникова, 9/9 |
| 13 | 62° 0'48.42» с.ш. | 129°39'25.62» в.д. | Мерзлотная ул., 27/2 |
| 14 | 62° 0'47.03» с.ш. | 129°39'19.47» в.д. | Мерзлотная ул., 27/1 |
| 15 | 62° 1'14.61» с.ш. | 129°41'24.93» в.д. | ул. Лермонтова, 128 |
| 16 | 62° 1'3.64» с.ш. | 129°42'19.31» в.д. | ул. Кулаковского, 46 |
| 17 | 62° 2'22.45» с.ш. | 129°37'30.12» в.д. | Вилуйский тракт, 7-й километр, 5 |
| 18 | 62°01'20.1» с.ш. | 129°43'45.5» в.д. | ул. Кулаковского, 6 |

Примечание. Светло-серым цветом выделены точки в «центре города», темно-серым – «фоновые» точки.

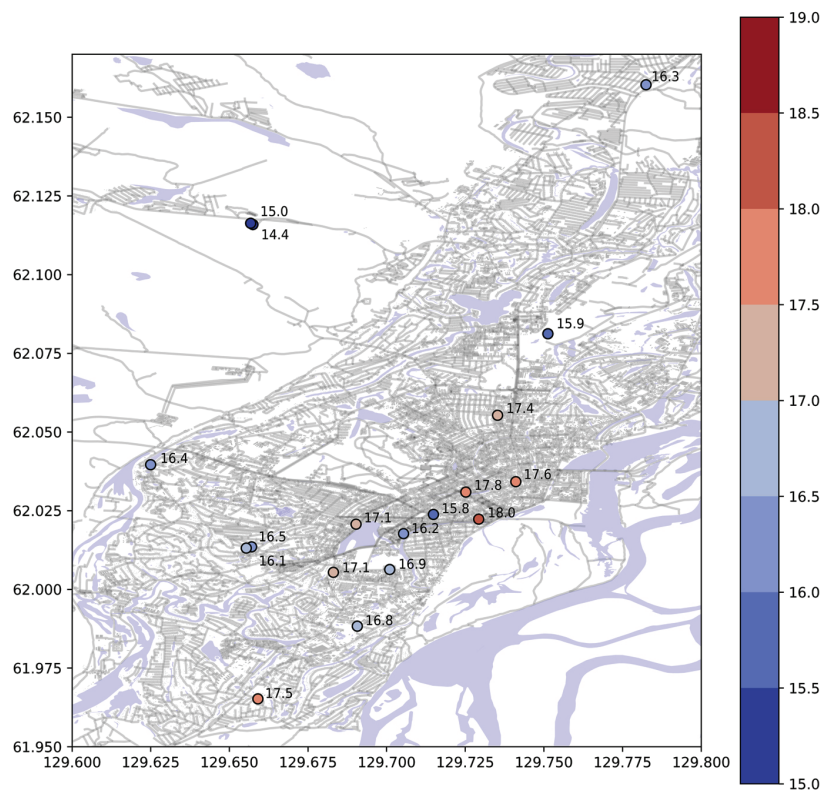


Рис. 3. Средние температуры в течение всего периода измерений (с 25 июля по 5 сентября 2024 г.) для каждой точки сети

Fig. 3. Average temperatures over the entire measurement period (July 25, 2024 to September 5, 2024) for each point in the network

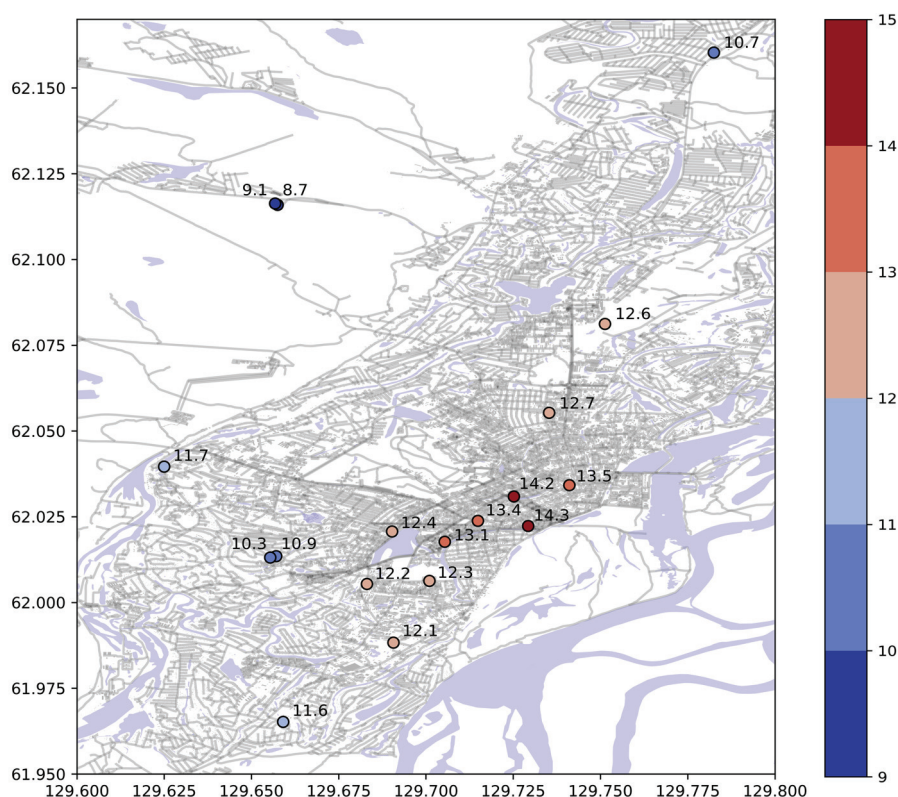


Рис. 4. Средние ночные температуры в течение периода измерений (с 25 июля по 5 сентября 2024 г.) для каждой точки сети

Fig. 4. Average night temperatures during the measurement period (July 25, 2024 to September 5, 2024) for each network point

Заключительным свидетельством в пользу именно влияния города является каноническое различие в структуре суточного хода, осредненного по точкам центра города и фона (рис. 5) – в утренние и дневные часы температура воздуха в более открытых точках фона превышает городскую не более чем на 1°C , а в ночное время более активное ночное радиационное выхолаживание в фоновых точках делает их холоднее центральных на $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$.

С точки зрения оценки места Якутска в иерархии реперных точек воображаемой карты мировой городской климатологии, стоит отметить тот факт, что при населении 323 тыс. человек летнее значение острова тепла, создаваемое городом, составляющее порядка $1,4^{\circ}\text{C}$, как было показано выше, заставляет предположить, что среднегодовая тепловая аномалия будет заметно выше. Поскольку в предыдущих работах [Konstantinov et al., 2018] оценка острова тепла арктических городов составляет не менее 1°C исключительно за счет зимнего периода (летняя тепловая аномалия плохо диагностирована), то для рассматриваемого города зимние аномалии могут быть заметно выше (Якутск также относится к типу городов с зимним центральным отоплением). В таком случае, как и

в других изученных городах Российской Арктики (Апатиты, Надым), в Якутске интенсивность зимнего острова тепла может оказаться сравнимой и даже превышающей аналогичный показатель в городах, по количеству населения превышающих Якутск на порядки (Москва, Лондон и др.) [Варенцов и др., 2014; Baklanov et al., 2004; Esau et al., 2016, 2019; Miles et al., 2017].

В любом случае авторы рекомендуют проведение по похожему типу исследований зимних микроклиматических характеристик для уточнения масштабов интенсивности городского острова тепла в условиях экстремальных морозов (до -50°C). Для крупных городов подобного масштаба исследования проводились для Улан-Батора (Монголия), где летний остров тепла [Ganbat et al., 2013] сильно уступает зимнему ($0,3^{\circ}\text{C}$ против $3,3^{\circ}\text{C}$). Тем не менее разница в абсолютных высотах – около 100 м в Якутске и 1300 м в Улан-Баторе – не позволяет считать их находящимися в сходных физико-географических условиях: микроклиматические различия весьма подвержены влиянию высоты над уровнем моря, что подтверждается разницей в условиях циркуляции при сравнении городов Кольского полуострова и, например, Аляски. В данном примере именно спланированное

положение, например, Апатитов (Мурманская область) на холме определило его преимущество над Фэрбенксом (Аляска) в условиях рассеивания антропогенных примесей в городском воздухе. Исходя из данных предпосылок, представляется теоретически возможным обнаружить по итогам измерений в Якутске ранее не описанные в городской климатологии масштабы средней интенсивности зимней тепловой аномалии. Однако такое исследование потребует принципиально иных измерительных средств (мобильных датчиков температуры высокой точности, работающих при экстремально низких температурах), что и усложняет подобное исследование.

ВЫВОДЫ

В работе были проанализированы данные самостоятельно развернутой на территории города Якутска и в пригородах сети термических low-cost датчиков TZONE TZ-TempU02. Для изучаемой территории создание подобной широкой измерительной сети является беспрецедентным экспериментом в микроклиматологической истории.

Анализ полученных результатов позволяет с большой вероятностью прийти к заключению о формировании в Якутске в летний период «городского острова тепла» с предварительной оценкой его интенсивности как минимум $+1,4^{\circ}\text{C}$, в ночные часы усиливающегося до $+4^{\circ}\text{C}$.

В условиях континентального умеренного климата Якутии отмечено упоминаемое в литературе различие в суточном ходе городских и фоновых территорий, выражающееся в создании в дневные и утренние часы легкой отрицательной аномалии в затененных городских ландшафтах, по сравнению с

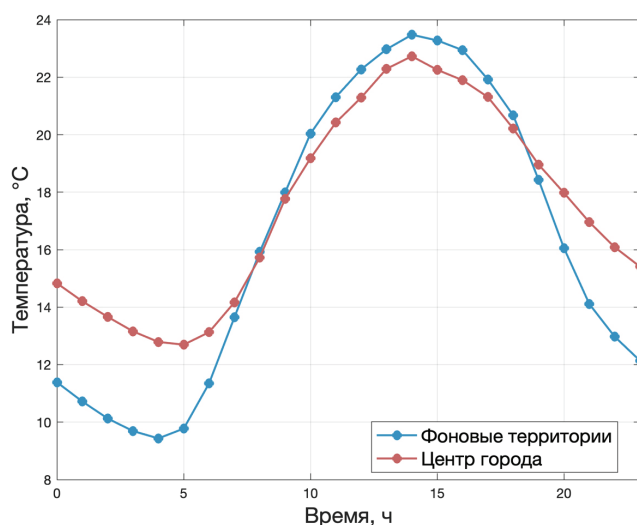


Рис. 5. Сравнение осредненных за период наблюдений суточных ходов температуры в городских ландшафтах и фоновых регионах

Fig. 5. Comparison of daily temperature averaged over the observation period in urban landscapes and background regions

более открытыми для прямой солнечной радиации пригородными районами. Данное обстоятельство подтверждает версию авторов относительно усиления канонических микроклиматических свойств городского острова тепла по мере усиления континентальности климата.

Исключительно перспективным с точки зрения фундаментальной науки видится исследование зимнего микроклимата Якутска, масштабы тепловой аномалии в котором могут превосходить описанные к текущему моменту в литературе на уровне средних сезонных значений.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00254, <https://rscf.ru/project/23-27-00254/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Варенцов М.И., Константинов П.И., Самсонов Т.Е. и др. Изучение феномена городского острова тепла в условиях полярной ночи с помощью экспериментальных измерений и дистанционного зондирования на примере Норильска // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 329–337.

Константинов П., Куканова А. Городские острова тепла в РФ: главные характеристики и проблемы изучения: сб. тезисов Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для моделирования окружающей среды «ENVIROMIS-2014». Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2014. С. 162–164.

Республика Саха (Якутия) в цифрах: Краткий стат. сборник / Территориальный орган Федеральной службы

государственной статистики по Республике Саха (Якутия). Якутск, 2025. 150 с.

Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. 2012. Т. 16. № 1. С. 22–32.

Стручкова Г.П., Крупнова Т.Г., Ракова О.В. и др. Определение тепловых аномалий г. Якутск по результатам дешифрирования спутниковых данных // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. Т. 28. № 3. С. 415–424, DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-3-415-424.

Швер Ц.А., Изюменко С.А. Климат Якутска. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 246 с.

AMAP. Arctic Monitoring and Assessment Programme climate change update 2019: An update to key findings of snow, water, ice and permafrost in the Arctic (SWIPA), Oslo, Norway, 2019, p. 12.

- Asa P.S., Zemba A.A. Assessing temperature warming and cooling rates using simple statistical analysis: The case study of Jalingo metropolis, *Journal of the Bulgarian Geographical Society*, 2023, vol. 49, p. 43–51, DOI: 10.3897/jbgs.e110454.
- Baklanov A., Burzynski J., Christen A. et al. The urban surface energy budget and mixing height in European cities: data, models and challenges for urban meteorology and air quality, *Final Report of Working Group 2*, 2004, p. 234.
- Benz S., Bayer P., Goettsche F. et al. Linking surface urban heat islands with groundwater temperatures, *Environmental science & technology*, 2016, vol. 50(1), p. 70–78, DOI: 10.1021/acs.est.5b03672.
- Bowling S., Benson C. Study of the subarctic heat island at Fairbanks, Alaska, *Environmental Protection Agency*, EPA-600/4-78-027, Washington, D.C., 1978, p. 150.
- Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzli J. et al. Permafrost is warming at a global scale, *Nature communications*, 2019, vol. 10, no. 1, p. 264, DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4.
- Davy R., Chen L., Hanna E. Arctic amplification metrics, *ArXiv preprint arXiv:1810.03885*, 2018, DOI: 10.48550/arXiv.1810.03885
- Esau I., Miles V. Warmer urban climates for development of green spaces in northern Siberian cities, *Geography, Environment, Sustainability*, 2016, vol. 9, no. 4, p. 48–62, DOI: 10.24057/2071-9388-2016-9-4-17-23.
- Esau I., Miles V., Varentsov M. et al. Spatial structure and temporal variability of a surface urban heat island in cold continental climate, *Theoretical and Applied Climatology*, 2019, vol. 137, p. 2513–2528, DOI: 10.1007/s00704-018-02754-z.
- Fan Y., Li Y., Yin S. Non-uniform ground-level wind patterns in a heat dome over a uniformly heated non-circular city, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2018, vol. 124, p. 233–246, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.03.069.
- Ganbat G., Han J.Y., Ryu Y.H. et al. Characteristics of the urban heat island in a high-altitude metropolitan city, Ulaanbaatar, Mongolia, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 2013, vol. 49, no. 4, p. 535–541, DOI: 10.1007/s13143-013-0047-5.
- Harsch M.A., Hulme P.E., McGlone M.S. et al. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming, *Ecology letters*, 2009, vol. 12, no. 10, p. 1040–1049, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01355.x.
- Hinkel K.M., Nelson F.E., Klene A.E. et al. The urban heat island in winter at Barrow, Alaska, *International Journal of Climatology*, 2003, vol. 23, p. 1889, DOI: 10.1002/joc.971.
- Hjort J., Suomi J., Käyhkö J. Extreme urban – rural temperatures in the coastal city of Turku, Finland: Quantification and visualization based on a generalized additive model, *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 569, p. 507–517, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.136.
- Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. et al. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century, *Nature communications*, 2018, vol. 9, no. 1, p. 5147, DOI: 10.1038/s41467-018-07557-4.
- Hubbart J., Link T., Campbell C. et al. Evaluation of a low-cost temperature measurement system for environmental applications, *Hydrological Processes: an International Journal*, 2005, vol. 19, no. 7, p. 1517–1523, DOI: 10.1002/hyp.5861.
- IPCC, Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2019.
- Järvi L., Hannuniemi H., Hussein T. et al. The urban measurement station SMEAR III: Continuous monitoring of air pollution and surface-atmosphere interactions in Helsinki, Finland, *Boreal environment research*, 2009, vol. 14, p. 86–109.
- Kinnard C., Zdanowicz C., Fisher D. et al. Reconstructed changes in Arctic Sea ice over the past 1,450 years, *Nature*, 2011, vol. 479, no. 7374, p. 509–512, DOI: 10.1038/nature10581.
- Konstantinov P., Baklanov A., Varentsov M. et al. Experimental urban heat island research of four biggest polar cities in Northern Hemisphere, *European Geosciences Union General Assembly*, 2014, vol. 16, p. 1.
- Konstantinov P., Varentsov M., Esau I. A high-density urban temperature network deployed in several cities of Eurasian Arctic, *Environmental Research Letters*, 2018, vol. 13, no. 7, p. 075007, DOI: 10.1088/1748-9326/aac84.
- Lappalainen H., Kerminen V., Petaja T. et al. Pan-Eurasian Experiment (PEEX): Towards holistic understanding of the feedbacks and interactions in the land-atmosphere-ocean-society continuum in the Northern Eurasian region, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2016, p. 1–107, DOI: 10.5194/acp-16-14421-2016.
- Lokoshchenko M.A., Korneva I.A. Underground urban heat island below Moscow city, *Urban Climate*, 2015, vol. 13, p. 1–13, DOI: 10.1016/j.uclim.2015.04.002.
- Magee N., Curtis J., Wendler G. The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska, *Theoretical and applied climatology*, 1999, vol. 64, no. 1, p. 39–47, DOI: 10.1007/s007040050109.
- Miles V., Esau I. Seasonal and spatial characteristics of Urban Heat Islands in Northern West Siberian cities, *Remote sensing*, 2017, vol. 9, no. 10, p. 989, DOI: 10.3390/rs9100989.
- Mishra V., Ganguly A., Nijssen B. et al. Changes in observed climate extremes in global urban areas, *Environmental Research Letters*, 2015, vol. 10, no. 2, p. 024005, DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/024005.
- Oke T. The energetic basis of the urban heat island, *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 1982, vol. 108, no. 455, p. 1–24, DOI: 10.1002/qj.49710845502.
- Oke T., Mills G., Christen A. et al. *Urban Climates*, Cambridge University Press, 2017, p. 525, DOI: 10.1017/9781139016476.
- Peng S., Piao S., Ciais P. et al. Surface urban heat island across 419 global big cities, *Environmental science and technology*, 2012, vol. 46, no. 2, p. 696–703, DOI: 10.1021/es2030438.
- Piringer M., Joffre S., Baklanov A. et al. The surface energy balance and the mixing height in urban areas-activities and recommendations of COST-Action 715, *Boundary-Layer Meteorology*, 2007, vol. 124, no. 1, p. 3–24, DOI: 10.1007/s10546-007-9170-0, 2007.
- Semenova A.A., Konstantinov, P.I., Varentsov, M.I. et al. Modeling the dynamics of comfort thermal conditions in Arctic cities under regional climate change, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*,

- 2019, vol. 386, no. 1, p. 012017, DOI: 10.1088/1755-1315/386/1/012017.
- Sitch S., McGuire A., Kimball J. et al. Assessing the carbon balance of circumpolar Arctic tundra using remote sensing and process modeling, *Ecological applications*, 2007, vol. 17, no. 1, p. 213–234, DOI: 10.1890/1051-0761(2007)017[0213:ATCBOC]2.0.CO;2.
- Shiklomanov N.I., Streletskiy D.A., Swales T.W. et al. Climate change and stability of urban infrastructure in Russian permafrost regions: prognostic assessment based on GCM climate projections, *Geographical review*, 2016, vol. 107, no. 1, p. 125–142, DOI: 10.1111/gere.12214.
- Steinecke K. Urban climatological studies in the Reykjavik subarctic environment, Iceland, *Atmospheric environment*, 1999, vol. 33, iss. 24, p. 4157–4162, DOI: 10.1016/S1352-2310(99)00158-2.
- Stewart I., Oke T. Local climate zones for urban temperature studies, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, vol. 93, no. 12, p. 1879–1900, DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.
- Varentsov M., Konstantinov P., Baklanov A. et al. Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, vol. 18, no. 23, p. 17573–17587, DOI: 10.5194/acp-18-17573-2018.
- Voogt J., Oke T. Thermal remote sensing of urban climates, *Remote sensing of environment*, 2003, vol. 86, no. 3, p. 370–384, DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00079-8.
- Wienert U., Kuttler W. The dependence of the urban heat island intensity on latitude – A statistical approach, *Meteorologische Zeitschrift*, 2005, vol. 14, no. 5, p. 677–686, DOI: 10.1127/0941-2948/2005/0069.
- Wouters H., De Ridder K., Poelmans L. et al. Heat stress increase under climate change twice as large in cities as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region, *Geophysical Research Letters*, 2017, vol. 44, no. 17, p. 8997–9007, DOI: 10.1002/2017GL074889.
- Zhao L., Lee X., Smith R. et al. Strong contributions of local background climate to urban heat islands, *Nature*, 2014, vol. 511, no. 7508, p. 216–219, DOI: 10.1038/nature13462.
- Zhou D., Xiao J., Bonafoni S. et al. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives, *Remote Sensing*, 2018, vol. 11, no. 1, p. 48, DOI: 10.3390/rs11010048.
- Электронный ресурс
Климатические нормы Якутска. URL: <https://meteoinfo.ru/climatcities> (дата обращения 01.11.2024).

Поступила в редакцию 07.12.2024

После доработки 12.06.2025

Принята к публикации 28.08.2025

INVESTIGATION OF THE SUMMER HEAT ISLAND IN YAKUTSK BASED ON THERMAL MICROSENSOR DATA

P.I. Konstantinov¹, A.A. Semenova², U.I. Antipina³, M.A. Timofeev⁴, N.I. Tananaev⁵

^{1,2} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology

³ A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences

^{4,5} M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

¹ Associate Professor, Ph.D. in Geography: kostadini@mail.ru

² Post-graduate student; e-mail: mos7kit@mail.ru

³ Junior Scientific Researcher, post-graduate student; e-mail: ant.uly@yandex.ru

⁴ Engineer-researcher; e-mail: m.a.timofeev@s-vfu.ru

⁵ Head of the Laboratory, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: tanni@s-vfu.ru

The paper describes the results of a microclimatic experiment to study the thermal structure of the city of Yakutsk applying an independent deployed network of TZONE thermal sensors. The entire city was covered with a measuring infrastructure consisting of 18 sensors for a two-month period in the second half of the summer 2024. The data obtained clearly indicate the formation of a summer temperature anomaly in Yakutsk, which can be classified as a “summer heat island”. Its intensity at night, which is a diagnostic sign of a heat island, reaches 2,5–3,6°C. The average heat island value for the entire summer period can be estimated at 1,3–1,6°C. There is also significant diversity in the daily variation of temperature inside the city and within the background zone, which is most likely due to different heating regime of the surface air. The principal cause is the differential arrival of direct solar radiation because the “background” areas are more open to the sun’s rays.

Keywords: microclimate of a city, polar regions, Arctic cities, experimental measurements, regional climatic features

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (project 23-27-00254, <https://rscf.ru/en/project/23-27-00254/>).

REFERENCES

- AMAP. *Arctic Monitoring and Assessment Programme climate change update 2019: An update to key findings of snow, water, ice and permafrost in the Arctic* (SWIPA), Oslo, Norway, 12 p.
- Asa P.S., Zemba A.A. Assessing temperature warming and cooling rates using simple statistical analysis: The case study of Jalingo metropolis, *Journal of the Bulgarian Geographical Society*, 2023, vol. 49, p. 43–51, DOI: 10.3897/jbgs.e110454.
- Baklanov A., Burzynski J., Christen A. et al. The urban surface energy budget and mixing height in European cities: data, models and challenges for urban meteorology and air quality, *Final Report of Working Group 2*, 2004, 234 p.
- Benz S., Bayer P., Goettsche F. et al. Linking surface urban heat islands with groundwater temperatures, *Environmental science and technology*, 2016, vol. 50, no. 1, p. 70–78, DOI: 10.1021/acs.est.5b03672.
- Biskaborn B.K., Smith S.L., Noetzi J. et al. Permafrost is warming at a global scale, *Nature communications*, 2019, vol. 10, no. 1, p. 264, DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4.
- Bowling S., Benson C. *Study of the subarctic heat island at Fairbanks, Alaska*, Environmental Protection Agency, EPA-600/4-78-027, Washington, D.C., 1978, p. 150.
- Davy R., Chen L., Hanna E. Arctic amplification metrics, *ArXiv preprint arXiv:1810.03885*, 2018, DOI: 10.48550/arXiv.1810.03885.
- Esau I., Miles V. Warmer urban climates for development of green spaces in northern Siberian cities, *Geography, Environment, Sustainability*, 2016, vol. 9, no. 4, p. 48–62, DOI: 10.24057/2071-9388-2016-9-4-17-23.
- Esau I., Miles V., Varentsov M. et al. Spatial structure and temporal variability of a surface urban heat island in cold continental climate, *Theoretical and Applied Climatology*, 2019, vol. 137, p. 2513–2528, DOI: 10.1007/s00704-018-02754-z.
- Fan Y., Li Y., Yin S. Non-uniform ground-level wind patterns in a heat dome over a uniformly heated non-circular city, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2018, vol. 124, p. 233–246, DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.03.069.
- Ganbat G., Han J.Y., Ryu Y.H. et al. Characteristics of the urban heat island in a high-altitude metropolitan city, Ulaanbaatar, Mongolia, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 2013, vol. 49, no. 4, p. 535–541, DOI: 10.1007/s13143-013-0047-5.
- Harsch M.A., Hulme P.E., McGlone M.S. et al. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming, *Ecology letters*, 2009, vol. 12, no. 10, p. 1040–1049, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2009.01355.x.
- Hinkel K.M., Nelson F.E., Klene A.E. et al. The urban heat island in winter at Barrow, Alaska, *International Journal of Climatology*, 2003, vol. 23, p. 1889, DOI: 10.1002/joc.971.
- Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. et al. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century, *Nature communications*, 2018, vol. 9, no. 1, p. 5147, DOI: 10.1038/s41467-018-07557-4.
- Hjort J., Suomi J., Käyhkö J. Extreme urban-rural temperatures in the coastal city of Turku, Finland: Quantification and visualization based on a generalized additive model, *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 569, p. 507–517, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.136.
- Hubbart J., Link T., Campbell C. et al. Evaluation of a low-cost temperature measurement system for environmental applications, *Hydrological Processes: an International Journal*, 2005, vol. 19, no. 7, p. 1517–1523, DOI: 10.1002/hyp.5861.
- IPCC, *Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2019.
- Järvi L., Hannuniemi H., Hussein T. et al. The urban measurement station SMEAR III: Continuous monitoring of air pollution and surface-atmosphere interactions in Helsinki, Finland, *Boreal environment research*, 2009, vol. 14, p. 86–109.
- Kinnard C., Zdanowicz C., Fisher D. et al. Reconstructed changes in Arctic Sea ice over the past 1,450 years, *Nature*, 2011, vol. 479, no. 7374, p. 509–512, DOI: 10.1038/nature10581.
- Konstantinov P., Baklanov A., Varentsov M. et al. Experimental urban heat island research of four biggest polar cities in Northern Hemisphere, *European Geosciences Union General Assembly*, 2014, vol. 16, p. 1–2.
- Konstantinov P., Kukanova A. [Urban heat islands in the Russian Federation: the main characteristics and problems of studying], *Sbornik tezisev "ENVIROMIS-2014"* [Proceedings of the International Conference and Young Scientists School on Computational Information Technologies for Environmental Sciences: "ENVIROMIS-2014"], Tomsk TsNTI Publ., 2014, p. 162–164. (In Russian)
- Konstantinov P., Varentsov M., Esau I. A high-density urban temperature network deployed in several cities of Eurasian Arctic, *Environmental Research Letters*, 2018, vol. 13, no. 7, p. 075007, DOI: 10.1088/1748-9326/aac84.
- Lappalainen H., Kerminen V., Petaja T. et al. Pan-Eurasian Experiment (PEEX): Towards holistic understanding of the feedbacks and interactions in the land-atmosphere-ocean-society continuum in the Northern Eurasian region, *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2016, p. 1–107, DOI: 10.5194/acp-16-14421-2016.
- Lokoshchenko M.A., Korneva I.A. Underground urban heat island below Moscow city, *Urban Climate*, 2015, vol. 13, p. 1–13, DOI: 10.1016/j.uclim.2015.04.002.
- Magee N., Curtis J., Wendler G. The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska, *Theoretical and applied climatology*, 1999, vol. 64, no. 1, p. 39–47, DOI: 10.1007/s007040050109.
- Miles V., Esau I. Seasonal and spatial characteristics of Urban Heat Islands in Northern West Siberian cities, *Remote sensing*, 2017, vol. 9, no. 10, p. 989, DOI: 10.3390/rs9100989.
- Mishra V., Ganguly A., Nijssen B. et al. Changes in observed climate extremes in global urban areas, *Environmental Research Letters*, 2015, vol. 10, no. 2, p. 024005, DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/024005.
- Oke T. The energetic basis of the urban heat island, *Quarterly journal of the Royal Meteorological Society*, 1982, vol. 108, no. 455, p. 1–24, DOI: 10.1002/qj.49710845502.

- Oke T., Mills G., Christen A. et al. Urban Climates. Cambridge University Press, 2017, p. 525, DOI: 10.1017/9781139016476.
- Peng S., Piao S., Ciais P. et al. Surface urban heat island across 419 global big cities, *Environmental science and technology*, 2012, vol. 46, no. 2, p. 696–703, DOI: 10.1021/es2030438.
- Piringer M., Joffre S., Baklanov A. et al. The surface energy balance and the mixing height in urban areas – activities and recommendations of COST-Action 715, *Boundary-Layer Meteorology*, 2007, vol. 124, no. 1, p. 3–24, DOI: 10.1007/s10546-007-9170-0, 2007.
- Respublika Sakha (Yakutiya) v tsifrakh: Kratkii stat. sbornik, Territorial'nyi organ Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki po Respublike Sakha (Yakutiya), Ya., 2025, 150 p. (In Russian)
- Semenova A.A., Konstantinov, P.I., Varentsov, M.I. et al. Modeling the dynamics of comfort thermal conditions in Arctic cities under regional climate change, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 386, no. 1, p. 012017, DOI:10.1088/1755-1315/386/1/012017.
- Shiklomanov N.I., Streletskiy D.A., Swales T.W. et al. Climate change and stability of urban infrastructure in Russian permafrost regions: prognostic assessment based on GCM climate projections, *Geographical review*, 2016, vol. 107, no. 1, p. 125–142, DOI: 10.1111/gere.12214.
- Shver Ts.A., Izyumenko S.A. *Klimat Yakutsk* [Climate of Yakutsk], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1982, 246 p. (In Russian)
- Sitch S., McGuire A., Kimball J. et al. Assessing the carbon balance of circumpolar Arctic tundra using remote sensing and process modeling, *Ecological applications*, 2007, vol. 17, no. 1, p. 213–234, DOI: 10.1890/1051-0761(2007)017[0213:ATCBOC]2.0.CO;2.
- Steinecke K. Urban climatological studies in the Reykjavik subarctic environment, Iceland, *Atmospheric environment*, 1999, 24–25, p. 4157–4162, DOI:10.1016/S1352-2310(99)00158-2.
- Stewart I., Oke T. Local climate zones for urban temperature studies, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, vol. 93, no. 12, p. 1879–1900, DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00019.1.
- Streletskii D.A., Shiklomanov N.I., Grebenets V.I. Izmenenie nesushchei sposobnosti merzlykh gruntov v svyazi s potepleniem klimata na severe Zapadnoi Sibiri [Changes of the p[ermafrost bearing capacity under climate warming in Northwest Siberia], *Kriosfera Zemli*, 2012, vol. 16, no. 1, p. 22–32. (In Russian)
- Struchkova G.P., Krupnova T.G., Rakova O.V. et al. Opre-delenie teplovykh anomalii g. Yakutsk po rezul'tatam deshifirovaniya sputnikovyykh dannykh [Identification of thermal anomalies in Yakutsk using satellite data], *Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики*, 2023, vol. 28, no. 3, p. 415–424, DOI: 10.31242/2618-9712-2023-28-3-415-424. (In Russian)
- Varentsov M. I. Konstantinov P.I., Samsonov T.E. et al. Izuchenie fenomena gorodskogo ostrova tepla v uslovi-yakh polyarnoi nochi s pomoshch'yu eksperimental'nykh izmerenii i distantsionnogo zondirovaniya na primere Noril'ska [Study of the urban heat island phenomenon in polar night conditions using experimental measurements and remote sensing using the example of Norilsk], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2014, vol. 11, no. 4, p. 329–337. (In Russian)
- Varentsov M., Konstantinov P., Baklanov A. et al. Anthro-pogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, vol. 18, no. 23, p. 17573–17587, DOI: 10.5194/acp-18-17573-2018.
- Voogt J., Oke T. Thermal remote sensing of urban climates, *Remote sensing of environment*, 2003, vol. 86, no. 3, p. 370–384, DOI:10.1016/S0034-4257(03)00079-8.
- Wienert U., Kuttler W. The dependence of the urban heat is-land intensity on latitude – A statistical approach, *Meteo-rologische Zeitschrift*, 2005, vol. 14, no. 5, p. 677–686, DOI: 10.1127/0941-2948/2005/0069.
- Wouters H., De Ridder K., Poelmans L. et al. Heat stress increase under climate change twice as large in cit-ies as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region, *Geophysical Research Letters*, 2017, vol. 44, no. 17, p. 8997–9007, DOI: 10.1002/2017GL074889.
- Zhao L., Lee X., Smith R. et al. Strong contributions of lo-cal background climate to urban heat islands, *Nature*, 2014, vol. 511, no. 7508, p. 216–219, DOI:10.1038/nature13462.
- Zhou D., Xiao J., Bonafoni S. et al. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives, *Remote Sensing*, 2018, vol. 11, no. 1, p. 48, DOI: 10.3390/rs11010048.

Web source

Climate norms of Yakutsk, URL: <https://meteoinfo.ru/cli-maticities> (access date 01.11.2024).

Received 07.12.2024

Revised 12.06.2025

Accepted 28.08.2025

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 574

КЛЕЩЕВЫЕ ИНФЕКЦИИ В ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ: КАРТОГРАФИРОВАНИЕ, ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ

С.М. Малхазова¹, П.В. Копылов², А.В. Букликов³,
А.З. Сетдикова⁴, Ф.И. Коренной⁵, Д.С. Орлов⁶

^{1, 6} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет

^{1, 4} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова – Пекинский политехнический институт
в Шэньчжэне, географический факультет

² Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей
и благополучия человека по Еврейской автономной области

³ Центр гигиены и эпидемиологии в Еврейской автономной области

⁵ Федеральный центр охраны здоровья животных (ФГБУ «ВНИИЗЖ»)

¹ Проф., д-р геогр. наук; e-mail: sveta_geo@mail.ru

² Руководитель Управления; e-mail: zpp@79.rospotrebnadzor.ru

³ Гл. врач; e-mail: gigeid@mail.ru

⁴ Магистрант; e-mail: setdikova02@mail.ru

⁵ Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: korennoy@arriah.ru

⁶ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: orlovds@list.ru

Статья посвящена пространственно-временному анализу распространения клещевых инфекций в Еврейской автономной области (ЕАО). В исследовании использованы материалы по укусам клещами людей и зараженности клещей возбудителями особо опасных инфекций за период с 2018 по 2022 г. Собрана информация по пяти актуальным для региона инфекциям: клещевой вирусный энцефалит (КВЭ), иксодовые клещевые боррелиозы (ИКБ), сибирский клещевой тиф (СКТ), гранулоцитарный анаплазмоз человека (ГАЧ), моноцитарный эрлихиоз человека (МЭЧ).

Проведен анализ распространения клещевых инфекций по административным районам области. Выявлено, что наибольшее распространение имеют ИКБ. На основе точечных данных о местах регистрации зараженных клещей и привлечения ряда природных факторов создана карта потенциально-го ареала клещевых инфекций в ЕАО. С учетом прогностических климатических данных на период 2081–2100 гг. для условий наиболее жесткого климатического сценария SSP5-8.5 построена карта прогностического ареала клещевых инфекций для территории ЕАО на конец XXI в.

Ключевые слова: Еврейская автономная область, клещевые инфекции, медико-географическое картографирование, ГИС, моделирование ареалов

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.10

ВВЕДЕНИЕ

Клещевые инфекции являются важной составляющей в структуре природноочаговых болезней России и представляют серьезную проблему здравоохранения для регионов умеренного климата, особенно в весенне-летний сезон – период наибольшей активности клещей. Актуальность клещевых инфекций в настоящее время связана также с тем, что они рассматриваются в рамках концепции «Одно здоровье» (One Health), согласно которой здоровье людей тесно связано со здоровьем животных и состоянием окружающей среды. Понимание

особенностей распространения этих болезней невозможно без синтеза информации о возбудителях, носителях и переносчиках инфекций, а также влияющих на них факторах окружающей среды и хозяйственной деятельности человека [Lippi et al., 2021].

В последнее десятилетие на территории РФ наблюдается устойчивая тенденция к повышению уровня заболеваемости населения клещевыми инфекциями и расширению их нозоареалов [Лубова, 2020; Малхазова и др., 2023]. Для поддержания эпидемиологического благополучия территорий необходима непрерывная инвентаризация имеющейся

информации, анализ факторов, определяющих распространение болезней, моделирование эпидемиологической ситуации и прогноз ее развития в связи с изменениями природной среды.

Одной из эндемичных территорий по этим заболеваниям является Еврейская автономная область (ЕАО). При этом территория недостаточно изучена в медико-географическом плане. Выбор региона исследования обусловлен также наличием государственной границы между Россией и Китаем, тесными экономическими и миграционными связями и регистрацией очагов клещевых инфекций в приграничных регионах обеих стран.

Работ, которые бы показывали современную комплексную медико-географическую оценку региона, в том числе распространение отдельных болезней в регионе, практически нет [Владимиров и др., 2023]. Остается актуальным вопрос о возможном изменении границ ареалов клещевых инфекций, что может быть обусловлено действием различных факторов: от глобального потепления климата [Попов и др., 2021] до локальной и региональной антропогенной трансформации экосистем.

Цель исследования – выявление пространственно-временных особенностей распространения клещевых инфекций в Еврейской автономной области.

Для выполнения этой цели были поставлены следующие задачи:

- сбор и обработка материала по клещевым инфекциям и переносчикам их возбудителей в Еврейской автономной области за период с 2018 по 2022 г.;
- картографический анализ распространения клещевых инфекций в Еврейской автономной области;
- моделирование потенциального ареала клещевых инфекций в Еврейской автономной области;
- прогноз возможных изменений распространения клещевых инфекций в связи с глобальным потеплением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании использованы материалы Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Еврейской автономной области по укусам клещами людей и зараженности клещей возбудителями особо опасных клещевых инфекций. Государственные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Еврейской автономной области», а также ежегодные зоологические отчеты и лабораторные журналы исследований клещей, снятых с людей, на наличие возбудителей клещевых инфекций за 2018–2022 гг.

В результате обработки полевых и архивных данных собрана информация по пяти актуальным для региона инфекциям: клещевой вирусный энцефалит (КВЭ), иксодовые клещевые боррелиозы (ИКБ), сибирский клещевой тиф (СКТ), гранулоцитарный анаплазмоз человека (ГАЧ), моноцитарный эрлихиоз человека (МЭЧ).

Для построения карт современного и прогнозного потенциального ареалов клещевых инфекций были выбраны параметры окружающей среды, способные оказывать влияние на функционирование природных очагов этих болезней. Использованы климатические данные многолетних наблюдений с метеостанций, а также рассчитанные с применением климатических моделей в рамках международного эксперимента CMIP6 для наиболее жесткого сценария глобального потепления климата SSP5-8.5: среднегодовая температура воздуха, средняя температура июля, средняя температура января, среднегодовая относительная влажность и среднегодовые осадки, а также данные о рельефе территории (earthexplorer.usgs.gov) и о растительном покрове (получены по данным спутниковой системы Proba-V [Егоров, 2018]).

При помощи ГИС-пакета ArcGIS Pro 3.0 были составлены базы данных с указанием географических координат мест регистрации возбудителей клещевых инфекций за период 2018–2022 гг. В базе данных указывались места выделения возбудителей клещевых инфекций. На основе созданной базы данных построены графики, диаграммы и серия аналитических карт. Карты были выполнены в программе ArcGIS Pro 3.0. Визуализация данных осуществлена способом значков. Картографическая основа для рис. 2 и 4 выполнена с использованием данных о типе земельного покрова Esri [Karra et al., 2021].

Для выполнения моделирования потенциального и прогнозного ареалов клещевых инфекций применено программное обеспечение MaxEnt – широко используемый в настоящее время подход к выявлению экологических ниш на основе алгоритма подбора с оптимизацией по принципу максимальной энтропии. Данный подход разработан для моделирования ареалов различных биологических видов на основании информации о предпочитаемых данным видом условиях окружающей среды [Phillips et al., 2006]. Этот метод широко используется для выявления нозоареалов заболеваний (прежде всего природнообусловленных) на основе моделирования условий среды, пригодных для существования соответствующего патогена [Abdrakhmanov et al., 2017; Zakharova et al., 2021; Shartova et al., 2022]. В основе метода лежит принцип итеративного подбора распределения физико-географических фак-

торов, наиболее полно соответствующих имеющемуся пространственному распределению данных об известных местоположениях вида [Elith et al., 2011]. Анализ производился с валидацией по методу BOOTSTRAP с использованием 10 репликаций (в каждой репликации из входного набора точечных данных случайным образом $1/10$ часть отбиралась для тестирования модели, построенной на оставшихся $9/10$ точек).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Еврейская автономная область (ЕАО) представляет собой небольшой (36,271 км²) дальневосточный

регион России, который располагается в зоне смешанных и широколиственных лесов. Экосистемное разнообразие региона формируется в рамках двух биомов: Амуро-Уссурийский подтаежный и Среднесихотэ-Алиньский хвойно-широколиственный [Огуреева и др., 2015]. Фауна иксодовых клещей – переносчиков опасных заболеваний человека – на территории ЕАО представлена пятью видами, относящимися к трем родам: *Ixodes persulcatus*, *I. pavlovskiy*, *I. lividus*, *Dermacentor silvaru*, *Haemaphysalis japonica*, *H. concinna* [Болотин, 1999].

Всего за период с 2018 по 2022 г. на территории ЕАО зарегистрировано 1270 случаев укусов людей иксодовыми клещами (рис. 1).

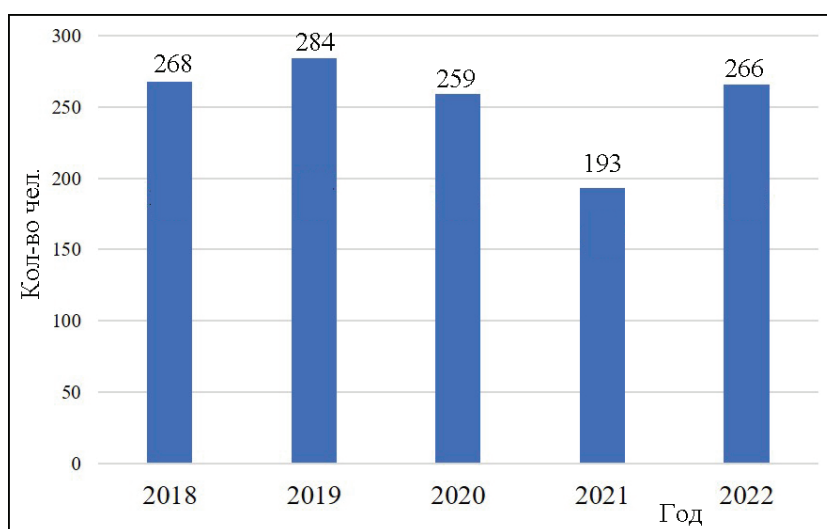


Рис. 1. Количество обращений населения ЕАО в связи с укусами клещей, 2018–2022 гг.

Fig. 1. Number of appeals in connection with tick bites from the population of the Jewish Autonomous Oblast, 2018–2022

В настоящее время распространение клещей в ЕАО довольно обширно (рис. 2). Укусы клещами зафиксированы во всех районах области. В Биробиджане зафиксировано 403 укуса, в Биробиджанском районе – 265, в Ленинском – 92, Облучинском – 159, Сидовичском – 50, Октябрьском – 48.

Наибольшее количество укусов приходится на 2019 г. (284 случая). Наименьшее количество отмечено в 2021 г., всего зафиксировано 193 случая (рис. 3).

Из 1270 клещей, снятых с людей, зараженными оказались 377 особей. Из них 219 возбудителями ИКБ, 80 – ГАЧ, 65 – СКТ, 7 – КВЭ и 6 – МАЧ.

Иксодовые клещевые боррелиозы (ИКБ) вызываются бактериями комплекса *Borrelia* и относятся к инфекционным заболеваниям, передающимся трансмиссивно – через укус клещей. В России наиболее распространены и имеют основное эпидемиологическое значение два вида бактерий из комплекса *Borrelia* – *B. afzelii* и *B. garinii*. Данное

заболевание является хроническим с рецидивирующим течением, а также характеризуется активным поражением кожи, нервной системы, опорно-двигательного аппарата и сердца [Коренберг и др., 2013]. Резервуарными хозяевами боррелий в природе являются птицы и млекопитающие – грызуны (*Rodentia*), зайцеобразные (*Lagomorpha*), насекомоядные (*Insectivora*), в организме которых бактерии сохраняются долгое время. Клещи рода *Ixodes*, особенно таежный *I. persulcatus* и в меньшей степени *I. pavlovskiy* – основные переносчики бактерий на территории ЕАО [Рудаков и др., 2011]. Клещи, зараженные возбудителем ИКБ, встречаются во всех районах ЕАО (рис. 4А). Наибольшее количество регистраций приходится на Биробиджанский район, что может быть связано с концентрацией населения в административном центре региона – городе Биробиджане. Значительное число зараженных клещей зарегистрировано также в Облучинском районе.

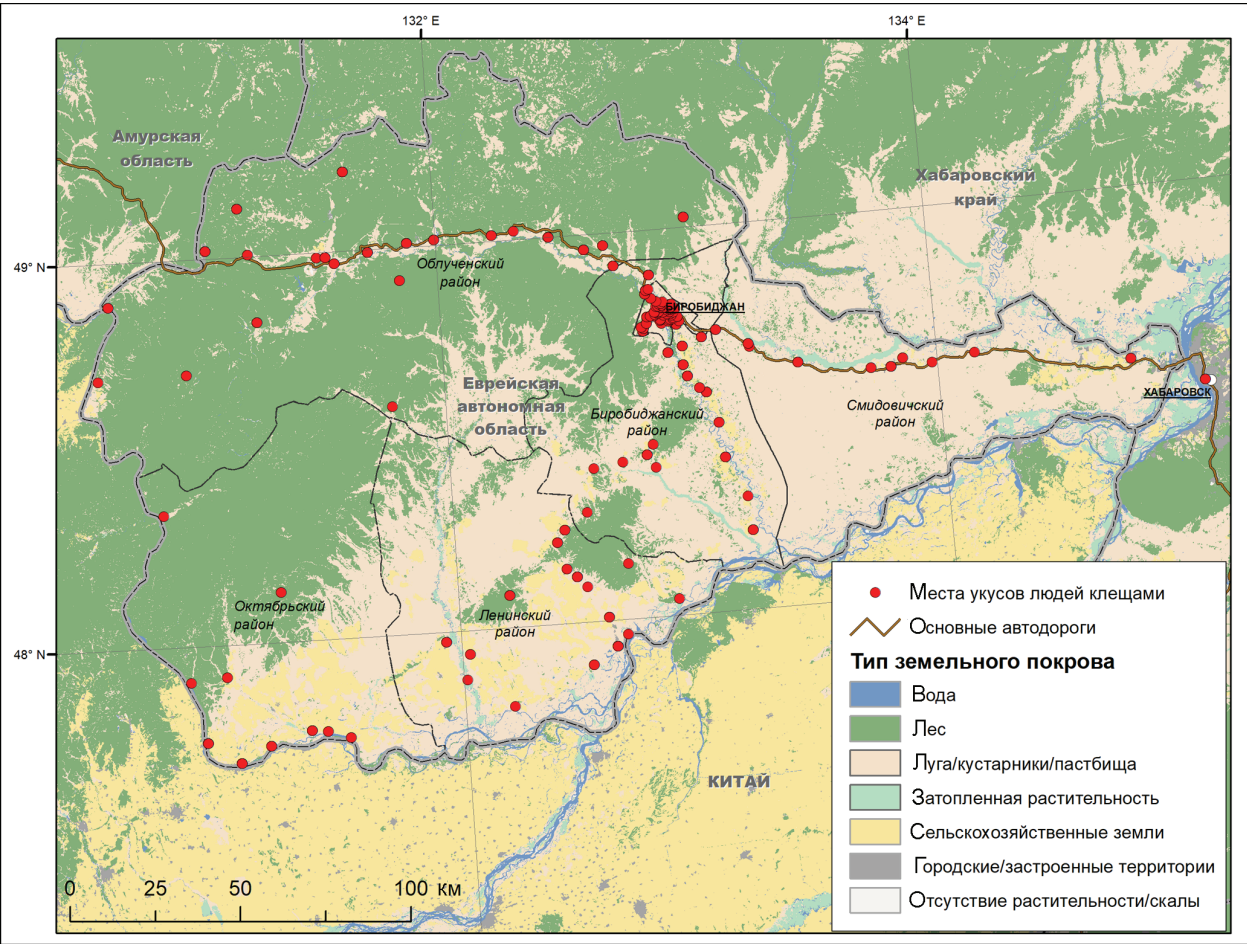


Рис. 2. Распространение иксодовых клещей в ЕАО, 2018–2022 гг.

Fig. 2. Distribution of ixodid ticks in the Jewish Autonomous Oblast, 2018–2022

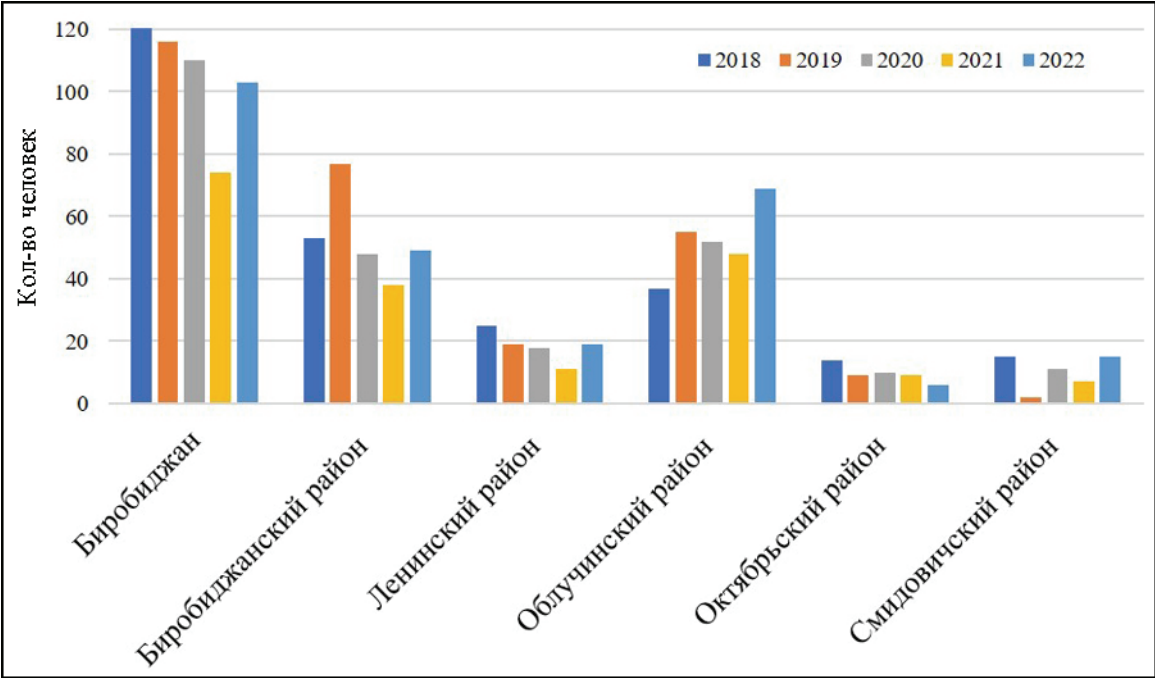


Рис. 3. Число укусов клещами по районам ЕАО, 2018–2022 гг.

Fig. 3. Number of tick bites by districts of the Jewish Autonomous Oblast, 2018–2022

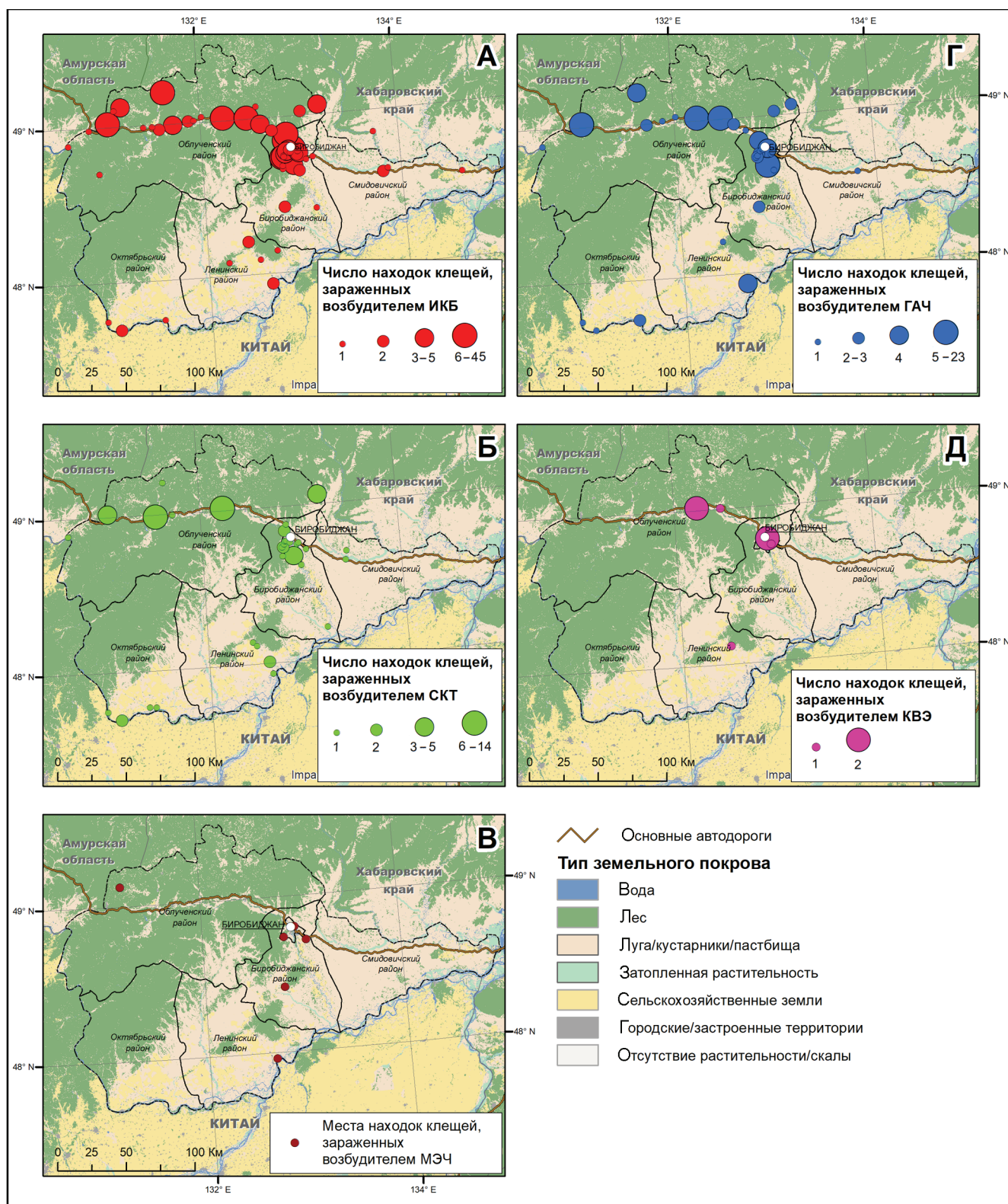


Рис. 4. Распространение клещей, зараженных возбудителями: А – ИКБ; Б – СКТ; В – МЭЧ; Г – ГАЧ; Д – КВЭ (2018–2022)

Fig. 4. Distribution of ticks infected with: А – borreliosis; Б – rickettsiosis; В – ehrlichiosis; Г – anaplasmosis; Д – encephalitis virus (2018–2022)

Гранулоцитарный анаплазмоз человека (ГАЧ) – это трансмиссивное заболевание, вызываемое грамотрицательной бактерией *Anaplasma phagocytophylum*. Возбудитель ГАЧ является облигатным внутрикле-

точным паразитом, который развивается внутри гранулоцитов человека и животных в вакуолях, связанных с клеточной мембраной. Размножение возбудителей приводит к ослаблению иммунитета и,

как следствие, способствует развитию оппортунистических грибковых и вирусных инфекций, а также воспалительных процессов внутренних органов [Коренберг и др., 2013]. Основными резервуарами и переносчиками инфекции являются клещи рода *Ixodes*. Грызуны, олени, собаки и другие млекопитающие, а также мигрирующие птицы являются естественными резервуарами инфекции, способствуя распространению инфицированных клещей в другие регионы. Клещи, зараженные возбудителем ГАЧ, встречаются почти во всех районах ЕАО, не отмечены только в Смидовичском районе (см. рис. 4Г).

Сибирский клещевой тиф. Все случаи клещевых риккетсиозов (сибирский клещевой тиф, дальневосточный клещевой риккетсиоз) в Сибири и на Дальнем Востоке, вызванные различными видами риккетсий, регистрируются под названием «сибирский клещевой тиф» [Штрек и др., 2019]. СКТ – природноочаговые трансмиссивные клещевые инфекции, вызываемые бактериями *Rickettsia sibirica* и *R. heilongjiangensis*. Инфекции имеют сходную клиническую картину – повышение температуры тела, развитие лимфаденита и интоксикационный синдром. Кожные высыпания появляются на второй-третий день [Рудаков и др., 2011]. В южных районах ЕАО риккетсии циркулирует в популяциях диких грызунов и зайцеобразных, а также клещах родов *Dermacentor*, *Haemophysalis*, *Ixodes* [Иголкина, 2019]. Наибольшее число клещей, зараженных *R. sibirica* и *R. heilongjiangensis*, отмечается в Биробиджанском и Облученском районах, единичные случаи встречаются в остальных районах области (см. рис. 4Б).

Клещевой вирусный энцефалит (КВЭ) – природноочаговая трансмиссивная инфекция, вызываемая вирусом *Tick-borne encephalitis virus*. Заболевание характеризуется повышенной температурой, отравлением организма и поражением головного и спинного мозга. Вирус клещевого энцефалита относится к роду *Flavivirus*, который входит в семейство тогавирусов экологической группы арбовирусов. Существуют три разновидности этого вируса – дальневосточный, урало-сибирский и западный. Для ЕАО характерна дальневосточная разновидность вируса. В популяции клещей происходит трансфазовая (от личинки к нимфе и т. д.) и трансвариальная (от самки к потомству) циркуляция вируса [Коренберг и др., 2013]. В передаче вируса на территории РФ участвуют клещи родов *Ixodidae*, *Dermacentor*, *Haemaphysalis*, а на территории ЕАО основными переносчиками являются такие виды клещей, как *I. persulcatus* и *I. pavlovskyi* [Малхазова и др., 2023]. Клещи, зараженные вирусом клещевого энцефалита, распространены не во всех районах области, только в Биробиджанском, Ленинском и Смидовичском районах (см. рис. 4Д).

Моноцитарный эрлихиоз человека (МЭЧ) – природноочаговое трансмиссивное заболевание, вызываемое бактериями видов *Ehrlichia muris*, *Ehrlichia chaffeensis*, которые являются облигатными внутриклеточными паразитами моноцитов крови. *E. chaffeensis* передается клещами родов *Amblyomma*, *Dermacentor*, *Ixodes*, а *E. muris*, главным образом, таежным клещом *Ixodes persulcatus* [Селиванов, 2012]. Клинические симптомы обычно включают различные проявления общеинфекционного синдрома: лихорадку, недомогание, головную боль, потливость, тошноту. МЭЧ может сопровождаться грануломами костного мозга и печени, а также мультиорганными инфильтратами [Коренберг и др., 2013]. Основными резервуарными хозяевами являются теплокровные животные – олени, собаки, грызуны [Бондаренко и др., 2012; Селиванов, 2012; Копосова и др., 2017]. Циркуляция эрлий на территории ЕАО связана с их основными носителями – грызунами и переносчиками – клещами. На территории ЕАО клещи, зараженные эрлихиями, отмечены в Облученском, Ленинском и Биробиджанском районах (см. рис. 4В).

Как следует из рассмотрения карт (см. рис. 4), составленных на основе типов земельного покрова Esri, клещи, зараженные отмеченными инфекциями, за исключением МЭЧ и в какой-то степени ГАЧ, встречаются практически только в лесных массивах.

Моделирование потенциального ареала клещевых инфекций. Выявление районов с различной степенью эпидемиологической опасности представляет практический интерес для органов здравоохранения при организации профилактических и оздоровительных мероприятий.

На основе точечных данных (всего 377) о местах регистрации зараженных клещей и привлечении ряда природных факторов – среднегодовая температура воздуха, средняя температура июля, средняя температура января, среднегодовая относительная влажность и среднегодовые осадки, данные о рельефе и растительности, построена карта потенциального ареала клещевых инфекций для ЕАО (рис. 5). Модель MaxEnt продемонстрировала хорошее качество – AUC=0,876. Наиболее благоприятными для функционирования природных очагов клещевых инфекций являются северо-восточная и центральная часть региона. Вероятно, это связано с наиболее подходящими природными условиями для обитания здесь основного переносчика опасных инфекций – клеща *I. persulcatus*. Так же стоит учитывать, что численность населения г. Биробиджана выше, чем остальных районов области, в связи с чем обращаемость населения с укусами клещами здесь может быть выше, что может быть источником сдвига данных для модели.

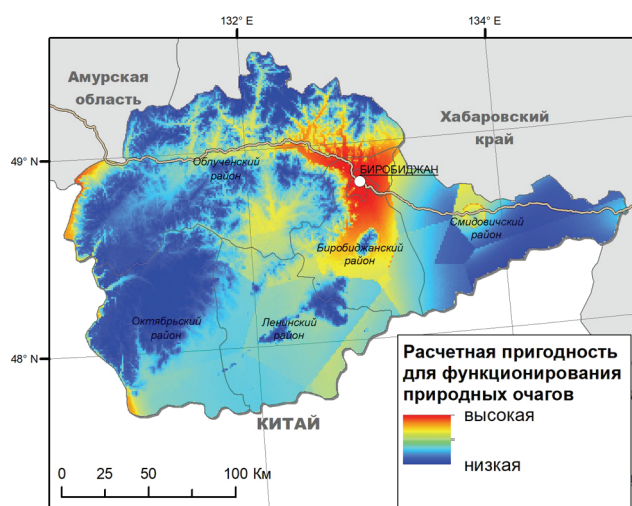


Рис. 5. Современный потенциальный ареал клещевых инфекций в ЕАО

Fig. 5. Current potential range of tick-borne infections in the Jewish Autonomous Oblast

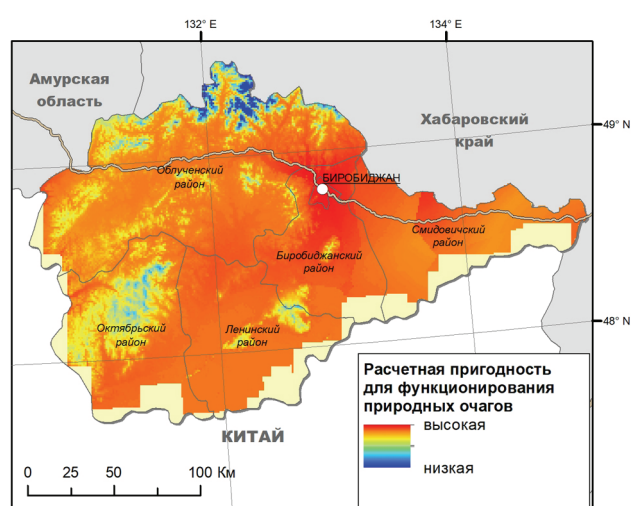


Рис. 6. Прогнозный ареал клещевых инфекций на период с 2081 по 2100 г.

Fig. 6. Predicted range of tick-borne infections for the period 2081–2100

На основе прогностических климатических данных на период 2081–2100 гг. для условий наиболее жесткого климатического сценария SSP5-8.5 была построена карта прогнозного ареала клещевых инфекций для территории ЕАО. При глобальном потеплении климата пригодность территории ЕАО для функционирования природных очагов клещевых инфекций к концу XXI в. в целом возрастет, кроме небольших участков, связанных с горными территориями – хребтами Буреинский и Малый Хинган на севере региона и Помпеевским хребтом на юго-западе, так как климат здесь будет более суровым, не подходящим для активного развития всех сочленов паразитарной системы (рис. 6).

ВЫВОДЫ

В настоящем исследовании был проведен анализ медико-географической ситуации по особо опасным природноочаговым клещевым инфекциям на территории Еврейской автономной области, позволяющий сделать ряд выводов:

- на территории ЕАО выявлено пять актуальных для региона инфекций: клещевой вирусный энцефалит (КВЭ), сибирский клещевой тиф (СКТ), иксодовые клещевые боррелиозы (ИКБ), моноцитар-

ный эрлихиоз человека (МЭЧ), гранулоцитарный анаплазмоз человека (ГАЧ);

- за период с 2018 по 2022 г. зарегистрировано 1270 случаев укусов иксодовыми клещами людей; зараженными оказались 377 клещей, из которых 219 особей возбудителями иксодовых клещевых боррелиозов;

- возбудители ИКБ, СКТ и ГАЧ были отмечены во всех районах области; КЭ – только в Биробиджанском, Ленинском и Сидовичском районах; МЭЧ – в Облученском, Ленинском и Биробиджанском районах;

- согласно созданному потенциальному ареалу распространения клещевых инфекций наиболее благоприятными для функционирования природных очагов являются северо-восточная и центральная часть региона;

- при глобальном потеплении климата пригодность территории ЕАО для функционирования природных очагов клещевых инфекций к концу XXI в. в целом возрастет, кроме небольших участков, связанных с горными территориями;

- полученные результаты исследования могут быть использованы при организации профилактических и оздоровительных мероприятий.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Еврейской автономной области и аспиранту кафедры биогеографии И.В. Владимирову, принимавшим участие в сборе и обработке полевых данных и статистической информации.

Исследование выполнено в рамках ГЗ Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды» № 121051100137-4, при поддержке Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» и Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова (П. 1220).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болотин Е.И. Иксодовые клещи российского Дальнего Востока. Владивосток: ДВО РАН, 1999. 112 с.
- Бондаренко Е.И., Иванов М.К., Якименко В.В. и др. Использование полимеразной цепной реакции в режиме реального времени для выявления ДНК возбудителей гранулоцитарного анаплазмоза и моноцитарного эрлихиоза человека // Клиническая лабораторная диагностика. 2012. № 11. С. 54–57.
- Владимиров И.В., Букликов А.В., Орлов Д.С. и др. Пространственно-временной анализ распространения клещевых инфекций в Еврейской АО (1998–2022 гг.) // Картографирование биоты: традиции и актуальные вопросы развития: материалы Международной научной конференции. Иркутск: Изд-во института географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, 2023. С. 26–29.
- Егоров В.А., Барталев С.А., Колбудаев П.А. и др. Карта растительного покрова России, полученная по данным спутниковой системы Proba-V // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 2. С. 282–286.
- Иголкина Я.П. Молекулярно-генетический анализ риккетсий, циркулирующих на территории Западной Сибири и Дальнего Востока: дисс. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2019. 132 с.
- Копосова О.Н., Бессолицына Е.А., Волков С.А. Определение динамики инфицированности клещей бактериями рода *Ehrlichia* на территории Кировской области // Advanced Science. 2017. № 3. С. 31–39.
- Коренберг Э.И., Помелова В.Г., Осин Н.С. Природноочаговые инфекции, передающиеся иксодовыми клещами. М.: Наука, 2013. 463 с.
- Лубова В.А., Леонова Г.Н., Шутикова А.Л. Роль иксодовых клещей в циркуляции возбудителей клещевых инфекций на юге Дальнего Востока // Медицинская экология. Экология человека. 2020. С. 58–64.
- Малхазова С.М., Шартова Н.В., Зелихина С.В. и др. Анализ пространственной неоднородности в распространении клещевых инфекций на юге Дальнего Востока // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 2. С. 51–61.
- Малхазова С.М., Миронова В.А., Ватлина Т.В. и др. Актуальные природнообусловленные заболевания на юге Дальнего Востока России // Вопросы географии. Сб. 156. Современная биогеография Северной Евразии. 2023. С. 273–293.
- Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Булдакова Е.В. и др. Карта биомов России. Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018.
- Попов И.О., Семенова С.М., Попова Е.Н. Оценка климатогенной угрозы распространения таежного клеща *Ixodes persulcatus* на территории России и соседних стран в начале XXI века // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 231–237.
- Рудаков Н.В., Шпынов С.Н., Самойленко И.Е. и др. Клещевой риккетсиоз и риккетсиоз группы клещевой пятнистой лихорадки в России // Омский научный вестник. 2011. 231 с.
- Селиванов Е.В. Моноцитарный эрлихиоз человека // Вестник «Лаборатории ДНК – диагностики». 2012. № 1(14). С. 26–29.
- Штрек С.В., Рудаков Н.В., Пенъевская Н.А. и др. Многолетняя динамика и интенсивность эпидемического процесса сибирского клещевого тифа в федеральных округах и субъектах Российской Федерации в период 2002–2018 гг. // Фундаментальная и клиническая медицина. 2019. № 4(3). С. 68–76.
- Abdrakhmanov S.K., Mukhanbetkaliyev Y.Y., Korennoy F.I. et al. Maximum entropy modeling risk of anthrax in the Republic of Kazakhstan, *Preventive Veterinary Medicine*, 2017, vol. 144, p. 149–157.
- Elith J., Phillips S.J., Hast T. et al. A Statistical Explanation of MaxEnt for Ecologists. *Diversity and Distributions*, 2011, 17, 43–57, DOI: 10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x.
- Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z. et al. Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning, *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 2021, p. 4704–4707.
- Lippi C.A., Ryan S.J., White A.L. et al. Trends and Opportunities in Tick-Borne Disease Geography, *Journal of Medical Entomology*, 2021, vol. 58, no. 6, p. 2021–2029.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions, *Ecological Modelling*, 2006, vol. 190, p. 231–259.
- Shartova N., Mironova V., Zelikina S. et al. Spatial patterns of West Nile virus distribution in the Volgograd region of Russia, a territory with long-existing foci, *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 2022, no. 1, p. 1–27.
- Zakharova O.I., Korennoy F.I., Iashin I.V. et al. Ecological and Socio-Economic Determinants of Livestock Animal Leptospirosis in the Russian Arctic, *Front. Vet. Sci*, 2021, vol. 8, p. 1–11.
- Электронные источники
EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (access date 08.10.2024).

Поступила в редакцию 01.05.2025

После доработки 23.07.2025

Принята к публикации 28.08.2025

TICK-BORNE INFECTIONS IN THE JEWISH AUTONOMOUS REGION: MAPPING, ASSESSMENT AND FORECAST

S.M. Malkhazova¹, P.V. Kopylov², A.V. Buklikov³, A.Z. Setdikova⁴, F.I. Korennoy⁵, D.S. Orlov⁶

^{1,6} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

^{1,4} Lomonosov Moscow State University – Beijing Institute of Technology in Shenzhen, Faculty of Geography

² Office of the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare in the Jewish Autonomous Oblast

³ Center for Hygiene and Epidemiology in the Jewish Autonomous Oblast

⁵ Federal Center for Animal Health (FGBI ARRIAH)

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

² Head of the Office; e-mail: zpp@79.rospotrebnadzor.ru

³ Physician in Chief; e-mail: gigepid@mail.ru

⁴ Master student; e-mail: setdikova02@mail.ru

⁵ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: korennoy@arriah.ru

⁶ Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: orlovds@list.ru

The paper deals with the spatiotemporal analysis of the tick-borne infections spread in the Jewish Autonomous Oblast. The study used materials on tick bites of people and tick infection with pathogens of especially dangerous infections for the period from 2018 to 2022. Information was collected on five infections relevant to the region, namely tick-borne viral encephalitis, ixodic tick-borne borreliosis, Siberian tick-borne typhus, human granulocytic anaplasmosis, and human monocytic ehrlichiosis.

The distribution of tick-borne infections by administrative districts of the region was analyzed. It was found that ixodic tick-borne borreliosis is the most widespread one. Based on point data about the places where infected ticks were found and considering a number of natural factors, a map of the potential range of tick-borne infections in the region was compiled. Taking into account the predicted climatic data for the period of 2081–2100 under the most severe SSP5-8.5 climatic scenario, a map of the predicted area of tick-borne infections for the territory of the Jewish Autonomous Oblast at the end of the 21st century was prepared.

Keywords: Jewish autonomous oblast, tick-borne infections, medical-geographical mapping, GIS, range modeling

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the staff of the Office of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Jewish autonomous oblast and to I.V. Vladimirov, postgraduate student of the Department of Biogeography, who participated in collecting and processing field data and statistical information.

The study was carried out within the framework of the State Assignment of the Lomonosov Moscow State University “Spatio-temporal organization of ecosystems in the context of environmental changes” No. 121051100137-4, and supported within the Development Program of the “Future of the Planet and Global Environmental Changes” Interdisciplinary Scientific and Educational School of the Lomonosov Moscow State University and the Development Program of the Lomonosov Moscow State University (P. 1220).

REFERENCES

- Abdrakhmanov S.K., Mukhanbetkaliyev Y.Y., Korennoy F.I. et al. Maximum entropy modeling risk of anthrax in the Republic of Kazakhstan, *Preventive Veterinary Medicine*, 2017, vol. 144, p. 149–157.
- Bolotin E.I. *Iksodovye kleshhi rossijskogo Dal'nego Vostoka* [Ticks of the Russian Far East], Vladivostok, DVO RAN Publ., 1999, 112 p. (In Russian)
- Bondarenko E.I., Ivanov M. K., Jakimenko V. V. et al. Ispol'zovanie polimeraznoj cepnoj reakcii v rezhime real'nogo vremeni dlja vyjavlenija DNK vozбудitelej granulocitarnogo anaplazmoza i monocitarnogo jerlihioza cheloveka [Using real-time polymerase chain reaction to identify DNA of the pathogens of human granulocytic anaplasmosis and monocytic ehrlichiosis], *Klinicheskaja laboratornaja diagnostika*, 2012, no. 11, p. 54–57. (In Russian)
- Egorov V.A., Bartalev S.A., Kolbudaev P.A. et al. Karta rastitel'nogo pokrova Rossii, poluchennaja po dannym sputnikovoj sistemy Proba-V [Land cover map of Russia derived from Proba-V satellite data], *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2018, vol. 15, no. 2, p. 282–286. (In Russian)
- Elith J., Phillips S.J., Hastie T. et al. A Statistical Explanation of MaxEnt for Ecologists. *Diversity and Distributions*, 2011, 17, 43–57, DOI: 10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x.
- Igolkina Ja.P. *Molekuljarno-geneticheskij analiz rikketsij, cirkulirujushhih na territorii Zapadnoj Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Molecular-genetic analysis of rickettsias circulating over the territory of Western Siberia and the Far East], Diss. kand. biol. nauk. Novosibirsk, 2019, 132 p. (In Russian)
- Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z. et al. Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning, *2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 2021, p. 4704–4707.

- Koposova O.N., Bessolicyna E.A., Volkov S.A. Opredelenie dinamiki inficirovannosti kleshhej bakterijami roda Ehrlichia na territorii Kirovskoj oblasti [Determination of the dynamics of infection of ticks with bacteria of the Ehrlichia genus in the territory of the Kirov region], *Advanced science*, 2017, no. 3, p. 31–39. (In Russian)
- Korenberg Je.I., Pomelova V.G., Osin N.S. *Prirodnouchagovyje infekcii, peredajushiesja iksodovymi kleshhami* [Naturally focal infections transmitted by ixode ticks], Moscow, Nauka Publ., 2013, 463 p. (In Russian)
- Krashkevich K.V., Tarasov V.V. *Medicinskaja parazitologija* [Medical parasitology], Moscow, MSU Publ., 1969, 389 p. (In Russian)
- Lippi C.A., Ryan S.J., White A.L. et al. Trends and Opportunities in Tick-Borne Disease Geography, *Journal of Medical Entomology*, 2021, vol. 58, no. 6, p. 2021–2029.
- Lubova V.A., Leonova G.N., Shutikova A.L. Rol' iksodovykh kleshhej v cirkuljacii vzbuditelej kleshhevykh infekcij na juge Dal'nego Vostoka [Role of ixode ticks in circulation of tick-borne infections in the south of the Far East], *Medicinskaja ekologija, Ekologija cheloveka*, 2020, p. 58–64. (In Russian)
- Malhazova S.M., Mironova V.A., Vatlina T.V. et al. [Naturally-determined diseases of a high priority in the south of the Russian Far East], *Voprosy geografii. Sb. 156. Sovremennaja biogeografija Severnoj Evrazii* [Modern Biogeography of Northern Eurasia], 2023, p. 273–293. (In Russian)
- Malhazova S.M., Shartova N.V., Zelihina S.V. et al. Analiz prostranstvennoj neodnorodnosti v rasprostranении kleshhevykh infekcij na juge Dal'nego Vostoka [Spatially heterogeneous distribution of tick-borne infections in the south of the Far East], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, vol. 78, no. 2, p. 51–61. (In Russian)
- Ogureeva G.N., Leonova N.B., Buldakova E.V. et al. *Karta biomov Rossii* [Map of Russian biomes], Geogr. fakul'tet MGU im. M.V. Lomonosova, 2018. (In Russian)
- Phillips S.J., Anderson R.P., Schapire R.E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions, *Ecological Modelling*, 2006, vol. 190, p. 231–259.
- Popov I.O., Semenova S.M., Popova E.N. Ocenka klimatogennoj ugrozy rasprostraneniya taezhnogo kleshha Ixodes persulcatus na territorii Rossii i sosednih stran v nachale XXI veka [Assessment of Climatogenic Hazard of the Taiga Tick *Ixodes persulcatus* Distribution in Russia and Neighboring Countries at the Beginning of the 21st Century], *Izvestija RAN. Serija geograficheskaja*, 2021, vol. 85, no. 2, p. 231–237. (In Russian)
- Rudakov N.V., Shpynov S.N., Samojlenko I.E. et al. *Kleshhevoj rikketsioz i rikketsioz grupy kleshhevoj pjatnistoj lihoradki v Rossii* [Tick-borne rickettsiosis and rickettsiosis of the tick-borne spotted fever group in Russia], *Omskij nauchnyj vestnik*, 2011, 231 p. (In Russian)
- Selivanov E.V. Monocitarnyj erlichioz cheloveka [Human monocytic ehrlichiosis], *Vestnik "Laboratorii DNK – diagnostiki"*, 2012, no. 1(14), p. 26–29. (In Russian)
- Shartova N., Mironova V., Zelikina S. et al. Spatial patterns of West Nile virus distribution in the Volgograd region of Russia, a territory with long-existing foci, *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 2022, no. 1, p. 1–27.
- Shtrek S.V., Rudakov N.V., Pen'evskaja N.A. et al. Mnogoletnjaja dinamika i intensivnost' jepidemicheskogo processa sibirskogo kleshhevogo tifa v federal'nyh okrugah i subjektah Rossijskoj Federacii v period 2002–2018 gg. [Long-term dynamics and epidemic intensity of Siberian tick typhus in federal districts and regions of the Russian Federation during 2002–2018], *Fundamental'naja i klinicheskaja medicina*, 2019, no. 4(3), p. 68–76. (In Russian)
- Vladimirov I.V., Buklikov A.V., Orlov D.S. et al. [Spatial and temporal analysis of the spread of tick-borne infections in the Jewish Autonomous Oblast (1998–2022)], *Kartografirovanie bioty: tradicii i aktual'nye voprosy razvitiya* [Mapping of biota: traditions and the actual problems of development], *Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*, In-t geografii im. V.B. Sochavy SO RAN Publ., Irkutsk, 2023, p. 26–29. (In Russian)
- Zakharova O.I., Korennoy F.I., Iashin I.V. et al. Ecological and Socio-Economic Determinants of Livestock Animal Leptospirosis in the Russian Arctic, *Front. Vet. Sci.*, 2021, vol. 8, p. 1–11.

Web-source

EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (access date 08.10.2024).

Received 01.05.2025

Revised 23.07.2025

Accepted 28.08.2025

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА МЕЛИОРАТИВНОГО ВОДОЕМА ПО ФЛОРИСТИЧЕСКОМУ СОСТАВУ МАКРОФИТОВ

М.С. Зверьков¹, С.С. Смелова²

^{1,2} *Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна*

¹ *Вед. науч. сотр., канд. техн. наук; e-mail: mzverkov@bk.ru*

² *Ст. науч. сотр., канд. биол. наук, доц.; e-mail: smelova_svetlana@mail.ru*

Исследование посвящено оценке трофического статуса пруда мелиоративного назначения по флористическому составу прибрежно-водной растительности. Из известных методов фитоиндикации наибольшую популярность приобрели методики расчета биотического индекса пресноводных экосистем по видовому составу макрофитов, отличающиеся своей наглядностью и оперативностью. Метод основан на присвоении макрофитам биоиндикационного значения – «трофического ранга». Водный объект расположен на территории Коломенского городского округа Московской области. Площадь водосбора составляет 1038,82 га, растительность естественного происхождения занимает площадь 336,08 га (32,4%), водные объекты – 25,53 га (2,5%), земли, используемые в сельскохозяйственном обороте, – 132,51 га (12,8%). По результатам геоботанического обследования прибрежной полосы и данным дистанционного зондирования Земли установлено, что высшая прибрежно-водная растительность (макрофиты) размещается по фрагментарно-микроясному типу: мезофиты занимают 4,57 га, гигрофиты – 4,13 га, гигрогелофиты – 3,40 га, гидрофиты – 1,04 га. Анализ флористического состава видов растений-индикаторов сапробности показал, что трофический статус данного водоема соответствует α -мезосапробной зоне. Значительная площадь литорали (65,2%) обуславливает высокую вероятность зарастания водоема макрофитами. Для пруда характерно цветение, вызванное цианобактериями, связанное с застоем воды вследствие отсутствия транзитного тока в нижний бьеф, поступлением биогенных элементов с водосбора и повышением температуры воды на мелководье. Согласно проведенному исследованию, показателем изменения экологического состояния пруда служит комплекс факторов. В совокупности они представляют высокие риски для дальнейшей безопасной эксплуатации мелиоративного водоема как для регулирования местного стока, так и для использования в ирригационных целях. Полученная информация важна для оценки экологических последствий изменения состояния мелиоративных объектов и разработки стратегии управления жизненным циклом аналогичных гидротехнических сооружений. Методика, представленная в исследовании, может быть адаптирована для изучения трофического статуса других водных экосистем, способствуя лучшему прогнозированию и управлению экологическими рисками в мелиоративной отрасли сельского хозяйства.

Ключевые слова: фитоиндикация, сапробность, пруд, данные ДЗЗ, микроясность, водосбор

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.11

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразная антропогенная нагрузка (промышленное производство, сельскохозяйственная деятельность, процесс урбанизации) значительно ухудшает экологическое состояние окружающей природной среды. Особенно страдают водные экосистемы. Необходимо отметить критическое состояние водных объектов мелиоративного комплекса Российской Федерации, которое связано с нарушением правил землепользования, загрязнением воды, нерациональным управлением водными ресурсами [Ресурсы..., 2023]. Особенно тревожным фактом является отсутствие собственников у многих мелиоративных гидротехнических сооружений. В связи с нарушением правовых оснований для безопасной эксплуатации таких

объектов, возникают риски аварийных ситуаций и ухудшения экологического состояния [Савушкин, Гжибовский, 2021; Булгаков, Гжибовский, 2024; Shumka et al., 2024; Islam et al., 2025].

Мелиоративные водоемы имеют важное значение для орошаемого земледелия, поэтому мониторинг их состояния является актуальной прикладной научно-практической задачей. Характер и возможность их комплексного использования определяется требованиями к показателям качества воды. Эвтрофикация водных экосистем, вызванная поступлением нитратов и фосфатов с сельскохозяйственных угодий, биогенов с коммунальными и промышленными стоками, является индикатором социально-экономических и экологических рисков

[Akinawo, 2023; Chen et al., 2022]. По некоторым оценкам в той или иной степени эвтрофикация проявляется на 80% водных объектов по всему миру. Установлено ускорение процесса эвтрофикации на фоне климатических аномалий [Sivarajah, 2021; Yuan, 2024; Zeng, 2024].

В этой связи возникает необходимость получения достоверной информации о качестве природных вод. С этой целью широко используются водные организмы как биоиндикаторы загрязнения [Биоиндикация..., 1994]. Узкое определение биологической индикации воды сформулировано в нормативной документации (ГОСТ 27065-86). В работе [Семерной, 2002] обобщены некоторые рекомендации для оценки сапробности водных источников. Оценке трофического статуса водоемов по содержанию биогенных элементов и концентрации хлорофилла (пигментов фитопланктона) в воде бассейна реки Оки посвящено немало исследований [Решетняк..., 2016; Логинов..., 2021]. Однако, авторам не удалось обнаружить работы по оценке степени сапробности (трофического статуса) водоема по биотическому индексу видового состава макрофитов в бассейне реки Оки. В то же время работа по определению индикаторной значимости водных организмов ведется и по сей день. Оценку сапробности водоема проводят по всем группам гидробионтов, включая высшую растительность (фитоиндикация) [Бакаева..., 2006; Dulić et al., 2009; Савосин, Савосин, 2023]. Из известных методов фитоиндикации наибольшую популярность приобрели методики расчета биотического индекса по видовому составу макрофитов, отличающиеся своей наглядностью и оперативностью [Катанская, 1981; Grzybowski et al., 2022; Melzer, 1999; Trajanovska et al., 2014].

Степень трофности водоемов – важнейший гидробиологический показатель их экологического состояния. Эта информация используется для разработки и принятия соответствующих природоохранных мер. Экологическое состояние водных источников оценивается с использованием обобщенных критериев: органолептические и физико-химические показатели, степень сапробности (трофический статус) водоема, соответствующая насыщенности разлагающимися органическими веществами. Первичным продуцентам в водных экосистемах является прибрежно-водная растительность, в частности группировки макрофитов – основных компонентов аквального ландшафта. Данные о макрофитах успешно используются для оценки трофического статуса пресноводных водоемов [Савицкая, 2014; Зуева, Бобров, 2018; Petrov et al., 2023].

Важной особенностью макрофитов является консервативность по отношению к кратковремен-

ным изменениям среды обитания. Тогда как существенное изменение прибрежно-водной растительности водоема в течение нескольких лет наглядно свидетельствует об антропогенной трансформации экосистемы. Эта физиологическая особенность макрофитов обусловила их использование в качестве биоиндикатора для экологического мониторинга водных объектов. При длительном антропогенном воздействии на водоемы изменяется видовой состав, биомасса и продуктивность гидрофитов, у которых могут возникать морфологические аномалии.

Результаты исследования динамики таксономического состава и пространственного распространения прибрежно-водной растительности используются при разработке цифровых двойников прудов мелиоративного назначения, картирования зарастающих зон и литорали. Эти данные в совокупности с информацией о начальном состоянии водных объектов могут быть использованы для мониторинга изменений в экосистеме пруда на протяжении всего жизненного цикла гидротехнического сооружения. Фиксация этапов изменения в окружающей среде позволяет изучать их динамику и направленность в пространстве и во времени. Особенно это актуально в связи с развитием цифровых технологий в отрасли и Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения. Последняя также агрегирует данные о мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружениях.

В качестве объекта исследования авторами взят пруд Семеновский, образованный в результате строительства мелиоративной плотины в долине небольшой безымянной речки – притока р. Оки. По данным [Зверьков и др., 2024], площадь зеркала исследуемого пруда при нормативном подпорном уровне составляет 0,213 км², наибольшая глубина по состоянию на 2023 г. – 4,9 м, средняя глубина – 1,8 м. При этом мелководная зона занимает 65,2% от общей площади зеркала. Водосброс нерегулируемый шахтного типа. Пруд относится к категории равнинных водотоков с инфильтрационным типом питания. Исток приурочен к существующей овражной сети, по которой происходит разгрузка подземных и аккумуляция поверхностных вод [Смелова и др., 2018]. Данных по ботанико-географической характеристике объекта исследований крайне мало, большая часть их посвящена географической изученности территории [Куприянов, 1995; Кригер, Копосов, 1996; Смелова и др., 2018; Smelova, Zverkov, 2021]. Водный объект расположен на территории Коломенского городского округа Московской области в непосредственной близости от населенных пунктов коттеджного типа застройки (Семеновское и Барановка Акатьевского сельского поселения) и

садовых некоммерческих товариществ (СНТ). Поверхностный сток формируется на водосборе. В его пределы входит поселок Первомайский, полигон твердых бытовых отходов «Воловичи» (ТБО), существовавший в период с 1990-х по 2019 г. Его рекультивация завершена только в 2024 г. Также на водосборе расположена крупная нефтеперекачивающая станция (НПС), дренажные сети которой периодически сбрасывают воду в безымянную речку. В средствах массовой информации неоднократно освещались случаи массовой гибели рыбы в этом водном объекте. В северной части пруда расположена оросительная гидромелиоративная система (ГМС), созданная в 1980-х гг. Гидранты и сооружения на подземной сети в основном утрачены. В период 2020–2024 гг. на окрестных полях выращивали овощи, озимые и подсолнечник, полив осуществлялся капельным способом и шлангобарабанными дождевальными машинами. Часть угодий используется под сенокосы. Забор воды осуществляется передвижными насосными станциями в верхней части пруда.

Цель исследования – охарактеризовать актуальное экологическое состояние мелиоративного гидротехнического сооружения по данным натурного обследования и дистанционного зондирования Земли.

Задачи исследования включали изучение флористического состава и состояния прибрежно-водной растительности, оценку степени сапробности пруда методом расчета биотического индекса по составу макрофитов.

С сельскохозяйственных полей с неорганизованным поверхностным стоком в пруд поступают разнообразные агрохимикаты, в том числе неаккумулированные почвой минеральные удобрения и средства защиты растений (гербициды, инсектициды, фунгициды и др.). Отдельные группы этих веществ принадлежат к стойким органическим загрязнителям. Токсичные химические вещества парализуют деятельность микроскопических организмов, минерализующих органику, вследствие чего происходит быстрое заиливание водоема. Одновременно с этим для пруда характерна выраженная сезонная динамика уровня режима. Коммунальные стоки от населенных пунктов, инфильтрат и поверхностный сток с полигона ТБО являются основной причиной органического загрязнения водоема, что способствует цветению воды. Бурный рост и размножение цианобактерий и микроскопических планктонных водорослей свидетельствует об интенсивности процессов эвтрофикации. По результатам наблюдений авторов настоящего исследования, наиболее активно цветение воды наблюдается в конце вегетационного сезона в период летне-осенней межени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили данные геоботанического обследования прибрежной зоны Семеновского пруда за 2022–2023 гг., проведенного по общепринятой методике [Катанская, 1981]. По периметру водоема сделано 10 геоботанических описаний. По флористическому составу макрофитов можно получить относительно достоверные данные, характеризующие степень сапробности природных вод. Определение трофического статуса пруда производилось по индексу сапробности Macrophyte Index for Rivers (*MIR*), основанному на количественной и качественной инвентаризации макрофитов, произрастающих на 100-метровом участке береговой линии. [Bytyçi et al., 2022; Najafzadeh et al., 2024]. Под качественной инвентаризацией подразумевается видовой состав макрофитов.

Показатель оценивался по формуле:

$$MIR = \frac{\sum_{i=1}^n L_i W_i P_i 10}{\sum_{i=1}^n W_i P_i},$$

где *MIR* – индекс сапробности; *L_i* – индикаторное значение для *i*-того таксона; *P_i* – коэффициент проективного покрытия для *i*-того таксона; *W_i* – весовой коэффициент для *i*-го таксона.

Значение *MIR* имеет диапазон от 10 (эвтрофия) до 100 (олиготрофия). Низкие значения индекса соответствуют увеличению трофности водоема. Индикаторное значение *L_i* каждого *i*-го таксона имеет диапазон от 1 (эвтрофия) до 10 (олиготрофия). Каждому виду макрофитов в используемой методике соответствует определенное индикаторное значение, указанные в работах [Szozzkiewicz et al., 2010; Зуева и др., 2019]. Весовой коэффициент *W_i* варьирует от 1 (для эврибионтов) до 3 (для стенобионтов). Коэффициент *P_i* представляет собой бальную оценку площади, занятой определенным таксоном. *P_i* имеет диапазон от 1 до 9, который соответствует проективному покрытию от <0,1% до >75% соответственно.

Для выявления источников загрязнения водоема использовались спутниковые снимки прилегающей территории. Источником данных дистанционного зондирования Земли явились растровые изображения космического спутника Landsat 8 (в программе Google Earth Pro version 7.3.6.10201 (64-bit)). Картографирование и разработка цифрового двойника водного объекта выполнены в среде программы QGIS (ver. 3.28.1 «Firenze»). Исходная система координат – WGS 84 (Pseudo-Mercator, EPSG:3857). Площадь векторных полигонов оценивалась с помощью геометрической функции \$area.

Цифровая модель рельефа создавалась на основе данных Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Исходный геоэференцированный растр (снимок с

координатами 55° с. ш. 38° в. д.) разбит на ячейки, каждая из которых охватывает один градус широты и один градус долготы, названные в соответствии с их юго-западными углами. Исходные высоты SRTM рассчитаны относительно эллипсоида WGS 84. Водосборная площадь оценивалась с помощью инструментов геоинформационной системы SAGA GIS 9.3.1. Для устранения неточностей цифровой модели рельефа выполнялась предварительная коррекция данных путем автоматической ликвидации бессточных областей с помощью модуля Fill Sinks XXL (Wang Liu). Затем с помощью модуля Upslope Area (interactive) построена граница водосборной площади и частных водосборов. Параметр Method выбран Deterministic 8.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам дешифрирования спутниковых снимков и обработки данных SRTM выполнено картографирование исследуемой территории (рис. 1А). В результате построения цифровой модели рельефа (ЦМР) установлено, что общая площадь водосбора составляет 1038,82 га. Территория застроена на 12,2% (126,22 га), зеленые насаждения естественного происхождения занимают площадь 336,08 га (32,4%), водные объекты – 25,53 га (2,5%), земли, используемые в сельскохозяйственном обороте, – 132,51 га (12,8%).

Водосборный бассейн пруда включает 5 частных водосборов (см. рис. 1Б), из которых I – самый большой по площади составляет 320,78 га (30,9% общей площади и совпадает с расположением объекта исследования с устьем в створе I). Сельскохозяйственные угодья (в том числе ГМС) составляют 126,17 га (39,3% площади частного водосбора). На площади 73,40 га расположены более половины объектов индивидуального жилищного строительства, зданий и объектов инфраструктуры, а также личных подсобных хозяйств населения (58,2% от всей застройки водосбора). Залесенность частного водосбора составляет 17,71% (56,79 га), площадь, покрытая водой (в том числе Семеновский пруд) – 23,49 га (7,3%).

Створ 2 принимает поверхностный сток с частных водосборов II и III площадью соответственно 258,95 га (24,9%) и 243,95 га (23,5%) каждый. Частный водосбор II покрыт лесом и отдельно стоящими деревьями на 29,4% (76,34 га) вследствие изъятия земель сельскохозяйственного назначения из оборота, водой – на площади 1,76 га (0,7%). Это самая застроенная территория на водосборе. Постройки расположены в двух населенных пунктах – поселке Первомайском и деревне Семеновское на площади 126,22 га (48,75%).

Частный водосбор III залесен на 85,1% (207,49 га). В южной части водосбор граничит с полигоном ТБО (см. рис. 1А) в непосредственной близости от одного из истоков безымянной речки, питающей объект исследования. По периметру полигона ТБО расположены открытые дрена, собирающие инфильтрат, стекающий со свалочного тела во временные водотоки. В центральной части на площади 10,9 га (4,5%) расположена НПС, также окруженная нагорно-ловчими канавами. Сброс осуществляется между створами 2 и 3. Частный водосбор застроен на 10,3% (25,2 га).

В створе 3 сходятся потоки из створа 4, дебет которого формируется с двух частных водосборов – IV и V. Из них IV занимает площадь 118,89 га (11,4%) и практически полностью покрыта лесом (94,45 га или 79,4%), застройка занимает только 2,5 га (2,1%). Створ 4 расположен на частном водосборе V. Особенностью этого участка является то, что на нем фрагментарно сохранилась осушительная мелиоративная сеть, а с производственных зон по открытым дренам поступает поверхностный сток. Самую малую площадь – 96,25 га (9,3%) занимает частный водосбор V. Его залесенность составляет 39,7% (38,17 га), застройка – 2,30 га (2,4%).

В результате геоботанического обследования 100-метрового участка прибрежной полосы (рис. 2), было выявлено 22 вида макрофитов, принадлежащих к четырем экологическим группам (экотипам): гидрофиты – 4 вида; гигрогелофиты – 6 видов; гигрофиты – 5 видов; мезофитов – 7 [Папченко, 1985; Philipov et al., 2022].

Из *гидрофитов* – погруженных в воду растений, доминирует элодея канадская (*Elodea canadensis*). На поверхности водоема отмечено присутствие ряски малой и трехдольной (*Lemna minor*; *L. trisulca*), многокоренника обыкновенного (*Spirodela polyrriza*).

Среди *гигрогелофитов* – растений прибрежных отмелей с глубиной от 20 до 40 см, отмечены осока острая (*Carex acuta*), манник плавающий (*Glyceria fluitans*), омежник обыкновенный (*Oenanthe aquatica*), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*) и др.

Гигрофиты – растения сырых местообитаний и низких топких берегов, на обследованном участке водоема представлены такими видами, как череда трехраздельная (*Bidens tripartita*), ива трехтычинковая (*Salix triandra*), камыш озерный (*Scirpus lacustris*), паслен сладко-горький (*Solanum dulcamara*), тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), вербейник обыкновенный (*Lysimachia vulgaris*), зюзник европейский (*Lycopus europaeus*).

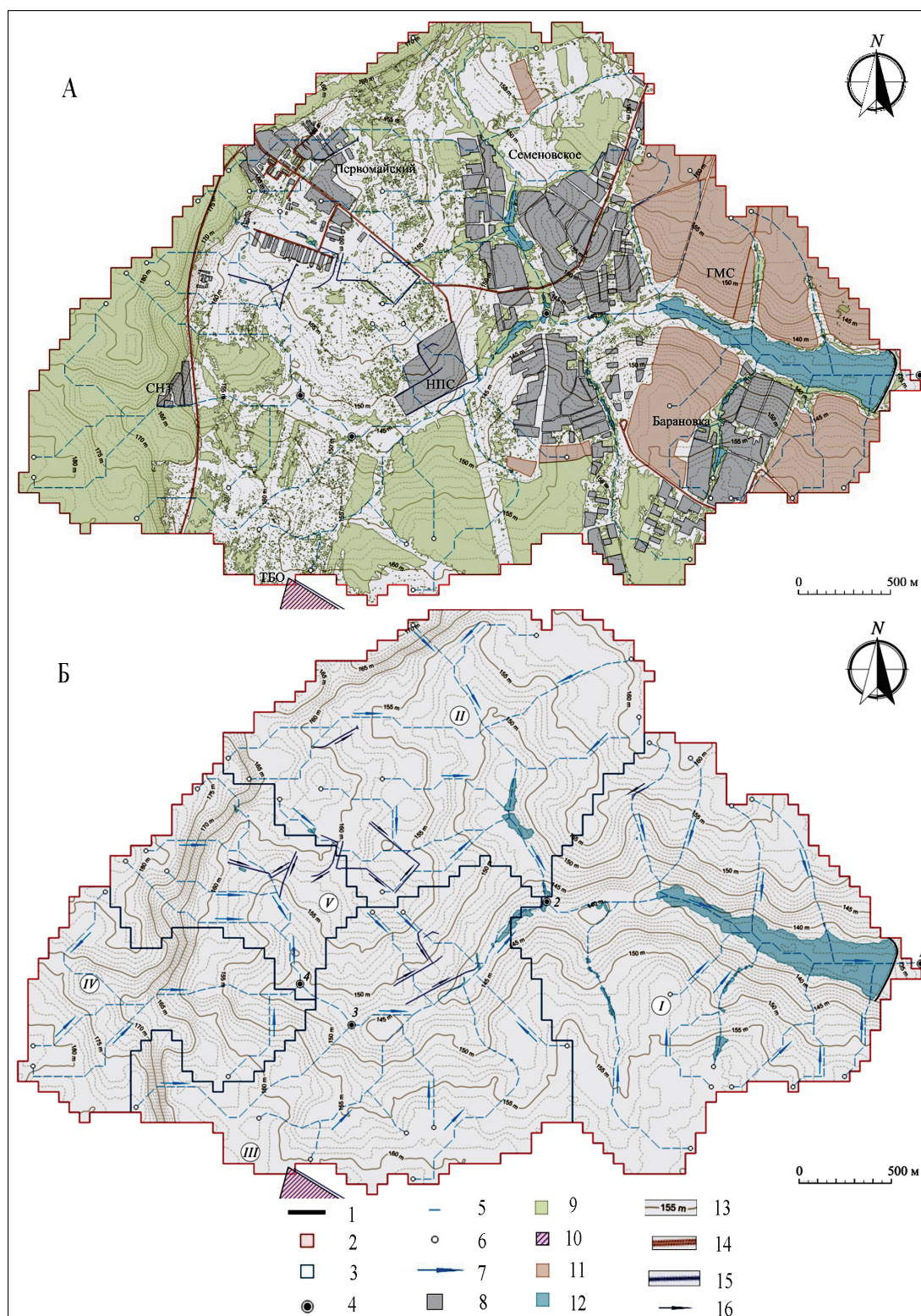


Рис. 1. Карта расположения объекта исследования (А) и ЦМР с границами частных водосборов (Б):

1 – гидротехническое сооружение (плотина); 2 и 3 – границы водосборной площади и частных водосборов (I...V – их номера); 4 – створы (I...4 – их номера); 5 и 6 – временные ручьи, водотоки и их истоки; 7 – направление движения поверхностного стока; 8 – застройка; 9 – площади, покрытые лесом; 10 – полигон ТБО; 11 – сельскохозяйственные угодья; 12 – площади, покрытые водой; 13 – горизонталы поверхности земли с отметками; 14 – дороги; 15 и 16 – дренажные каналы и направление движения воды в них

Fig. 1. Location of studied objects (A) and digital terrain model with private catchment area borders (Б): 1 – hydraulic structure (dam); 2 and 3 – catchment area boundary and private catchment area borders (I...V – their numbers); 4 – hydrologic cross sections (I...4 – their numbers); 5 and 6 – temporary streams and watercourses and their source; 7 – direction of movement of surface runoff; 8 – building; 9 – areas covered with forest and trees; 10 – solid waste landfill; 11 – agricultural lands; 12 – areas covered with water; 13 – ground contours with elevations in meters; 14 – roads; 15 and 16 – drainage canals and the direction of water movement in them

Среди *мезофитов* – индикаторов средней степени увлажнения почв чаще всего встречаются молочай острый (*Euphorbia esula*), хвощ полевой (*Equisetum arvense*), зюзник европейский (*Lycopus europaeus*), подмаренник мягкий (*Galium mollugo*). Их местообитание приурочено к незатопляемому побережью.

Важным элементом рельефа котловины водного объекта является береговая зона, которая в зависимости от площади зеркала, интенсивности абразии, эрозии и других гидрологических процессов состоит из берегового уступа, побережья и отмели. Последние два структурных элемента составляют литораль, как правило, ограничивающую развитие прибрежно-водной растительности.



Рис. 2. Прибрежная полоса пруда: 1 – гидрофиты; 2 – гигрогелофиты; 3 – гигрофиты; 4 – мезофиты

Fig. 2. Pond coastal strip: 1 – hydrophytes; 2 – hygrophelophytes; 3 – hygrophytes; 4 – mesophytes

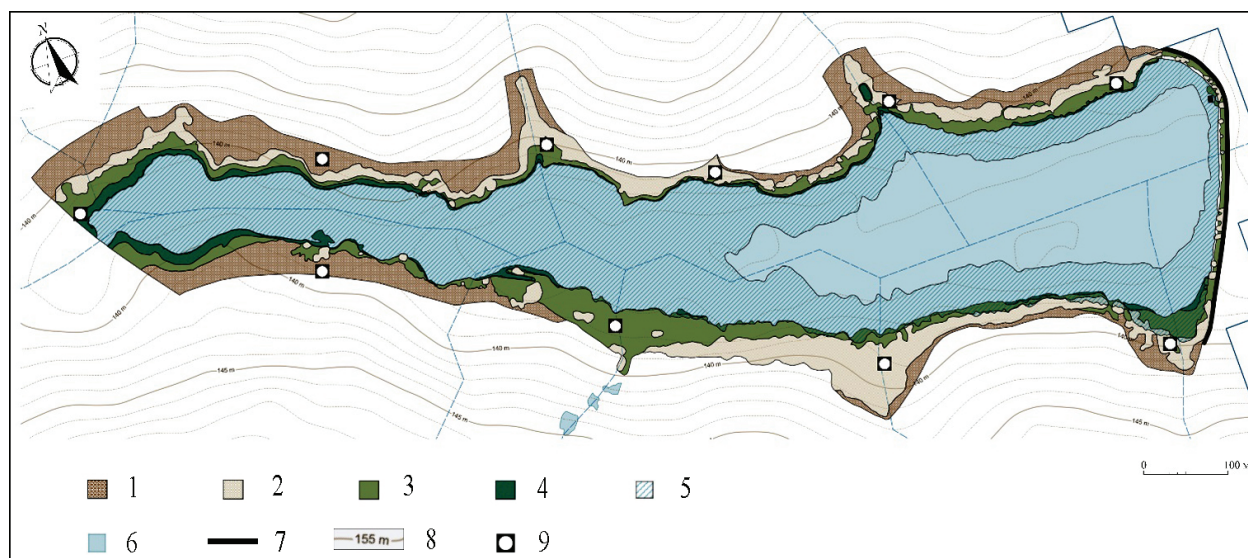


Рис. 3. Схема зонирования прибрежной части пруда: 1 – мезофиты; 2 – гигрофиты; 3 – гигрогелофиты; 4 – гидрофиты; 5 – литораль (мелководье); 6 – профундаль; 7 – гидротехническое сооружение (плотина); 8 – горизонтали поверхности Земли с отметками; 9 – точки геоботанических описаний

Fig. 3. Zoning scheme of macrophyte ecotypes: 1 – mesophytes; 2 – hygrophytes; 3 – hygrophelophytes; 4 – hydrophytes; 5 – littoral; 6 – profundal zone; 7 – hydraulic structure (dam); 8 – ground contours with elevations in meters; 9 – location of geobotanical descriptions

Исследования показали, что высшая растительность Семеновского пруда, представленная группировками тростника, рогоза, манника, камыша, размещается по фрагментарно-микрораспределению

типу в зависимости от экологических условий. На рисунке 3 приведена схема зонирования прибрежной части пруда. Картографирование выполнено путем экстраполяции данных геоботанического

обследования. Площадь покрытия мезофитов составила 4,57 га, гигрофитов – 4,13 га, гигрогелофитов – 3,40 га, гидрофитов – 1,04 га. Необходимо отметить, что гигрогелофиты и гидрофиты тяготеют к литорали. Так, в нижней части котловины водоема зоны сравнительно узкие, в то время как вверх по течению безымянной речки ширина этих зон увеличивается по мере уменьшения расстояния между противоположными берегами пруда. Такие формы рельефа дна в целом характерны для водоемов овражно-балочного типа. Однако, значительная площадь литорали (65,2%) в правой половине пруда обуславливает существенный риск зарастания этой части макрофитами.

Как показали полевые исследования, флористический состав видов-индикаторов сапробности исследуемого водоема не отличается фито-разнообразием и насчитывает 12 видов из списка таксонов, используемых для расчета индекса сапробности *MIR*. Необходимо отметить, что не все они являются доминантами. Согласно методике, достоверные результаты, характеризующие степень сапробности природных вод, можно получить проанализировав 5 таксонов, но для получения точных данных нужно учесть не менее 10 таксонов-индикаторов. Авторами в расчете было использовано 12 видов (табл.).

Таблица

Количественные и качественные показатели макрофитов

| Вид-индикатор | Экотип | L_i | W_i | P_i % | MIR_i |
|----------------------------|--------------|-------|-------|---------|---------|
| <i>Thypha latifolia</i> | Гигрогелофит | 2 | 2 | 5 | 20 |
| <i>Lemna minor</i> | Гидрофит | 2 | 2 | 4 | 20 |
| <i>Lemna trisulca</i> | Гидрофит | 4 | 2 | 5 | 40 |
| <i>Lysimachia vulgaris</i> | Гигрофит | 4 | 1 | 2 | 40 |
| <i>Polygonum amphibium</i> | Гигрогелофит | 4 | 1 | 1 | 40 |
| <i>Scirpus lacustris</i> | Гигрофит | 4 | 2 | 2 | 40 |
| <i>Butomus umbellatus</i> | Гигрогелофит | 5 | 2 | 1 | 50 |
| <i>Carex acuta</i> | Гигрогелофит | 5 | 1 | 1 | 50 |
| <i>Glyceria fluitans</i> | Гигрогелофит | 5 | 2 | 3 | 50 |
| <i>Elodea canadensis</i> | Гидрофит | 5 | 2 | 5 | 50 |
| <i>Oenanthe aquatic</i> | Гигрогелофит | 5 | 1 | 1 | 50 |
| <i>Spirodela polyrriza</i> | Гидрофит | 5 | 1 | 3 | 50 |

Расчеты индекса *MIR* производились по формуле, приведенной в методах исследования, представляющей собой средневзвешенное для данного водоема значение индексов MIR_i для каждого вида-индикатора, характеризующие «вклад» отдельного растения в сапробность. Значения MIR_i ранжированы в соответствии с индикаторным значением L_i для i -го таксона. Было установлено, что согласно индикаторной роли макрофитов, трофический статус Семеновского пруда равен 38 единицам, что соответствует α -мезосапробной зоне по системе сапробности Кольквитца и Марссона [Зуева и др., 2019]. Для этой зоны характерно присутствие свободного кислорода, но из-за особенностей протекающих биохимических процессов и распада органических соединений образуется аммиак и углекислота. Ил в условиях неполного окисления органики приобретает серую окраску. Вода пруда используется в мелиоративных целях. Необходимо отметить, что в

пределах одного водоема выделяются зоны с разной степенью сапробности [Шитиков и др., 2003]. Чаще всего, как отмечается упомянутыми исследователями, это является естественным свойством водоема. Установленная по результатам расчета индекса *MIR* α -мезосапробная зона характерна именно для прибрежной части пруда. На отмелях активно идут процессы зарастания водоема, связанные в том числе с его естественным старением. В то же время расчеты морфометрических показателей указывают на значительную открытость водоема, оцениваемую по соотношению площади зеркала F к средней глубине h_{cp} . Этот показатель составляет для Семеновского пруда 0,118 км²/м. То есть имеет место поступление некоторого количества кислорода в результате ветрового перемешивания толщи воды. Авторы ежегодно фиксируют цианобактериальное цветение воды как следствие присутствия в воде соединений азота и фосфора, причинами поступления

которых является хозяйственно-бытовая деятельность на водосборе. С другой стороны, загрязнение воды альготоксинами, в частности микроцистинами (цианогинозинами), выделяемыми цианобактериями в процессе жизнедеятельности, является важным маркером плохого качества и непригодности водных ресурсов для водоснабжения (в том числе сельскохозяйственного и ирригационного) [Saqrane, Oudraet, 2009; Сиделев, Бабаназарова, 2020]. Некоторые исследования также указывают на угнетающее воздействие цианотоксинов на рост и развитие сельскохозяйственных культур [Corbel et al., 2014; Weralupitiya et al., 2022]. Отмечается также важность мониторинга содержания основных цианотоксинов в ирригационных водах и подчеркивается необходимость пересмотра критериев качества вод для повышения эффективности управления сельскохозяйственными водными ресурсами [Sivarajah et al., 2021]. Согласно проведенным исследованиям, существенная площадь литорали (см. рис. 3) также может быть причиной цианобактериального цветения. При нормативном подпорном уровне площадь литорали составляет 65,2% (0,139 км²). Транзитные воды с водосбора не обеспечивают достаточное перемешивание воды, причем ее движение в конце вегетационного периода ограничено из-за нерегулируемого шахтного водосброса и отсутствия попусков в нижний бьеф. В результате на литорали повышается температура воды и концентрируются биогенные элементы, которые вместе создают усло-

вия для развития прокариот. Происходит это несмотря на морфометрическую особенность данного водоема – высокую открытость и большую площадь водного зеркала.

ВЫВОДЫ

В результате изучения экологического состояния пруда с применением метода расчета биотического индекса по индикаторным свойствам отдельных видов макрофитов установлено, что его трофический статус соответствует α -мезосапробной зоне. Цианобактериальное цветение воды обусловлено отсутствием большую часть года транзитного тока воды в нижний бьеф, замедлением водообмена, поступлением биогенных элементов с водосбора и повышенной температурой воды на литорали. Большая площадь последней (65,2%) обеспечивает благоприятные условия для развития макрофитов и как следствие высокую вероятность зарастания водоема. В совокупности эти факторы обуславливают высокие риски для дальнейшей безопасной эксплуатации мелиоративного пруда, как для регулирования местного стока, так и для использования в ирригационных целях. Согласно схеме зонирования прибрежной части пруда, мезофиты занимают 4,57 га площади, гигрофиты – 4,13 га, гигрогелофиты – 3,40 га, гидрофиты – 1,04 га. Установлено, что высшая растительность размещается по фрагментарно-микротяпскому типу в зависимости от фактора увлажнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бакаева Е.Н., Никаноров А.М. Гидробионты в оценке качества вод суши. М.: Наука, 2006. 240 с.
- Зуева Н.В., Алексеев Д.К., Куличенко А.Ю. и др. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учеб. пособие. СПб.: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2019. 140 с.
- Биоиндикация: теория, методы, приложения / под ред. Г.С. Розенберга. Тольятти: Интер-Волга, 1994. 266 с.
- Булгаков Д.В., Гжибовский С.А. Область безопасности гидротехнических сооружений, закрепленная в нормативно-правовых актах Российской Федерации // Экология и строительство. 2024. № 1. С. 9–16. DOI: 10.35688/2413-8452-2024-01-002.
- Зверьков М.С., Смелова С.С., Ахытрский С.А. Анализ данных батиметрической съемки и оценка некоторых морфометрических характеристик пруда мелиоративного назначения с использованием инструментов QGIS и SAGA GIS // International agricultural journal. 2024. Т. 67, № 6. С. 1–15. DOI: 10.55186/25880209_2024_8_6_29.
- Зуева Н.В., Бобров А.А. Использование макрофитов в оценке экологического состояния малой реки (на примере р. Охта, г. Санкт-Петербург) // Биология внутренних вод. 2018. № 1. С. 45–54. DOI: 10.7868/S0320965218010060.
- Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л.: Наука, 1981. 187 с.
- Кригер Н.И., Копосов Е.В. История долин бассейна реки Оки: монография. Н. Новгород: Нижегородская архитектурно-строительная академия, 1996. 340 с.
- Куприянов С.В. Географические исследования природы бассейна малой реки (на примере бассейна реки Репинки). Коломна: Коломенский пед. ин-т, 1995. 101 с.
- Решетняк О.С., Гришанова Ю.С. Многолетние и сезонные изменения развития фитопланктона и оценка состояния реки Ока в районе г. Дзержинска // Вода: химия и экология. 2016. № 3(93). С. 14–21.
- Логинов В.В., Минина Л.М., Кривдина Т.В. и др. Оценка трофности устьевых участков Оки на основании современных абиотических и биотических показателей водных масс // Norwegian journal of development of the international science. 2021. № 54. С. 13–27.
- Панченков В.Г. О классификации макрофитов водоемов и водной растительности // Экология. 1985. № 6. С. 8–13.
- Ресурсы и проблемы безопасности мелиоративной отрасли АПК России на современном этапе / Г.В. Ольгаренко, А.А. Угрюмова, О.Ю. Гришаева [и др.]. М.: Русайнс, 2023. 228 с.

- Савицкая К.Л. Оценка экологического состояния малых рек на основе биологического индекса макрофитов // Вестн. Белорусского гос. ун-та. Серия 2: Химия. Биология. География. 2014. № 3. С. 22–27.
- Савосин Е.С., Савосин Д.С. Особенности зообентоса мезогумусных озер Республики Карелия, находящихся в естественном состоянии // Биология внутренних вод. 2023. № 2. С. 233–242. DOI: 10.31857/S0320965223020213.
- Савушкин С.С., Гжибовский С.А. К вопросу эксплуатации гидротехнических сооружений мелиоративного комплекса // Экология и строительство. 2021. № 2. С. 22–28. DOI: 10.35688/2413-8452-2021-02-002.
- Семерной В.П. Санитарная гидробиология. Ярославль: Ремдер, 2002. 147 с.
- Сиделев С.И., Бабаназарова О.В. Обнаружение цианобактериальных токсинов в источниках водоснабжения и водопроводной воде некоторых городов России: поиск продуцентов и апробация методов удаления // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 2. С. 218–229. DOI: 10.31857/S0321059620020182.
- Смелова С.С., Лобанова Е.А., Прокофьев В.В. О месторасположении истока реки Репинки в Коломне // Экология и строительство. 2018. № 1. С. 14–20. DOI: 10.24411/2413-8452-2018-00003.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
- Akinawo S.O. Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies, *Environmental Challenges*, 2023, vol. 12, DOI: 10.1016/j.envc.2023.100733.
- Bytyçi P., Shala-Abazi A., Zhushi-Etemi F. et al. The Macrophyte Indices for Rivers to Assess the Ecological Conditions in the Klina River in the Republic of Kosovo, *Plants*, 2022, vol. 11, 1469. DOI: 10.3390/plants11111469.
- Chen S.S., Kimirei I.A., Yu C. et al. Assessment of urban river water pollution with urbanization in East Africa, *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, vol. 29, p. 40812–40825, DOI: 10.1007/s11356-021-18082-1.
- Corbel S., Mougin C., Bouaïcha N. Cyanobacterial toxins: modes of actions, fate in aquatic and soil ecosystems, phytotoxicity and bioaccumulation in agricultural crops, *Chemosphere*, 2014, vol. 96, p. 1–15, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.07.056.
- Dulić Z., Poleksić V., Rašković B. et al. Assessment of the water quality of aquatic resources using biological methods, *Desalination and Water Treatment*, 2009, vol. 11, iss. 1–3, p. 264–274, DOI: 10.5004/dwt.2009.861.
- Grzybowski M., Burandt P., Glińska-Lewczuk K. et al. Response of Macrophyte Diversity in Coastal Lakes to Watershed Land Use and Salinity Gradient, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19(24), 16620, DOI: 10.3390/ijerph192416620.
- Islam S.T., Bhat S.U., Sabha I. et al. Comprehensive Assessment of Trophic Status and Chlorophyll-a Dynamics in the Jhelum River Basin: Implications for River Ecosystem Management, *International Journal of Environmental Research*, 2025, vol. 19, 48, DOI: 10.1007/s41742-024-00705-3.
- Melzer A. Aquatic macrophytes as tools for lake management, *Hydrobiologia*, 1999, vol. 395, p. 181–190, DOI: 10.1023/A:1017001703033.
- Najafzadeh M., Ahmadi-Rad E.S., Gebler D. Ecological states of watercourses regarding water quality parameters and hydromorphological parameters: deriving empirical equations by machine learning models, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2024, vol. 38, p. 665–688, DOI: 10.1007/s00477-023-02593-z.
- Petrov D.S., Korotaeva A.E., Pashkevich M.A. et al. Correction to: Assessment of heavy metal accumulation potential of aquatic plants for bioindication and bioremediation of aquatic environment, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2023, vol. 195, no. 3, p. 374, DOI: 10.1007/s10661-023-10976-6.
- Philippov D.A., Ivicheva K.N., Makarenkova N.N. et al. Biodiversity of macrophyte communities and associated aquatic organisms in lakes of the Vologda Region (north-western Russia), *Biodiversity Data Journal*, 2022, vol. 10, p. 77626, DOI: 10.3897/BDJ.10.E77626.
- Sagrane S., Oudra B. CyanoHAB occurrence and water irrigation cyanotoxin contamination: ecological impacts and potential health risks, *Toxins*, 2009, vol. 1(2), p. 113–22, DOI: 10.3390/toxins1020113.
- Smelova S.S., Zverkov M.S. Changes in Floristic Composition of Meadow Phytocenoses on the Anthropogenically Eroded Slope, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, p. 012010, DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012010.
- Shumka S., Shumka L., Špoljar M. et al. Evidence of Climate Change and the Conservation Needed to Halt the Further Deterioration of Small Glacial Lakes, *Climate*, 2024, vol. 12(8), 124, DOI: 10.3390/cli12080124.
- Sivarajah B., Simmatis B., Favot E.J. et al. Eutrophication and climatic changes lead to unprecedented cyanobacterial blooms in a Canadian sub-Arctic landscape, *Harmful Algae*, 2021, vol. 105, 102036, DOI: 10.1016/j.hal.2021.102036.
- Szozskiewicz K., Zbierska J., Jusik S. et al. Makrofitowa Metoda Oceny Rzek. Podręcznik metodyczny do oceny i klasyfikacji stanu ekologicznego wód płynących w oparciu o rośliny wodne. Bo gucki Wydawnictwo Naukowe, 2010, Poznań, 82 s.
- Trajanovska S., Talevska M., Imeri A. et al. Assessment of littoral eutrophication in Lake Ohrid by submerged macrophytes, *Biologia*, 2014, vol. 69, p. 756–764, DOI: 10.2478/s11756-014-0365-9.
- Weralupitiya C., Wanigatunge R.P., Gunawardana D. et al. Cyanotoxins uptake and accumulation in crops: phytotoxicity and implications on human health, *Toxicon*, 2022, vol. 211, p. 21–35, DOI: 10.1016/j.toxicon.2022.03.003.
- Yuan J., Cao Z., Ma J. et al. Influence of climate extremes on long-term changes in cyanobacterial blooms in a eutrophic and shallow lake, *Science of The Total Environment*, 2024, vol. 939, 173601, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173601.
- Zeng S., Sun H., Liu Z. et al. Changes in the limiting nutrients and dominant phytoplankton communities of three major European rivers: response to catchment lithologies and human activities, *Journal of Hydrology*, 2024, vol. 637, 131362, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.131362.

Поступила в редакцию 11.03.2025

После доработки 10.06.2025

Принята к публикации 28.08.2025

ASSESSMENT OF THE TROPHIC STATUS OF A RECLAMATION POND BY THE FLORISTIC COMPOSITION OF MACROPHYTES

M.S. Zverkov¹, S.S. Smelova²

^{1,2} All-Russian Scientific Research Institute "Raduga", Kolomna

¹ Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Engineering; e-mail: mzverkov@bk.ru

² Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Biology, Associate Professor; e-mail: smelova_svetlana@mail.ru

The study is focused on the trophic status assessment of a reclamation pond using the floristic composition of coastal-aquatic vegetation. The most popular phytoindication methods, both descriptive and efficient, are those calculating the biotic index of freshwater ecosystems basing on the species composition of macrophytes. The method is based on assigning a bioindicative value, i.e. "trophic rank of species", to the macrophytes. The water body is located within the territory of Kolomna urban district of the Moscow region. The catchment area is 1038,82 hectares; natural vegetation covers an area of 336,08 hectares (32,4%), water bodies – 25,53 hectares (2,5%), agricultural lands – 132,51 hectares (12,8%). The results of geobotanical survey and the remote sensing data suggested a fragmentary-microbelt type of location of the higher plants: mesophytes occupy 4,57 ha, hygrophytes – 4,13 ha, hygrogelophytes – 3,40 ha, and hydrophytes – 1,04 ha. The floristic composition of saprobity indicating species was analyzed to show that the trophic status of the pond is α -mesosaprobic. The large area (65,2%) of the pond's littoral makes the macrophytes overgrowing highly possible. Water blooming caused by cyanobacteria is characteristic of the pond as a result of water stagnation in the absence of water transition to the downstream pool, input of biogenic elements from the catchment area and increasing water temperature on the littoral. The study shows that a complex of factors can be triggers for changing the environmental situation in the pond. In common they pose high risks for the further safe operation of the reclamation pond, both for regulating local runoff and for irrigation use. The information obtained is important for assessing the environmental consequences of changing state of reclamation facilities and developing a strategy for the management of life cycle of similar hydraulic structures. The procedure presented in the study could be adapted to study the trophic status of other aquatic ecosystems, contributing to better prediction and management of ecological risks in the amelioration branch of agriculture.

Keywords: phytoindication, saprobity, pond, remote sensing data, micro-belt type of location, catchment area

REFERENCES

- Akinawo S.O. Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies, *Environmental Challenges*, 2023, vol. 12, DOI: 10.1016/j.envc.2023.100733.
- Bakaeva E.N., Nikanorov A.M. *Gidrobionty v otsenke kachestva vod sushi* [Hydrobionts in assessing the quality of land waters], Moscow, Nauka Publ., 2006, 240 p. (In Russian)
- Bioindikatsiya: teoriya, metody, prilozheniya* [Bioindication: theory, methods, applications], G.S. Rozenberg (ed.), Tol'yatti, Inter-Volga Publ., 1994, 266 p. (In Russian)
- Bulgakov D.V., Gzhibovskij S.A. Oblast bezopasnosti gidrotehnicheskikh sooruzhenij zakreplennaya v normativno-pravovykh aktah Rossijskoj Federatsii [The area of safety of hydraulic structures specified in Russian Federation regulations], *Ekologiya i stroitelstvo*, 2024, no. 1, p. 9–16, DOI: 10.35688/2413-8452-2024-01-002. (In Russian)
- Bytyci P., Shala-Abazi A., Zhushi-Etemi F. et al. The Macrophyte Indices for Rivers to Assess the Ecological Conditions in the Klina River in the Republic of Kosovo, *Plants*, 2022, vol. 11, 1469, DOI: 10.3390/plants11111469.
- Chen S.S., Kimirei I.A., Yu C. et al. Assessment of urban river water pollution with urbanization in East Africa, *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, vol. 29, p. 40812–40825, DOI: 10.1007/s11356-021-18082-1.
- Corbel S., Mougin C., Bouaïcha N. Cyanobacterial toxins: modes of actions, fate in aquatic and soil ecosystems, phytotoxicity and bioaccumulation in agricultural crops, *Chemosphere*, 2014, vol. 96, p. 1–15, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.07.056.
- Dulić Z., Poleksić V., Rašković B. et al. Assessment of the water quality of aquatic resources using biological methods, *Desalination and Water Treatment*, 2009, vol. 11, iss. 1–3, p. 264–274, DOI: 10.5004/dwt.2009.861.
- Grzybowski M., Burandt P., Glińska-Lewczuk K. et al. Response of Macrophyte Diversity in Coastal Lakes to Watershed Land Use and Salinity Gradient, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19(24), 16620, DOI: 10.3390/ijerph192416620.
- Islam S.T., Bhat S.U., Sabha I. et al. Comprehensive Assessment of Trophic Status and Chlorophyll-a Dynamics in the Jhelum River Basin: Implications for River Ecosystem Management, *International Journal of Environmental Research*, 2025, vol. 19, 48, DOI: 10.1007/s41742-024-00705-3.
- Katanskaya V.M. *Vysshaya vodnaya rastitel'nost' kontinental'nykh vodoemov SSSR. Metody izucheniya* [Higher aquatic vegetation of continental water bodies of the USSR. Methods of study], Leningrad, Nauka Publ., 1981, 187 p. (In Russian)
- Kruger N.I., Koposov E.V. *Istoriya dolin basseina reki Oki: monografiya* [History of the valleys of the Oka River basin: monograph], N. Novgorod, Nizhegorodskaya arkhitekturno-stroitel'naya akademiya Publ., 1996, 340 s. (In Russian)

- Kupriyanov S.V. *Geograficheskie issledovaniya prirody basseina maloi reki /na primere basseina reki Repinki* [Geographical studies of the nature of a small river basin (case study of the Repinka River basin)], Kolomna, Kolomenskii ped.in-t Publ., 1995, 101 s. (In Russian)
- Loginov V.V., Minina L.M., Krivdina T.V. et al. Otsenka trofnosti ust'evogo uchastka Oki na osnovanii sovremennykh abioticheskikh i bioticheskikh pokazatelei vodnykh mass [Trophic assessment of the Oka estuary area on the basis of modern data on abiotic and biotic indicators of water masses], *Norwegian journal of development of the international science*, 2021, no. 54-1, p. 13–27. (In Russian)
- Melzer A. Aquatic macrophytes as tools for lake management, *Hydrobiologia*, 1999, vol. 395, p. 181–190, DOI: 10.1023/A:1017001703033.
- Najafzadeh M., Ahmadi-Rad E.S., Gebler D. Ecological states of watercourses regarding water quality parameters and hydromorphological parameters: deriving empirical equations by machine learning models, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2024, vol. 38, p. 665–688, DOI: 10.1007/s00477-023-02593-z.
- Papchenkov V.G. O klassifikatsii makrofitov vodoemov i vodnoi rastitel'nosti [On the classification of macrophytes of water bodies and aquatic vegetation], *Ekologiya*, 1985, no. 6, p. 8–13. (In Russian)
- Petrov D.S., Korotaeva A.E., Pashkevich M.A. et al. Correction to: Assessment of heavy metal accumulation potential of aquatic plants for bioindication and bioremediation of aquatic environment, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2023, vol. 195, no. 3, p. 374, DOI: 10.1007/s10661-023-10976-6.
- Philippov D.A., Ivicheva K.N., Makarenkova N.N. et al. Biodiversity of macrophyte communities and associated aquatic organisms in lakes of the Vologda Region (north-western Russia), *Biodiversity Data Journal*, 2022, vol. 10, p. 77626, DOI: 10.3897/BDJ.10.E77626.
- Reshetnyak O.S., Grishanova Yu.S. Mnogoletnie i sezonnye izmeneniya razvitiya fitoplanktona i otsenka sostoyaniya reki Oka v raione g. Dzerzhinsk [Long-term and seasonal changes in phytoplankton development and assessment of the state of the Oka River in the town of Dzerzhinsk area], *Voda: khimiya i ekologiya*, 2016, no. 3(93), p. 14–21. (In Russian)
- Resursy i problemy bezopasnosti meliorativnoi otrasli APK Rossii na sovremennom etape [Resources and security issues of the melioration sector of the Russian agro-industrial complex at the present time], G.V. Ol'garenko, A.A. Ugryumova, O.Yu. Grishaeva et al. (eds.), Moscow, Rusains Ltd. Publ., 2023, 228 p. (In Russian)
- Saqrane S., Oudra B. CyanoHAB occurrence and water irrigation cyanotoxin contamination: ecological impacts and potential health risks, *Toxins*, 2009, vol. 1(2), p. 113–22, DOI: 10.3390/toxins1020113.
- Savitskaya K.L. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya mal'nykh rek na osnove biologicheskogo indeksa makrofitov [Assessment of the ecological state of small rivers based on the biological index of macrophytes], *Vestn. Belorusskogo gos. un-ta, Ser. 2, Khimiya. Biologiya. Geografiya*, 2014, no. 3, p. 22–27. (In Russian)
- Savosin E.S., Savosin D.S. Osobennosti zoobentosa mezogumusnykh ozer Respubliki Kareliya, nakhodyashchikhsya v estestvennom sostoyanii [Features of zoobenthos of mesohumus lakes of the Republic of Karelia in a natural state], *Biologiya vnutrennykh vod*, 2023, no. 2, p. 233–242, DOI: 10.31857/S0320965223020213. (In Russian)
- Savushkin S.S., Gzhibovskii S.A. K voprosu ekspluatatsii gidrotehnicheskikh sooruzhenij meliorativnogo kompleksa [On the issue of operation of hydraulic structures of the melioration complex], *Ekologiya i stroitel'stvo*, 2021, no. 2, p. 22–28, DOI: 10.35688/2413-8452-2021-02-002. (In Russian)
- Semernoi V.P. *Sanitarnaya gidrobiologiya* [Sanitary hydrobiology], Yaroslavl', Remder Publ., 2002. 147 p. (In Russian)
- Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii* [Quantitative hydroecology: methods of system identification], Tol'yatti, IEV RAN Publ., 2003, 463 p. (In Russian)
- Shumka S., Shumka L., Špoljar M. et al. Evidence of Climate Change and the Conservation Needed to Halt the Further Deterioration of Small Glacial Lakes, *Climate*, 2024, vol. 12(8), 124, DOI: 10.3390/cli12080124.
- Sidelev S.I., Babanazarova O.V. Detection of Cyanobacterial Toxins in Water Supply Sources and Tap Water in Some Russian Cities: Searching Producers and Testing Removal Methods, *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 2, p. 304–314, DOI: 10.1134/S0097807820020189.
- Sivarajah B., Simmatis B., Favot E.J. et al. Eutrophication and climatic changes lead to unprecedented cyanobacterial blooms in a Canadian sub-Arctic landscape, *Harmful Algae*, 2021, vol. 105, 102036, DOI: 10.1016/j.hal.2021.102036.
- Smelova S.S., Lobanova E.A., Prokof'ev V.V. O mestoraspologhenii istoka reki Repinki v Kolomne [About the location of the source of the Repinka River in Kolomna], *Ekologiya i stroitel'stvo*, 2018, no. 1, p. 14–20, DOI: 10.24411/2413-8452-2018-00003. (In Russian)
- Smelova S.S., Zverkov M.S. Changes in Floristic Composition of Meadow Phytocenoses on the Anthropogenically Eroded Slope, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, p. 012010, DOI: 10.1088/1755-1315/720/1/012010.
- Szoszkiewicz K., Zbierska J., Jusik S. et al. *Makrofitowa Metoda Oceny Rzek*. Podrecznik metodyczny do oceny i klasyfikacji stanu ekologicznego wo'd plynacych w oparciu o ros'liny wodne. Bo gucki Wydawnictwo Naukowe, 2010, Poznan, 82 s.
- Trajanovska S., Talevska M., Imeri A. et al. Assessment of littoral eutrophication in Lake Ohrid by submerged macrophytes, *Biologia*, 2014, vol. 69, p. 756–764, DOI: 10.2478/s11756-014-0365-9.
- Weralupitiya C., Wanigatunge R.P., Gunawardana D. et al. Cyanotoxins uptake and accumulation in crops: phytotoxicity and implications on human health, *Toxicon*, 2022, vol. 211, p. 21–35, DOI: 10.1016/j.toxicon.2022.03.003.
- Yuan J., Cao Z., Ma J. et al. Influence of climate extremes on long-term changes in cyanobacterial blooms in a eutrophic and shallow lake, *Science of the Total Environment*, 2024, vol. 939, 173601, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.173601.
- Zeng S., Sun H., Liu Z. et al. Changes in the limiting nutrients and dominant phytoplankton communities of three major European rivers: response to catchment lithologies and human activities, *Journal of Hydrology*, 2024, vol. 637, 131362, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.131362.

- Zueva N.V., Alekseev D.K., Kulichenko A.Yu. et al. *Bioindikatsiya i biotestirovanie v presnovodnykh ekosistemakh: uchebnoe posobie* [Bioindication and Biotesting in Freshwater Ecosystems], Sankt-Peterburg: Russian State Hydrometeorological University Publ., 2019, 140 p. (In Russian)
- Zueva N.V., Bobrov A.A. Ispol'zovanie makrofitov v otsenke ekologicheskogo sostoyaniya maloi reki (na primere r. Okhta, g. Sankt-Peterburg) [Use of macrophytes in assessing the ecological state of a small river (case study of the Okhta River, St. Petersburg)], *Biologiya vnutrennikh vod*, 2018, no. 1, p. 45–54, DOI: 10.7868/S0320965218010060. (In Russian)
- Zverkov M.S., Smelova S.S., Akhytrsky S.A. Analiz dannyh batinetricheskoy c'emki i otsenka nekotoryh morfometricheskikh harakteristik pruda meliorativnogo naznacheniya s ispolzovaniem instrumentov QGIS i SAGA GIS [The analysis of bathymetric survey data and assessment of some morphometric characteristics of the reclamation pond using QGIS and SAGA GIS tools], *International agricultural journal*, 2024, vol. 67, no. 6, p. 1–15, DOI: 10.55186/25880209_2024_8_6_29. (In Russian)

Received 11.03.2025

Revised 10.06.2025

Accepted 28.08.2025

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. БОЛЬШОЙ КОКШАГИ

А.В. Исаев¹, Р.Н. Шарафутдинов², Г.А. Богданов³

^{1,3} Государственный природный заповедник «Большая Кокшага», научный отдел

² Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета

¹ Марийский государственный университет, Институт естественных наук и фармации

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

² Кафедра химии и экологии, доц., канд. биол. наук; e-mail: sharafrn@yandex.ru

³ Старший научный сотрудник; e-mail: gpzbbk@bk.ru

Приведены результаты исследований гранулометрического и элементного состава современных аллювиальных отложений среднего течения р. Большой Кокшаги. Показано, что они играют существенную роль в формировании почв лишь на меандрирующих участках русла в непосредственной близости от уреза воды (7–10 м), где масса наносов на прирусловом валу в разные годы составляет от 32 до 200 т/га. На расстоянии 25 м она снижается до 7,2 т/га, а на расстоянии 500 м редко превышает 100 кг/га. При побочном типе русловых процессов масса аллювия в прирусловой части поймы составляет не более 400 кг/га. Химический состав аллювия отражает влияние двух минерало-геохимических провинций (Центрально-Русской и Приуральской). Установлено, что аллювий фации прирусловых валов содержит большее количество Si, Na, Zr, Sr и Cr, приречной поймы – Al, Fe, K, Mg, Ti и As, внутренней поймы – Ca, P, Mn, S, Ni, Cu, Zn, Ba и Rb. В аллювиальных отложениях установлено шесть геохимических ассоциаций: Fe–Ca–Mn–S–P–Ba–Zn, Al–K–Mg–Ti–Cr, Si–Na–Zr, Fe–Mn–Ni–As, P–Cu и Sr–Rb. Поступление Si, Na, Sr и Zr связано с фракцией песка; Al, K, Mg, Ti и Ni – с илстой фракцией, а Fe, Ca, P, Mn, S, Ba и Zn – с пылеватой. Аллювиальные отложения обогащены ($EF > 1$) относительно почв элювиального ландшафта Марийского Полесья Fe, Ca, P, Mn, S и Zn (биогенный фактор поступления), Al, K, Mg, Ti и Cr (литогенный), а также Ni и Cu (хемогенный). В них накапливаются ($KK > 1,5$) Mn, P, As, Cu, Ni, Zn, S и Zr, рассеиваются ($KP > 1,5$) Al, K, Mg, Ca, Na, Rb, Ti и Sr, близки к величине кларка Fe, Ba и Cr. Концентрация элементов в аллювии превышает гигиенические нормативы (ПДК и ОДК) по S, Mn, As, Cu, Ni и Zn. Содержание химических элементов в аллювии можно считать приближенным к естественному (фоновому) уровню.

Ключевые слова: заповедник «Большая Кокшага», Fluvisols, химические элементы, кларки концентрации, геохимические ассоциации, коэффициент обогащения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.12

ВВЕДЕНИЕ

Познание структурно-функциональной организации ландшафта, представляющего собой «клеточку биосферы» [Перельман, Касимов, 1999], требует изучения каждого из его структурных компонентов, связи между которыми осуществляются в процессе миграции вещества, энергии и передачи информации. Одним из таких компонентов в суперкальных ландшафтно-геохимических системах являются современные аллювиальные отложения, образующиеся вследствие аккумуляции речных наносов на поверхности поймы. Их роль особенно четко проявляется в пределах пойменно-руслового комплекса, представляющего собой наиболее динамичную часть речной долины, которая чутко реагирует на все изменения природного и техногенного характера.

В настоящее время накоплен обширный литературный материал, раскрывающий вопросы формирования аллювия, особенности аккумуляции, его качественные и количественные характеристики: [Шанцер, 1966; Янин, 2002; Перевошиков, 2007; Du Laing et al., 2009; Ibragimow et al., 2010; Кривцов и др., 2015; Wang et al., 2015; Воробьев и др., 2021; Chougong et al., 2021], разработаны способы сбора: [Голосов, 2009; Nguyen, 2011; Кривцов и др., 2015]. Тем не менее, как отмечают некоторые исследователи, в меньшей степени освещены вопросы, связанные с геохимией аллювиального литогенеза [Янин, 2002], недостаточно работ, в которых задействованы прямые методы наблюдения за динамикой пойменного осадконакопления [Воробьев и др., 2021]. Многообразие природно-климатических условий, в которых происходит формирование речных на-

носов, и отсутствие подобных исследований на территории Республики Марий Эл подчеркивают актуальность нашей работы, целью которой является литолого-геохимическая характеристика современных аллювиальных отложений пойменной макрофазии и выявление их роли в формировании аллювиальных почв. Решены следующие задачи: 1) определены масса аллювия и его гранулометрический состав; 2) определено содержание валовых форм элементов, установлена их связь с гранулометрическим составом; 3) установлены геохимические ассоциации элементов, а также геохимическая специфика отложений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования явились современные аллювиальные отложения (взвешенные и влекомые наносы, переносимые рекой в период половодья) прирусловой и центральной частей поймы р. Большой Кокшаги в пределах территории одноименного заповедника. Подробная характеристика территории обследования, данные по элементному и гранулометрическому составу аллювиальных почв (Fluvisols) приведены в [Исаев, 2008; Isaev et al., 2023].

Протяженность р. Большой Кокшаги, которая является левым притоком р. Волги и берет начало в Кировской области, составляет 294 км. Литологическая основа ее бассейна в верхнем течении представлена покровными суглинками и глинами (Ярано-Кокшагская равнина) [Тюлин, 1976]. В пределах Республики Марий Эл протяженность реки составляет 156 км, а литологическая основа представлена мощной толщей древнеаллювиальных и современных аллювиальных песков и супесей (Марийское Полесье) [Смирнов, 1968]. Долина реки имеет хорошо выраженную двухстороннюю пойму шириной до 3 км и надпойменные террасы. Поверхность поймы неровная, грядово-западинная, заболоченная, прорезанная старицами. Основными типами русловых процессов являются побочный и свободное меандрирование.

Изучение элементного состава аллювия проводилось в течение шести лет (2017–2019, 2021–2023 гг.) на девяти временных пробных площадках (ВПП), заложенных в 2004–2005 гг. на типичном для среднего течения р. Большой Кокшаги участке меандрирующего русла, представляющего излучину, вогнутый, отступающий берег которой упирается в первую надпойменную террасу, сложенную песками четвертичного возраста (почвы – подзолы иллювиально-железистые – Folic Albic Podzols (Arenic)). ВПП расположены на профиле, пересекающем пойму реки перпендикулярно ее руслу в вершине меандра (рис. 1). ВПП 1–4 заложены в прирусловой части поймы на пологих вершинах гряд,

ширина которых варьирует от 5 до 25 м, расстояние от уреза воды в меженный период составляет 7, 25, 75 и 130 м соответственно, а высота над уровнем воды – от 1,5 (ВПП 3 и 4) до 2,5 м (ВПП 1 и 2). Почвенный покров представлен аллювиальными дерновыми кислыми слоистыми почвами (Eutric Fluvisols (Arenic)) легкого гранулометрического состава (связнопесчаные и легкосуглинистые). ВПП 5–9 заложены в центральной части поймы на участках с ровным рельефом на расстоянии от уреза воды 310, 460, 540, 650 и 720 м соответственно, высота над уровнем воды изменяется от 1,5 до 2 м. Почвы – аллювиальные луговые кислые средне- и тяжелосуглинистые (Gleyic Fluvisols (Clayic)). Растительность на ВПП 1 (прирусловой вал) представлена ассоциацией из костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), на ВПП 2 – ивняком, на остальных ВПП – дубово-липово-вязовыми древостоями.

С целью определения влияния типа руслового процесса на количественный и качественный состав аллювия дополнительно устанавливались седиментационные ловушки на двух ВПП на участке реки с побочным типом русловых процессов, где нет разрушения берегов – урочище Старый Перевоз (СП). Ловушки устанавливали на ровных участках прирусловой части поймы (СП 1 и СП 2) на расстоянии 10 и 60 м от уреза воды соответственно. Почвы – аллювиальные луговые кислые тяжелосуглинистые, древостой – дубово-липово-вязовый.

В качестве седиментационных ловушек использовали пластиковое щетинистое покрытие, нарезанное на сегменты размером 40×44 см и установленное на каждой ВПП зимой на расстоянии 5–7 м друг от друга. Применение подобных материалов хорошо зарекомендовало себя на практике [Nguyen, 2011]. Ловушки были уложены на очищенную от лесной подстилки поверхность почвы, закреплены колышками из нержавеющей стали. На ВПП 1 и 2 было установлено по одной седиментационной ловушке, на ВПП 3–9 – по три, а на СП 1 и 2 – по две. Ловушки в понижениях рельефа не устанавливались, так как при более длительном стоянии воды активно развиваются зеленые нитчатые водоросли, отделить в таком случае свежие наносы от органического материала не представляется возможным.

После окончания половодья седиментационные ловушки помещали в индивидуальные пакеты, в лабораторных условиях очищали от аллювия. Содержание валовых форм элементов и потерь при прокаливании (ППП) определяли в научно-исследовательском центре «ГеоЛаб» Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета с помощью рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного

спектрометра S8 Tiger (Bruker, Германия) по стандартизированной методике Geoquant® фирмы Bruker, ППП, согласно ГОСТ 23740–2016. Полученные минимальные значения содержания элементов не выходили за пределы чувствительности использованной аппаратуры. Гранулометрический состав определяли в лаборатории Набережночелнинского института

(филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета на лазерном анализаторе размеров частиц серии «Микросайзер 201С». Объем выборки для определения элементного состава составил 51 образец, гранулометрического – 26 образцов из-за небольшого количества аллювия, полученного с некоторых ВПП.

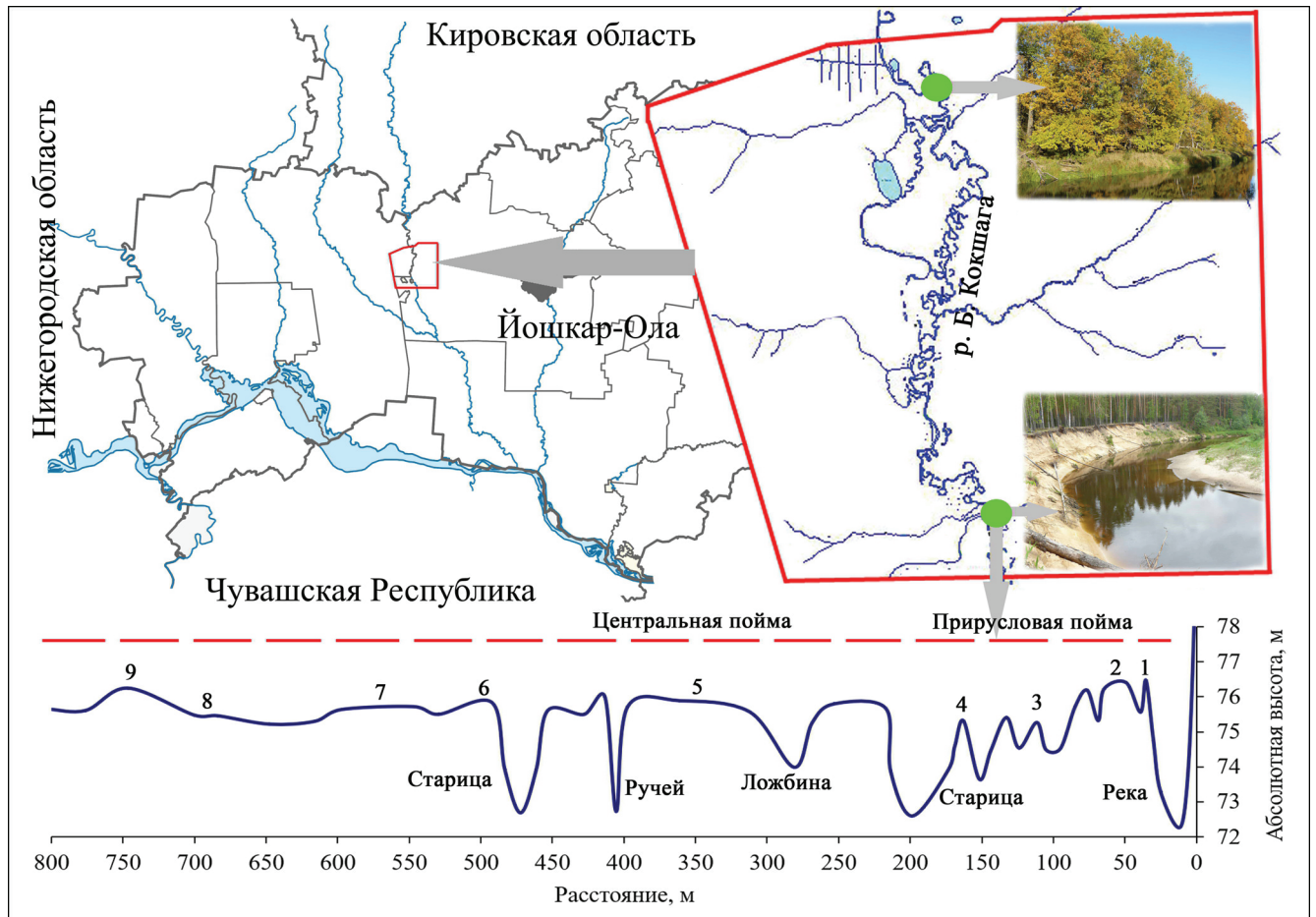


Рис. 1. Расположение заповедника «Большая Кокшага» на территории Республики Марий Эл (слева) с указанием мест сбора аллювиальных отложений (справа), выделенных кругами. Внизу приведен нивелирный профиль части поймы с номерами ВПП (1–9), где были заложены седиментационные ловушки, пунктирной линией отмечен среднегодовое половодье. СП – урочище Старый Перевоз

Fig. 1. Location of the Bolshaya Kokshaga Nature Reserve within the territory of the Republic of Mari El (on the left) with alluvial sediment collection sites (on the right) highlighted in circles. Below is a leveling profile of a part of the floodplain with runway numbers (1–9), where sedimentation traps were installed; the dotted line marks the average annual flood level. СП – the Staryi Perevoz urochishe

Для выявления геохимической специализации отложений рассчитывали кларк концентрации (КК) и кларк рассеяния (КР) согласно [Перельман, Касимов, 1999] с использованием значений кларков элементов верхней части континентальной земной коры, предложенных в работе [Касимов, Власов, 2015]. Также рассчитывали коэффициент обогащения (Enrichment factor EF) речных наносов относительно почв водораздельных пространств $EF = (C_i / C_{ref}) / (C_{i\text{почва}} / C_{ref\text{почва}})$,

равный отношению содержания i -го элемента (C_i) к нормирующему элементу (C_{ref}) в аллювии, к соотношению их в автономных почвах. Это позволило, во-первых, оценить отличие элементного состава аллювиальных отложений от элементного состава почв, слагающих бассейн среднего течения р. Большой Кокшаги и принимающих участие в их формировании. Такой подход широко применяется на практике [Sutherland, 2000; Zhang, Liu, 2002; Ollivier

et al., 2011 и др.]. Во-вторых, заложить основу для осуществления педогеохимического мониторинга наиболее динамичной трансупераквальной части задрового ландшафта заповедника. Данные по элементному составу почв взяты из [Демаков, Исаев, 2021]. В качестве нормирующего элемента использовали Al [Zhang, Liu, 2002; Ollivier et al., 2011; Касимов и др., 2025]. Так как общепринятых градаций EF не существует [Касимов и др., 2025], использовали следующую [Lee et al., 1997], в которой отражено как обогащение ($EF > 1$) элементами, так и истощение ($EF < 1$) ими относительно принятого фона. ПДК (ОДК) для валового содержания оценивались по следующим значениям: As 5, Mn 1500, S 160, Zn 100, Ni 40 и Cu 66 мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21].

Статистическую обработку данных провели с использованием пакета прикладных программ Excel и Statistica 6.0. Для сравнения содержания элементов в аллювии разных фаций проводили однофакторный дисперсионный анализ, возможность применения которого проверяли с помощью критерия Левена. Для оценки связи элементов в геохимических ассоциациях, а также с гранулометрическим составом, использовали коэффициент корреляции Спирмена (r_s), для оценки точности модели – коэффициент детерминации (R^2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Масса аллювиальных отложений. В условиях меандрирования масса наносов уменьшается при движении по профилю от русла реки: наибольшее количество наилка поступило на ВПП 1 и 2 – 77,9 и 7,2 т/га соответственно, на ВПП 3 – 543 кг/га, на ВПП 7, 8 и 9 менее 100 кг/га (табл. 1). Эту зависимость описывает следующее уравнение регрессии:

$Y = 6,26 \exp(-5,826 \cdot 10^{-3} \cdot X) + 4$; $R^2 = 0,858$, (1) где Y – масса аллювия (кг), выраженная в десятичных логарифмах; X – расстояние от русла, м. Количество аллювия, отложенного на участке реки с побочным типом русловых процессов (СП 1 и 2), сравнительно одинаково и схоже с таковым на ВПП 5 и 6, удаленных от русла реки на 320–430 м. Причина столь резкого различия в массе аллювия связана с изменением морфологических и гидродинамических условий пойменной поверхности. В области прируслового вала, где формируются наибольшие скорости водного потока, наносы поступают в результате поперечных циркуляционных течений, обуславливающих перекачивание частиц по дну или их волочение от размываемого берега к намываемому. По мере удаления от русла реки скорость течения резко замедляется, снижается и транспортирующая способность потока – происходит осаждение взвешенных и влекомых водой частиц.

Данные количественного состава наносов показывают, что в настоящее время они играют существенную роль в формировании почв только в условиях прирусловой части поймы реки на участках меандрирующего русла в зоне прирусловых валов, где почвообразование не успевает прорабатывать поступающие наносы. Здесь формируются дерновые кислые слоистые примитивные почвы. Центральная часть поймы, а в условиях развития побочного типа русловых процессов и прирусловая ее часть, получают небольшие порции аллювия, что сказывается на строении почвенного профиля, в котором отсутствуют признаки слоистости [Исаев, 2008]. Низкая активность процессов аккумуляции аллювия свидетельствует об отсутствии нарушений эрозионно-аккумулятивного баланса речного бассейна реки, которые могут быть вызваны изменением естественного состояния ландшафта [Лазаренко, 1964; Перовщиков, 2007; Голосов, 2009]. В этом случае можно говорить о перстративной фазе аккумуляции, что является выражением равновесного состояния продольного профиля реки, при котором не происходит ни врезания русла на глубину, ни прогрессирующего заполнения долины аллювием.

Гранулометрический состав аллювиальных отложений имеет хорошо выраженную латеральную дифференциацию в направлении от русла реки вглубь поймы, изменяясь от связного песка (ВПП 1) до среднего суглинка (ВПП 5, 6). В этом направлении снижается и степень отсортированности наносов (табл. 2). Особенно четко это прослеживается на примере снижения доли фракции мелкого песка, процентное содержание которой, согласно Б.Н. Польскому [1958], характеризует напряженность гидродинамических процессов в половодье: чем больше этой фракции, тем больше их напряженность. В условиях меандрирования на ВПП 1 доминирует мелкопесчаная фракция, на удалении 25 м от русла – крупнопылеватая. В условиях побочного типа русловых процессов (СП 1 и 2) доминирует фракция крупной пыли, что свидетельствует о низкой напряженности эрозионно-аккумулятивных процессов.

Установлено, что на протяжении шести лет на ВПП 1 и 2 гидродинамические характеристики потока способствовали отложению однородного по гранулометрическому составу аллювия. Так, на ВПП 1 величина коэффициента вариации содержания доминирующей фракции песка составила 3,7%, а на ВПП 2 – доминирующей фракции пыли – 3,9%. При удалении от русла реки возрастает дифференциация гранулометрического состава отложений: коэффициент вариации содержания доминирующих частиц пыли изменяется от 4,7 до 33,1%, что может быть вызвано наличием стариц и ручьев, выполняющих роль второстепенных русел.

Таблица 1

Распределение массы аллювия по поперечнику поймы

| Год | Масса собранного аллювия на временных пробных площадях, кг/га | | | | | | | | | | |
|-----------|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | ВПП 1 | ВПП 2 | ВПП 3 | ВПП 4 | ВПП 5 | ВПП 6 | ВПП 7 | ВПП 8 | ВПП 9 | СП 1 | СП 2 |
| | Расстояние от русла реки, м | | | | | | | | | | |
| | 7 | 25 | 70 | 140 | 320 | 430 | 570 | 650 | 750 | 10 | 60 |
| 2017 | 116 685 | 10 146 | 1360 | 1236 | —* | — | — | — | — | — | — |
| 2018 | 31 933 | 13 225 | 421 | 725 | 640 | 404 | 73 | 31 | 17 | 155 | 237 |
| 2019 | 51 966 | 5348 | КБ | КБ | КБ | 135 | 22 | 20 | 19 | 271 | 364 |
| 2021 | 199 202 | 7222 | 209 | 1161 | 190 | 364 | 110 | 103 | 121 | 336 | 395 |
| 2022 | 24 787 | 3027 | 0 | 364 | 68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 140 | 182 |
| 2023 | 42 642 | 4420 | 182 | 739 | 102 | 17 | 45 | 19 | 11 | 215 | 273 |
| В среднем | 77 869 | 7231 | 543 | 845 | 250 | 230 | 63 | 43 | 42 | 223 | 283 |

Примечание: * – седиментационные ловушки не устанавливались; КБ – ловушки уничтожены кабанами; здесь и далее ВПП – временная пробная площадь, СП – Старый Перевоз.

Таблица 2

Гранулометрический состав аллювиальных отложений

| № ВПП (объем выборки) | Усредненное содержание частиц разного размера, % | | | | | | |
|-----------------------|--|-----------|-----------|------------|-------------|--------|-------|
| | 1–0,25 | 0,25–0,05 | 0,05–0,01 | 0,01–0,005 | 0,005–0,001 | <0,001 | <0,01 |
| ВВП 1 (6) | 6,8 | 74,3 | 10,5 | 2,3 | 5,3 | 0,9 | 8,5 |
| ВПП 2 (6) | 0,9 | 29,2 | 40,9 | 9,4 | 17,3 | 2,3 | 29,0 |
| ВПП 3 (2) | 3,2 | 59,7 | 19,7 | 3,7 | 13,1 | 0,7 | 17,5 |
| ВВП 4 (3) | 2,4 | 32,4 | 37,4 | 9,8 | 16,2 | 1,8 | 27,8 |
| ВВП 5 (3) | 1,3 | 24,9 | 42,1 | 11,1 | 18,6 | 2,0 | 31,7 |
| ВВП 6 (2) | 1,5 | 22,8 | 39,1 | 11,0 | 23,0 | 2,8 | 36,7 |
| СП 1 (1) | 0,4 | 14,0 | 59,4 | 10,0 | 14,5 | 1,7 | 26,2 |
| СП 2 (3) | 1,6 | 24,3 | 45,3 | 10,7 | 16,4 | 1,6 | 28,8 |

Примечание: анализ гранулометрического состава аллювия на ВПП 7–9 не был проведен из-за малого его количества, собранного седиментационными ловушками.

Валовой состав и фациальная структура.

В аллювиальных отложениях установлено содержание 27 химических элементов, но наиболее распространенными являются 20. Cl, V, Pb, Br, Nb, Ga и Y встречаются в единичных образцах и нами не рассматриваются. Пределы содержания элементов, а также величины ППП в аллювии очень велики. Ранговый ряд элементов, присутствующих во всех образцах, по величине коэффициента вариации (нижний индекс) имеет следующий вид: $K_{35} < Cr_{45} < Al_{45} < Ti_{46} < Ca_{47} < Si_{49} < S_{51} < Fe_{53} < Mg_{54} < Sr_{69} < Zn_{79} < Mn_{108}$. Высокие значения коэффициента вариации свидетельствуют о наличии различных фациальных обстановок, визуализируемых с помощью кластерного анализа (рис. 2). Опираясь на схему фациального расчленения современного аллювия А.А. Лазаренко [1964], можно сказать, что

первый кластер (ВПП 1–4) представлен аллювием фации прирусловых валов, который содержит большее количество Si, Na, Zr, Sr и Cr; второй (ВПП 5 и 6, СП 1 и 2) – приречной поймы – Fe, Al, K, Mg и Ti; третий (ВПП 7–9) – внутренней поймы – Ca, Mn, P, S, Ba, Zn, Ni, Cu и As (табл. 3). Различия по содержанию большинства элементов достоверны ($p < 0,05$). Значительное участие в отложениях внутренней поймы органических остатков, формирующих оторфованный аллювий с величиной ППП 64,8%, способствовало и большему накоплению в нем биофильных элементов, многие из которых, как будет показано ниже, тесно связаны с величиной ППП. В органоминеральных отложениях накапливается больше литофильных элементов. Таким образом, аллювий каждой фации характеризуется особой геохимической сигнатурой.

Таблица 3

Элементный состав аллювия различной фациальной приуроченности

| Элемент, размерность | Значения статистических показателей содержания элементов в аллювии различных фаций | | | | | |
|-------------------------|--|---------------|-----------------|---------------|------------------|---------------|
| | Приусловых валов | | Приречной поймы | | Внутренней поймы | |
| | n | $M_x \pm m_x$ | n | $M_x \pm m_x$ | n | $M_x \pm m_x$ |
| ППП, %* | 21 | 13,3±1,9 | 18 | 32,8±1,7 | 12 | 64,8±2,6 |
| Si, г/кг* | 21 | 315,7±11,6 | 18 | 186,9±10,5 | 12 | 80,6±10,8 |
| Fe, г/кг* | 21 | 33,6±3,3 | 18 | 74,7±8,2 | 12 | 49,7±5,5 |
| Al, г/кг* | 21 | 43,5±2,7 | 18 | 45,8±2,1 | 12 | 13,8±2,1 |
| Ca, г/кг* | 21 | 10,4±0,7 | 18 | 16,2±0,9 | 12 | 23,9±2,3 |
| K, г/кг* | 21 | 12,7±0,8 | 18 | 13,3±0,7 | 12 | 7,3±0,7 |
| Mg, г/кг* | 21 | 6,7±0,6 | 18 | 7,3±0,7 | 12 | 2,2±0,3 |
| Mn, г/кг* | 21 | 1,6±0,2 | 18 | 6,6±0,8 | 12 | 12,1±2,4 |
| Na, г/кг | 18 | 4,9±0,5 | 8 | 2,7±0,4 | 0 | – |
| P, г/кг* | 17 | 1,6±0,3 | 18 | 2,3±0,5 | 12 | 4,2±0,5 |
| Ti, г/кг* | 21 | 3,1±0,3 | 18 | 4,0±0,3 | 12 | 1,6±0,2 |
| S, г/кг* | 21 | 1,1±0,1 | 18 | 1,5±0,1 | 12 | 2,8±0,1 |
| Ba, мг/кг* | 9 | 479,5±66,9 | 7 | 780,2±88,9 | 8 | 990,0±85,6 |
| Zr, мг/кг* | 19 | 375,9±40,0 | 11 | 154,1±37,5 | 3 | 13,0±4,3 |
| Zn, мг/кг* | 20 | 131,2±16,3 | 18 | 232,0±45,4 | 12 | 309,4±66,5 |
| Sr, мг/кг | 21 | 172,1±22,6 | 18 | 139,5±32,6 | 12 | 161,8±39,1 |
| Cr, мг/кг* | 21 | 142,6±10,7 | 18 | 138,1±13,9 | 10 | 61,1±5,9 |
| Ni, мг/кг | 16 | 54,2±4,8 | 18 | 86,9±11,3 | 9 | 110,5±52,9 |
| Cu, мг/кг | 15 | 54,1±5,5 | 11 | 59,1±8,9 | 12 | 103,8±24,5 |
| Rb, мг/кг | 18 | 45,5±4,6 | 10 | 51,2±10,9 | 8 | 51,7±9,7 |
| As, мг/кг* | 7 | 18,2±3,3 | 7 | 31,4±6,7 | 6 | 37,3±4,4 |

Примечание: * – различия по содержанию этих элементам между фациями достоверны при $p < 0,05$; n – объем выборки; $M_x \pm m_x$ – среднее значение и ошибка среднего.

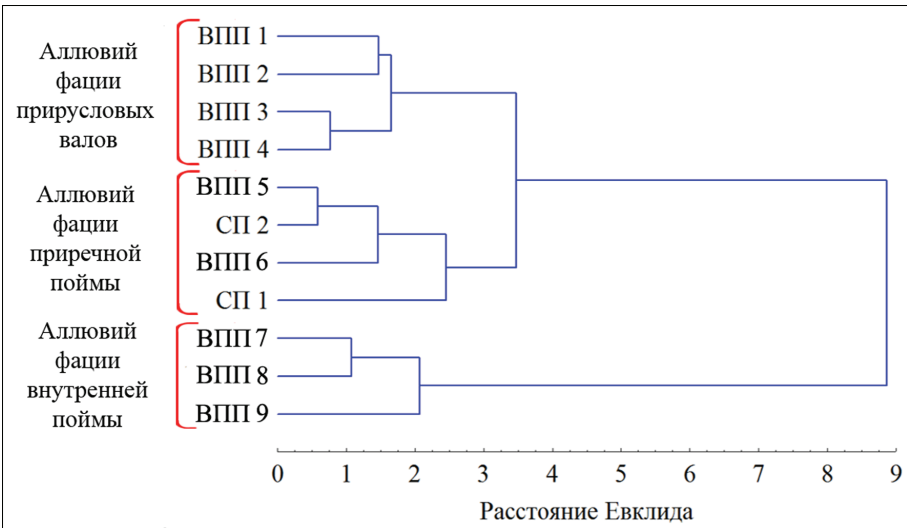


Рис. 2. Дендрограмма сходства временных пробных площадей по элементному составу аллювия, построенная способом Варда по матрице нормированных данных

Fig. 2. A dendrogram of the similarity of time trial areas in terms of the elemental composition of alluvium, compiled by the Ward method using a matrix of normalized data

Тип руслового процесса оказывает значительное влияние на формирование элементного состава аллювия, о чем свидетельствуют результаты кластерного анализа (см. рис. 2). Так, СП 1 и СП 2, заложенные в условиях побочного типа русловых процессов, по содержанию химических элементов входят во второй кластер, т. е. с участками, расположенными на значительном удалении от уреза воды в условиях меандрирования. На этих абсолютно разных по геоморфологическим условиям участках поймы формируются одинаковые геохимические условия осадконакопления.

Геохимические ассоциации элементов. Результаты группировки химических элементов по степени геохимической сопряженности (кластерный и корреляционный анализ) показали наличие шести ассоциаций: Fe – Ca – Mn – S – P – Ba – Zn,

Al – K – Mg – Ti – Cr, Si – Na – Zr, Fe – Mn – Ni – As, P – Cu и Sr – Rb (Cu, Rb и As не вошли в кластерный анализ из-за невысокой представленности) (рис. 3А). Функциональная зависимость между элементами в каждой из них отображается уравнением вида $Y = a \times X + b$, параметры которого представлены в табл. 4. Необходимо указать на некоторые особенности: Fe входит в один кластер с величиной ППП при неоднозначном характере связи по фациям: для прирусловых валов и приречной поймы она положительная, а для внутренней поймы – отсутствует. В то же время Fe выступает как фаза-носитель Ni и As, не связанных с величиной ППП, а также Mn, содержание которого детерминировано еще и величиной ППП, что говорит о двойственной природе нахождения Fe и Mn в аллювии.

Таблица 4

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

| Фаза-носитель (Y) | Элемент (X) | Параметр уравнения | | Значение R^2 | r_s |
|-------------------|-------------|--------------------|-------|----------------|-------|
| | | a | b | | |
| ППП | Fe* | 1,57 | 16,5 | 0,45 | 0,46 |
| | Ca | 0,22 | 7,81 | 0,75 | 0,90 |
| | Mn | 0,20 | 0,58 | 0,54 | 0,83 |
| | S | 0,03 | 0,60 | 0,77 | 0,85 |
| | Ba | 8,85 | 395,6 | 0,44 | 0,68 |
| | P | 0,05 | 0,79 | 0,45 | 0,69 |
| | Zn | 2,10 | 99,4 | 0,35 | 0,59 |
| Al | K | 0,17 | 5,28 | 0,51 | 0,75 |
| | Mg | 0,17 | -0,35 | 0,80 | 0,89 |
| | Ti | 0,06 | 0,92 | 0,48 | 0,70 |
| | Cr | 1,75 | 50,5 | 0,40 | 0,58 |
| Si | Na | 0,02 | -0,46 | 0,45 | 0,67 |
| | Zr | 1,40 | 82,1 | 0,35 | 0,63 |
| Fe | Mn | 0,08 | -0,39 | 0,75 | 0,79 |
| | Ni | 0,78 | 29,6 | 0,47 | 0,57 |
| | As | 0,47 | 1,01 | 0,59 | 0,63 |
| P | Cu | 14,9 | 24,3 | 0,43 | 0,60 |
| Sr | Rb | 0,18 | 21,0 | 0,50 | 0,77 |

Примечание: содержание Na, Mn, K, Mg, Ti, P, S и Ca выражено в г/кг, остальных элементов – в мг/кг. *Связь содержания Fe с величиной ППП установлена для фации прирусловых валов и приречной поймы. Значения r_s достоверны при $p < 0,05$.

Помимо выделенных ассоциаций необходимо указать на связь содержания Al, K, Mg, Ti и Cr с Si ($r_s = 0,48$, $p < 0,001$), отображаемую следующим уравнением:

$$Al = 12 \cdot 10^{-3} (467 - Si)^{2,02} \exp \{-11,8 \cdot 10^{-3} (467 - Si)\};$$

$$R^2 = 0,594. \quad (2)$$

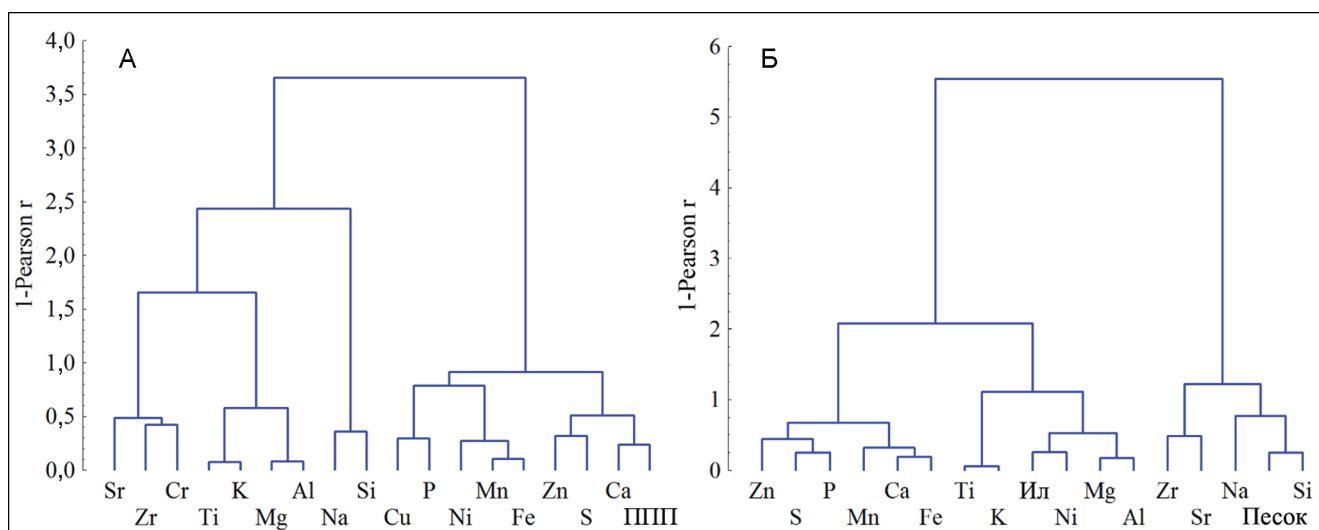


Рис. 3. Дендрограммы сходства содержания химических элементов и величины ППП в аллювии (А) и содержания химических элементов с гранулометрическим составом (Б), построенные способом Варда

Fig. 3. Dendrograms of the similarity of the content of chemical elements and the value of ignition loss for alluvium (A) and the content of chemical elements with a granulometric composition (B), compiled by the Ward method

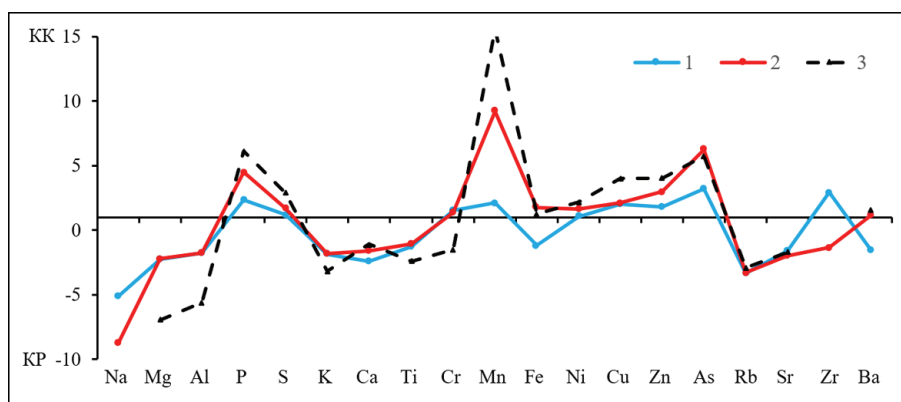


Рис. 4. Геохимический спектр содержания элементов в аллювии различных фаций: 1 – прирусловой; 2 – приречной поймы; 3 – внутренней поймы

Fig. 4. The geochemical spectrum of the content of elements in the alluvium of various facies: 1 – near-channel; 2 – riverine floodplain; 3 – inner floodplain

Точка перегиба куполообразной кривой приходится на величину содержания Si 250 г/кг, т. е. для аллювия фации приречной и внутренней поймы связь содержания Al, K, Mg, Ti и Cr с Si прямая, а для аллювия фации прирусловых валов – обратная. Важно отметить, что подобный характер связи установлен для аллювиальных почв р. Большой Кокшаги [Исаев и др., 2024]: для перегнойно-глеевых и иловато-торфяных почв связь Al, K, Mg, Ti и Cr с Si – прямая, а для дерновых – обратная. Раскрыты возможные причины такого взаимодействия.

Формирование ассоциаций в определенной степени сопряжено с гранулометрическим составом отложений (см. рис. 3Б, табл. 5). Так, Si, Na, Sr и Zr поступают в составе песчаной фракции ($r_s > 0,48$, $p < 0,05$), Al, K, Mg, Ti и Ni – в составе илистой

($r_s > 0,41$, $p < 0,05$), а Fe, Ca, Mn, S, P, Ba и Zn – преимущественно в составе пылевой ($r_s > 0,43$, $p < 0,05$). Содержание Cr, Cu, As и Rb не связано ($p > 0,05$) с гранулометрическим составом, хотя Cu и Rb тяготеют к илистой фракции.

В аллювии и аллювиальных почвах установлены следующие общие геохимические семейства: Al – K – Mg – Ti – Cr, Si – Na – Zr, Fe – Mn – Ni – As [Исаев и др., 2024]. В почвах, в отличие от аллювия, Cu и Sr выступают как биофильные, а P, Ba и Zn – как сидерофильные элементы. Таким образом, роль Al и Si (как фазы-носителя) в парагенетическом ряду «аллювий – аллювиальные почвы» не меняется, а Fe в окислительно-восстановительных условиях пойм приобретает новую функцию – становится типоморфным [Исаев и др., 2024].

Таблица 5

**Коэффициенты корреляции Спирмена (r_s) содержания химических элементов
с гранулометрическим составом в аллювии**

| Кластер | Элемент | Фракции гранулометрического состава | | |
|---------------------|---------|-------------------------------------|--------------|--------------|
| | | Песок | Пыль | Ил |
| 1 | Si | 0,81 | -0,81 | -0,52 |
| | Sr | 0,48 | -0,50 | -0,14 |
| | Zr | 0,62 | -0,63 | -0,09 |
| | Na | 0,48 | -0,46 | -0,14 |
| 2 | Al | -0,29 | 0,29 | 0,60 |
| | K | -0,20 | 0,19 | 0,41 |
| | Mg | -0,41 | 0,41 | 0,52 |
| | Ti | -0,33 | 0,32 | 0,42 |
| | Ni | -0,47 | 0,45 | 0,58 |
| 3 | Fe | -0,76 | 0,74 | 0,64 |
| | Ca | -0,73 | 0,72 | 0,50 |
| | P | -0,61 | 0,60 | 0,51 |
| | Mn | -0,78 | 0,78 | 0,46 |
| | S | -0,77 | 0,77 | 0,49 |
| | Ba | -0,59 | 0,58 | 0,30 |
| | Zn | -0,45 | 0,43 | 0,37 |
| Не вошли в кластеры | Cu | -0,20 | 0,19 | 0,37 |
| | Rb | 0,07 | -0,10 | 0,33 |
| | Cr | 0,16 | -0,17 | 0,15 |
| | As | -0,18 | 0,18 | 0,01 |

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

Геохимическая специфика аллювия. Геохимические спектры (рис. 4) показали, что по сравнению с кларком верхней части континентальной земной коры отложения обеднены: Ti (КР 1,1–2,4), Sr (КР 1,6–2,0), Al (КР 1,8–5,6), K (КР 1,8–3,2), Mg (КР 2,2–7,0), Ca (КР 1,1–2,4), Rb (КР 2,9–3,3) и Na (КР 5,1–8,8). Превышение кларка отмечается по Mn (КК 2,0–18,9), P (КК 2,7–7,2), As (КК 3,2–6,3), Cu (КК 2,2–5,4), Ni (КК 1,7–2,2), Zn (КК 1,8–4,6), S (КК 1,7–2,9) и Zr (КК 2,9). Содержание Sr, Fe и Ba близко к кларковому. Выявленные геохимические аномалии в аллювии являются природными (естественно обусловленными) особенностями территории среднего течения р. Большой Кокшаги. Необходимо отметить, что геохимические спектры аллювиальных отложений схожи с таковыми для аллювиальных почв: в дерновых отмечается превышение КК по Zr, As, Cu и Cr, а в аллювиальных луговых – по P, Ni, Cr, Fe, Zn, Ba и Zr [Isaev et al., 2023]. Это свидетельствует об однотипности геохимических обстановок, в которых они формируются.

Какими причинами может быть обусловлено формирование геохимических аномалий содержа-

ния различных элементов в аллювиальных отложениях? Известно, что они образуются в процессе геохимической дифференциации рыхлых отложений и наследуют характерные черты микроэлементного состава исходных пород, что отражается в провинциальных особенностях их состава [Добровольский, 2005]. Территория заповедника расположена в восточной части Центрально-Русской минералогическо-геохимической провинции Восточно-Европейской равнины на стыке с Приуральской [Добровольский, 2007]. Здесь сказывается влияние Уральской области сноса и кислых пород Балтийского щита. В результате аллювиальные отложения наследуют состав химических элементов, характерный для двух провинций. Четвертичные отложения Приуралья отличаются повышенным количеством Cu, Cr, Zn и Ni, которые характерны для основных пород Урала, в то же время они содержат меньше Zr, характерного для кислых пород Балтийского щита [Добровольский, 2007]. Превышение кларка по As, Mn, P и Fe обусловлено их интенсивной миграцией с водораздельных пространств полесья. В гумидных ландшафтах кислого класса эти элементы мигриру-

ют и накапливаются на окисдно-железистом геохимическом барьере пойменных почв путем сорбции с последующим окислением [Перельман, Касимов, 1999]. Источником этих элементов также могут выступать покровные суглинки Кировской области [Колеватых, 2010].

Сравним элементный состав отложений с таковым у почв элювиальных ландшафтов (локальный фон), участвующих в их формировании. Результаты расчета коэффициентов обогащения (EF) установили значительные их величины по большинству элементов за исключением $Si_{0,2-0,3}$, $Na_{0,4-0,9}$ и $Zr_{0,1-0,8}$ (нижний индекс – значение EF) в аллювии всех фаций, $Sr_{0,7}$ и $Cu_{0,6}$ в фации прирусловых валов и приречной поймы, а также $Ni_{0,7}$ в фации прирусловых валов и $Mg_{0,7}$ – внутренней поймы (табл. 6). Обогащение аллювия элементами обусловлено биогенным, литогенным и хемогенным факторами. Первый обеспечивает накопление $Mn_{2,8-66}$, $Fe_{1,9-11}$,

$Ca_{3,9-16}$, $Zn_{2,4-21}$, $S_{2,3-16}$ и $P_{1,7-7,5}$, которые, как отмечено выше, связаны с органическим веществом. С увеличением ППП от аллювия фации прирусловых валов к фации внутренней поймы EF этих элементов возрастает. Второй – $K_{1,2-9,9}$, $Mg_{1,7-1,8}$ и $Ti_{1,3-1,6}$, формирующих единое геохимическое семейство с Al , обусловлен увеличением тонкодисперсных частиц от аллювия фации прирусловых валов к фации приречной поймы (см. табл. 2). Источником глинистого материала являются покровные суглинки и глины верховий р. Большой Кокшаги, которые в результате эрозионно-аккумулятивной деятельности внедряются все глубже в пределы Марийского Полесья с Ярано-Кокшагской равнины. Третий – $Ni_{3,6}$, обусловлен его связью с Fe , а $Cu_{5,5}$ – с P . Обогащение $Sr_{1,2-6,5}$ остается невыясненным, он не связан ни с величиной ППП, ни с Al , ни с Fe . В почвах элювиальных ландшафтов Ba , Rb и As не обнаружены, поэтому в расчетах не использовались.

Таблица 6

Коэффициенты обогащения элементами аллювиальных отложений относительно автономных почв Марийского Полесья

| Аллювий фации | Величина коэффициента обогащения (EF) | |
|-------------------|---|---|
| | >1,0 | <1,0 |
| Прирусловых валов | $Ca_{3,9}$, $Mn_{2,8}$, $Zn_{2,4}$, $S_{2,3}$, $Fe_{1,9}$, $Mg_{1,7}$, $P_{1,7}$, $Sr_{1,6}$, $Ti_{1,3}$, $K_{1,2}$ | $Na_{0,9}$, $Zr_{0,8}$, $Ni_{0,7}$, $Cr_{0,7}$, $Cu_{0,6}$, $Si_{0,3}$ |
| Приречной поймы | $Mn_{8,5}$, $Ca_{5,7}$, $Fe_{3,8}$, $S_{3,6}$, $Zn_{3,4}$, P_3 , $Mg_{1,8}$, $Ti_{1,6}$, $K_{1,2}$, $Sr_{1,2}$, $Ni_{1,1}$ | $Cr_{0,7}$, $Cu_{0,6}$, $Na_{0,4}$, $Zr_{0,3}$, $Si_{0,2}$ |
| Внутренней поймы | Mn_{66} , Zn_{21} , S_{16} , Ca_{16} , Fe_{11} , $K_{9,9}$, $P_{7,5}$, $Sr_{6,5}$, $Cu_{5,5}$, $Ni_{3,6}$, $Ti_{1,5}$, $Cr_{1,2}$ | $Mg_{0,7}$, $Si_{0,3}$, $Zr_{0,1}$ |

Оценим, как сочетаются полученные значения содержания элементов в аллювиальных отложениях заповедника, удаленного на значительные расстояния от источников загрязнения, с существующими нормативами: ПДК и ОДК [СанПиН 1.2.3685-21, 2021], чтобы показать значение природной составляющей локального геохимического распределения элементов. Сравнение содержания элементов в аллювии разной фациальной приуроченности с ПДК и ОДК показало превышение по S от 7,1 до 17 раз; Mn – от 4,7 до 8,1; As – от 3,2 до 6,3; Ni – от 1,3 до 2,8; Cu – в 1,6, а Zn – в 1,4 раза. Таким образом, складывается преувеличенное представление о загрязненности современных аллювиальных отложений фоновой территории, что свидетельствует о необходимости установления фоновых концентраций химических элементов на локальном и региональном уровнях для адекватной оценки возможной степени загрязненности почв.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показали низкую активность процессов аккумуляции аллювия (перстративная фаза) в пойме р. Большой Кокшаги, что говорит об отсутствии нарушений эрозионно-аккумулятивного баланса речного бассейна. Наибольшее количество аллювия на меандрирующих участках русла концентрируется на расстоянии 7–10 м от уреза воды – от 32 до 200 т/га, на расстоянии 25 м – 7,2 т/га, 70 м – 543 кг/га, более 500 м – редко превышает 100 кг/га. При побочневом типе русловых процессов масса аллювия в пределах прирусловой части поймы сопоставима с массой аллювия, отложенного в центральной в условиях меандрирования.

Установлена хорошо выраженная латеральная дифференциация пойменных отложений, характеризующаяся закономерным изменением гранулометрического состава от связного песка (фация прирусловых валов) до среднего суглинка (фация

приречной поймы), в этом же направлении снижается степень отсортированности наносов.

Определено, что формирование фациальной структуры аллювия, а также геохимических ассоциаций элементов обусловлено наличием органического вещества и гранулометрическим составом. Так, в наносах фации прирусловых валов, в которых доминирует минеральная матрица (фракция песка), преобладают Si, Na, Zr, образующие единое геохимическое семейство. Фация приречной поймы отличается наибольшим накоплением Al, K, Mg и Ti, которые связаны с содержанием илистых частиц. В наносах внутренней поймы активное участие торфяных отложений обуславливает закономерное увеличение в них биогенных элементов Ca, P, Mn, S, Cu, Zn и Ba, образующих одну геохимическую ассоциацию. Fe показывает двойственную природу нахождения: с одной стороны оно связано с величиной ППП, с другой – выступает в роли фазы-носителя Mn, Ni и As.

Интегральный анализ состава аллювиальных отложений позволяет сделать заключение об их

близости к Центрально-Русской и Приуральской минерало-геохимическим провинциям, которые можно рассматривать в качестве основных источников привноса вещественного материала с природными водами.

Современные аллювиальные отложения обогащены ($EF > 1$) относительно автономных почв зандрового ландшафта Марийского Полесья Fe, Ca, P, Mn, S и Zn (биогенный фактор поступления), K, Mg и Ti (литогенный), а также Ni и Cu (хемогенный). По значениям кларков верхней части континентальной земной коры определено накопление ($KK > 1,5$) Mn, P, As, Cu, Ni, Zn, S и Zr и рассеивание ($KP > 1,5$) Al, K, Mg, Ca, Na, Rb, Ti и Sr; близки к величине кларка Fe, Ba и Sr. Аллювий содержит концентрации элементов, превышающие гигиенические нормативы (ПДК и ОДК) по S, Mn, As, Cu, Ni и Zn. Выявленные геохимические аномалии являются природными (естественно обусловленными) особенностями территории среднего течения р. Большой Кокшаги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воробьев А.Ю., Кривцов В.А., Кадыров А.С. Современная динамика накопления и состав аллювия прирусловой поймы реки Оки // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естественные науки. 2021. Т. 163. Кн. 4. С. 603–625. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.4.603-625.
- Голосов В.Н. Исследования аккумуляции наносов на речных поймах: методические возможности и перспективы // Геоморфология. 2009. № 4. С. 39–44.
- ГОСТ 23740–2016. Грунты. Методы определения содержания органических веществ. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.
- Демаков Ю.П., Исаев А.В. Элементный состав песчаных почв лесных биогеоценозов Марийского Заволжья // Вестн. Поволжского гос. технологического ун-та. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 4(52). С. 54–69. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.4.54.
- Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 293 с.
- Добровольский В.В. Гипергенез и коры выветривания. Избр. тр. М.: Научный мир, 2007. Т. I. 512 с.
- Исаев А.В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага»). Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2008. 240 с.
- Исаев А.В., Демаков Ю.П., Шарафутдинов Р.Н. и др. Геохимические особенности аллювиальных почв среднего течения р. Большая Кокшага // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. № 5. С. 27–39. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.3
- Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 2. С. 7–17.
- Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Поповичева О.Б. и др. Экогеохимия микрочастиц в окружающей среде // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2025. № 1. С. 3–23. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.1
- Колеватых Е.А. К вопросу о генезисе и геохимии покровных суглинков Вятско-Камского Предуралья // Литосфера. 2010. № 6. С. 55–65.
- Кривцов В.А., Воробьев А.Ю., Пузаков С.В. Применение метода ковриков-ловушек для определения динамики накопления современного аллювия на рязанском участке среднего течения р. Оки // Вестн. Волгоградского гос. ун-та. Сер. 11: Естественные науки. 2015. № 4(14). С. 30–39. DOI: 10.15688/jvolsu11.2015.4.4.
- Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны и Оки). М.: Наука, 1964. 236 с.
- Перевоицков А.А. Вопросы происхождения и диагностические признаки антропогенно обусловленного пойменного аллювия (наилка) // Вестн. Удмуртского ун-та. Науки о земле. 2007. № 11. С. 111–121.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.
- Польский Б.Н. Механический состав пойменных почв в связи с историей формирования пойм // Почвоведение. 1958. № 7. С. 112–116.
- Смирнов В.Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения. Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1968. 532 с.
- Тюлин В.В. Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, Кировское отд., 1976. 288 с.
- Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. Труды. Вып. 161. М.: Наука, 1966. 242 с.
- Янин Е.П. Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования и состава). М.: ИМГРЭ, 2002. 139 с.

- Chougong D.T., Ngueutchoua G., Dicka E.H. et al. Distributions of Trace Metals and Radionuclides Contamination in Alluvial Sediments from the Lobé River in Cameroon, *Earth Systems and Environment*, 2021, p. 1–20, DOI: 10.1007/s41748-021-00251-4.
- Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B. et al. Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review, *Science of the Total Environment*, 2009, vol. 407, no. 13, p. 3972–3985, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.025.
- Ibragimov A., Głosińska G., Siepak M. et al. Heavy metals in fluvial sediments of the Odra River flood plains – introductory research, *Quaestiones Geographicae*, 2010, vol. 29, no. 1, p. 37–47, DOI: 10.2478/v10117-010-0004-7.
- Isaev A.V., Demakov Y.P., Sharafutdinov R.N. Specific Features of the Elemental Composition of Alluvial Soils in the Middle Reaches of the Bolshaya Kokshaga River, *Eurasian Soil Science*, 2023, vol. 56, no. 7, p. 868–878, DOI: 10.1134/S1064229323600653.
- Lee P.-K., Touray J.-C., Baillif P. et al. Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France, *Sci. Total Environ.*, 201, 1997, p. 1–15, DOI: 10.1016/S0048-9697(97)84048-X.
- Nguyen N.H. *Sediment dynamics in the floodplain of the Mekong Delta, Vietnam*, Stuttgart, Inst. für Wasserbau, 2011, 149 p.
- Ollivier P., Radakovitch O., Hamelin B. Major and trace element partition and fluxes in the Rhône River, *Chemical Geology*, 2011, 285, p. 15–31.
- Sutherland R. Bed Sediment-Associated Trace Metals in an Urban Stream, Oahu, Hawaii, *Environmental Geology*, 2000, vol. 39, p. 611–627, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s002540050473>.
- Wang L., Cuthbertson A.J.S., Pender G. et al. Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs, *International Journal of Sediment Research*, 2015, vol. 30, p. 306–320, DOI: 10.1016/j.ijsrc.2015.03.010.
- Zhang J., Liu C.L. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China –Weathering Features, Anthropogenic Impact and Chemical Fluxes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54, p. 1051–1070, DOI: 10.1006/ecss.2001.0879.

Электронный источник

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М., 2021. 988 с. URL: https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf (дата обращения 12.02.2024).

Поступила в редакцию 11.12.2024

После доработки 05.06.2025

Принята к публикации 28.08.2025

LITHOLOGICAL AND GEOCHEMICAL DESCRIPTION OF MODERN ALLUVIAL DEPOSITS IN THE MIDDLE REACHES OF THE BOLSHAYA KOKSHAGA RIVER

A.V. Isaev¹, R.N. Sharafutdinov², G.A. Bogdanov³

^{1,3} State Nature Reserve “Bolshaya Kokshaga”, Scientific Department

² Naberezhnye Chelny Institute of the Kazan (Volga Region) Federal University

¹ Mari State University, Institute of Natural Sciences and Pharmacy,

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

² Department of Chemistry and Ecology, Associate Professor, Ph.D. in Biology; e-mail: sharafrn@yandex.ru

³ Senior Scientific Researcher; e-mail: gpzbbk@bk.ru

The paper presents the results of studying the granulometric and elemental composition of modern alluvial deposits in the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga River. It was demonstrated that their role in the formation of soils is significant only in the meandering sections of the riverbed in the immediate vicinity of the water edge (7–10 m), where the mass of material deposited on the riverbed ranges from 32 to 200 t/ha over the years. It decreases to 7.2 t/ha at a distance of 25 m, and rarely exceeds 100 kg/ha at a distance of 500 m. Under the side bar type of riverbed processes, the mass of alluvium in the riverine part of the floodplain is no more than 400 kg/ha. The chemical composition of alluvium reflects the influence of two mineralogical and geochemical provinces (Central Russian and Pre-Urals). It was found that alluvium of the facies of riverine ridges contains a greater amount of Si, Na, Zr, Sr, and Cr; the riverine floodplain alluvium contains more Al, Fe, K, Mg, Ti, and As, while the inner floodplain alluvium contains more Ca, P, Mn, S, Ni, Cu, Zn, Ba, and Rb. Six geochemical associations have been identified in alluvial deposits, i. e. Fe–Ca–Mn–S–P–Ba–Zn, Al–K–Mg–Ti–Cr, Si–Na–Zr, Fe–Mn–Ni–As, P–Cu, and Sr–Rb. The intake of Si, Na, Sr, and Zr is associated with the sand fraction; Al, K, Mg, Ti, and Ni come from the silty fraction, and Fe, Ca, P, Mn, S, Ba, and Zn are derived from the dusty fraction. Relative to the soils of the eluvial landscape of the Mari Polesie alluvial deposits are enriched (EF > 1) with Fe, Ca, P, Mn, S and Zn (biogenic input factor), Al, K, Mg, Ti and Cr (lithogenic factor),

as well as Ni and Cu (chemogenic factor). They accumulate ($KK > 1,5$) Mn, P, As, Cu, Ni, Zn, S, and Zr, and dissipate ($KP > 1,5$) Al, K, Mg, Ca, Na, Rb, Ti, and Sr; and the values of Fe, Ba, and Cr are close to the Clark ones. The concentration of elements in alluvium are higher than the hygienic standards (MPC and ODC) for S, Mn, As, Cu, Ni and Zn. The content of chemical elements in alluvium could be considered as close to the natural (background) level.

Keywords: Bolshaya Kokshaga Nature Reserve, Fluvisols, chemical elements, clark concentrations, geochemical associations, enrichment factor

REFERENCES

- Chougong D.T., Ngueutchoua G., Dicka E.H. et al. Distributions of Trace Metals and Radionuclides Contamination in Alluvial Sediments from the Lobé River in Cameroon, *Earth Systems and Environment*, 2021, p. 1–20. DOI:10.1007/s41748-021-00251-4
- Demakov Ju.P., Isaev A.V. Elementnyj sostav peschanyh pochv lesnyh biogeocенозов Мариjsкого Zavolzh'ja [Elemental composition of sandy soils of forest biogeocеноses of the Mari Trans-Volga region], *Vestn. Povolzhskogo gos. tehnologicheskogo un-ta, Ser.: Les, Ekologija. Prirodopol'zovanie*, 2021, no. 4(52), p. 54–69, DOI: 10.25686/2306-2827.2021.4.54. (In Russian)
- Dobrovol'skij G.V. *Pochvy rechnyh pojm centra Russkoj ravniny* [Soils of river floodplains in the center of the Russian Plain], Moscow, Moscow State Un-t Publ., 2005, 293 p. (In Russian)
- Dobrovol'skij V.V. *Gipergenez i kory vyvetrivanija* [Hypergenesis and weathering crusts], Izbr. tr. Moscow, Nauchnyj mir Publ., 2007, vol. I, 512 p. (In Russian)
- Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B. et al. Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review, *Science of the Total Environment*, 2009, vol. 407, no. 13, p. 3972–3985, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.025.
- Golosov V.N. Issledovanie akumuljacji nanosov na rechnyh pojмах: metodicheskie vozmozhnosti i perspektivy [Studies of sediment accumulation on river floodplains: methodological possibilities and prospects], *Geomorfologija*, 2009, no. 4, p. 39–44. (In Russian)
- GOST 23740–2016. *Grunty. Metody opredelenija sodержanija organicheskikh veshhestv* [State Standard 23740–2016 Soils. Methods for determining the content of organic substances], Moscow, Standartinform Publ., 2017, 12 p. (In Russian)
- Ibragimow A., Głosińska G., Siepak M. et al. Heavy metals in fluvial sediments of the Odra River flood plains – introductory research, *Quaestiones Geographicae*, 2010, vol. 29, no. 1, p. 37–47, DOI: 10.2478/v10117-010-0004-7.
- Isaev A.V. *Formirovanie pochvennogo i rastitel'nogo pokrova v pojмах rechnyh dolin Marijskogo Poles'ja (na primere territorii zapovednika "Bol'shaja Kokshaga")* [Formation of soil and vegetation cover in floodplains of river valleys of Mari Polesie (case study of the territory of the "Bolshaya Kokshaga" reserve)], Joshkar-Ola, Mari St. Technical Univ. Publ., 2008, 240 p. (In Russian)
- Isaev A.V., Demakov Ju.P., Sharafutdinov R.N., Ryzhova L.V. Geohimicheskie osobennosti alljuvial'nyh pochv srednego techenija r. Bol'shaja Kokshaga [Geochemical features of alluvial soils of the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga River], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2024, no. 5, p. 27–39, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.3. (In Russian)
- Isaev A.V., Demakov Y.P., Sharafutdinov R.N. Specific Features of the Elemental Composition of Alluvial Soils in the Middle Reaches of the Bolshaya Kokshaga River, *Eurasian Soil Science*, 2023, vol. 56, no. 7, p. 868–878, DOI: 10.1134/S1064229323600653.
- Janin E.P. *Ruslovyje otlozhenija ravninnyh rek (geohimicheskie osobennosti uslovij formirovanija i sostava)* [Riverbed sediments of lowland rivers (geochemical features of formation conditions and composition)], Moscow, IMGRJe Publ., 2002, 139 p. (In Russian)
- Kacimov H.C., Kosheleva N.E., Popovicheva O.B. et al. *Eko-geohimija mikrochastich v okružhajushhej srede* [Ecogeochemistry of microparticles in the environment], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2025, no. 1, p. 3–23, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.1. (In Russian)
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. Klarki himicheskikh elementov kak etalony sravnenija v ekogeohimii [Clarks of chemical elements as reference standards in ecogeochemistry], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2015, no. 2, p. 7–17. (In Russian)
- Kolevatykh E.A. K voprosu o genezise i geohimii pokrovnyh suglinkov Vjatsko-Kamskogo Predural'ja [On the genesis and geochemistry of cover loams in the Vyatka-Kama Pre-Urals], *Litosfera*, 2010, no. 6, p. 55–65. (In Russian)
- Krivcov V.A., Vorob'ev A.Ju., Puzakov S.V. Primenenie metoda kovrikov-lovushhek dlja opredelenija dinamiki nakoplenija sovremennogo alljuvija na rjazanskom uchastke srednego techenija r. Oki [Application of the trap mat method to determine the dynamics of accumulation of modern alluvium in the Ryazan section of the middle course of the Oka River], *Vestn. Volgogradskogo gos. un-ta, Ser. II: Estestvennye nauki*, 2015, no. 4(14), p. 30–39, DOI 10.15688/jvolsu11.2015.4.4. (In Russian)
- Lazarenko A.A. *Litologija alljuvija ravninnyh rek gumidnoj zony (na primere Dnepra, Desny i Oki)* [Lithology of alluvia of lowland rivers in the humid zone (case studies of Dnieper, Desna and Oka rivers)], Moscow, Nauka Publ., 1964, 236 p. (In Russian)
- Lee P.-K., Touray J.-C., Baillif P. et al. Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France, *Sci Total Environ* 201, 1997, p. 1–15, DOI: 10.1016/S0048-9697(97)84048-X.
- Nguyen N.H. *Sediment dynamics in the floodplain of the Mekong Delta, Vietnam*, Stuttgart, Inst. für Wasserbau, 2011, 149 p.
- Ollivier P., Radakovitch O., Hamelin B. Major and trace element partition and fluxes in the Rhône River, *Chemical Geology*, 2011, 285, p. 15–31.
- Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geohimija landshafta* [Geochemistry of the landscape], Moscow, Astreja-2000 Publ., 1999, 768 p. (In Russian)
- Perevoshnikov A.A. Voprosy proishozhdenija i diagnosticheskije priznaki antropogennogo obuslovlennogo pojmnogo alljuvija (nailka) [Questions of origin and diagnostic signs

- of anthropogenic floodplain alluvium (warp)], *Vestn. Udmurtskogo un-ta, Nauki o Zemle*, 2007, no. 11, p. 111–121. (In Russian)
- Pol'skij B.N. Mehanicheskij sostav pojmennyh pochv v svjazi s istoriej formirovanija pojm [Mechanical composition of floodplain soils in connection with the history of floodplain formation], *Pochvovedenie*, 1958, no. 7, p. 112–116. (In Russian)
- Shancer E.V. *Očerki učenija o geneticheskikh tipah kontinental'nyh osadochnyh obrazovanij* [Essays on the theory of genetic types of continental sedimentary formations], Trudy, Moscow, Nauka Publ., 1966, vyp. 161, 242 p. (In Russian)
- Smirnov V.N. *Pochvy Marijskoj ASSR, ih genezis, evoljucija i puti uluchshenija* [Soils of the Mari ASSR, their genesis, evolution and ways of amelioration], Joshkar-Ola, Marijsk. kn. izd-vo Publ., 1968, 532 p. (In Russian)
- Sutherland R. Bed Sediment-Associated Trace Metals in an Urban Stream, Oahu, Hawaii, *Environmental Geology*, 2000, vol. 39, p. 611–627, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s002540050473>.
- Tjulín V.V. *Pochvy Kirovskoj oblasti* [Soils of the Kirov region]. Kirov: Volgo-Vjatskoe kn. izd-vo, Kirovskoe otd. Publ., 1976, 288 p. (In Russian)
- Vorob'ev A.Ju., Krivcov V.A., Kadyrov A.S. *Sovremennaja dinamika nakoplenija i sostav alljuvija priruslovoj pojmy reki Oki* [Modern dynamics of accumulation and composition of alluvium in the Oka River floodplain], *Uchen. zap. Kazan. un-ta, Ser. Estestvennye nauki*, 2021, vol. 163, iss. 4, p. 603–625, DOI: 10.26907/2542-064X.2021.4.603-625. (In Russian)
- Wang L., Cuthbertson A.J.S., Pender G. et al. Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs, *International Journal of Sediment Research*, 2015, vol. 30, p. 306–320, DOI: 10.1016/j.ijsrc.2015.03.010.
- Zhang J., Liu C.L. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China – Weathering Features, Anthropogenic Impact and Chemical Fluxes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54, p. 1051–1070, DOI: 10.1006/ecss.2001.0879.
- Web source*
 SanPiN 1.2.3685-21 “Gigienicheskie normativy i trebovanija k obespečeniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredy obitanija” [Sanitary rules and regulations 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans], Moscow, 2021, 988 p. URL: https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf (access date 12.02.2024). (In Russian)

Received 11.12.2024

Revised 05.06.2025

Accepted 28.08.2025

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Общие требования к статье

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Объем статьи (текст, таблицы, список литературы, рисунки, перевод на английский) не должен превышать 1 а. л. (40 тыс. печатных знаков, включая пробелы, 5 рисунков), не более 50 тыс. знаков для обзорных статей. Объем кратких сообщений составляет 0,25 а. л. Рекомендуемый список литературы – до 30 наиболее актуальных работ по рассматриваемому вопросу. В обзорных статьях список литературы не должен превышать 60 источников. Для кратких сообщений список литературы может быть до 10 источников. Самоцитирований в списке литературы не должно быть более 10% от общего числа использованных источников.

Статья должна быть четко структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Все материалы статьи компонуется **в единый сводный файл в формате Word** и размещаются в нем в следующей последовательности:

1. УДК;
2. Название статьи;
3. Инициалы и фамилия автора(ов);
4. Для каждого автора приводится полное название учреждения, в котором выполнялось исследование, подразделение (кафедра, лаборатория и т. п.), уч. степень, должность, *e-mail*;
5. Аннотация статьи;
6. Ключевые слова;
7. Текст статьи;
8. Благодарности, в том числе – финансирование;
9. Список литературы;
10. Таблицы;
11. Подписуточные подписи;
12. Рисунки;
13. Перевод на английский язык пунктов 2–6, 8–9, 11. В пункте 4 просьба использовать в переводе официальное наименование организации на английском языке (а не собственный вариант перевода).

Подготовка текста

Текст набирается 12 кеглем через один интервал, поля слева, сверху и снизу – 2 см, справа – 1,5 см. Не допускается использование табулятора или пробелов для обозначения абзаца, ручных переносов в словах, переносов строк клавишей Enter в рамках одного предложения, разрывов страниц и разделов. В тексте статьи возможно использование полужирного шрифта и курсива для смысловых выделений, однако не должно использоваться подчеркивание. Десятичная часть чисел отделяется запятой.

Формулы набираются в редакторе формул в отдельную строку и имеют сквозную нумерацию по всей статье, выровненную по правому краю строки.

Таблицы набираются в Word, не допускается разделение ячеек косой линией. Ручные переносы не допускаются.

Рисунки представляются отдельными файлами, названными по их номерам (например: рис.1.tiff, рис.2.jpg), в графическом формате (eps, tif, jpg) разрешением не менее 300 dpi для полутонных и 600 dpi для черно-белых изображений и графиков. Для графиков, выполненных в Excel, дополнительно прилагаются соответствующие файлы Excel. Картинки должны быть полностью готовы к изданию. Представление рисунков в виде схем Word или набранного текста с добавлением графических элементов, наложенных сверху, **не допускается**.

Ссылка на источник в тексте документа указывается в квадратных скобках. В тексте ссылки через запятую указывается фамилия автора и год издания. Если ссылок несколько – они отделяются друг от друга точкой с запятой. Ссылка на источник на иностранном языке указывается на языке оригинала. Список русскоязычной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, 7.82–2001 и 7.0.5–2008. DOI (при наличии) указывается в конце ссылки. Ссылка на источник на английском языке оформляется единообразно и в русскоязычном, и в переведенном на английский язык списке литературы. **При наличии у русскоязычного издания, которое фигурирует в списке литературы, оригинальной или переводной англоязычной версии в ссылке должна быть указана именно она, а не русскоязычный вариант.**

Более подробные инструкции по подготовке статей для авторов можно найти на сайте журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться автору на переработку.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел. +7(495)9392923. Сайт журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Электронная почта: vestnik_geography@mail.ru.

Плата за публикацию не взимается

У Ч Р Е Д И Т Е Л И :

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
географический факультет МГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.А. ДОБРЮЛОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН (главный редактор)
В.С. ТИКУНОВ, доктор географических наук, профессор (зам. главного редактора)
Е.А. ЕРЕМЕНКО, кандидат географических наук (ответственный секретарь)
А.И. АЛЕКСЕЕВ, доктор географических наук, профессор
С.И. БОЛЫСОВ, доктор географических наук, профессор
А.Н. ГЕННАДИЕВ, доктор географических наук, профессор
К.Н. ДЬЯКОНОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН
С.С. ЗИЛИТИНКЕВИЧ, доктор географических наук, профессор (Метеорологический институт Финляндии)
О.Г. ЗОЛИНА, профессор (Университет Ж. Фурье, г. Гренобль, Франция)
В.Ю. ИВАНОВ, профессор (Мичиганский университет, США)
Н.С. КАСИМОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН
А.В. КИСЛОВ, доктор географических наук, профессор
В.А. КОЛОСОВ, доктор географических наук, профессор
К.П. КОЛТЕРМАНН, профессор
М. КОНЕЧНЫ, профессор (Университет г. Брно, Чешская Республика)
С.Б. КРООНЕНБЕРГ, профессор (Технологический университет г. Делфт, Нидерланды)
С.М. МАЛХАЗОВА, доктор географических наук, профессор
Г. МОУРИ, профессор (Университет г. Токио, Япония)
С.А. СОКРАТОВ, кандидат географических наук, PhD
П.Е. ТАРАСОВ, доктор наук, профессор (Берлинский Свободный университет, Германия)
Н.Л. ФРОЛОВА, доктор географических наук, профессор
В.Е. ШУВАЛОВ, кандидат географических наук, доцент
Т.А. ЯНИНА, доктор географических наук, профессор
В.В. ЯНКО-ХОМБАХ, доктор геолого-минералогических наук, профессор (Институт прикладных исследований Авалон, г. Виннипег, Канада)

EDITORIAL BOARD:

S.A. DOBROLUBOV, doctor of science, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor (Editor-in-chief)
V.S. TIKUNOV, doctor of science, professor (Deputy Editor-in-chief)
E.A. EREMENKO, candidate of science (Secretary-General)
A.I. ALEKSEEV, doctor of science, professor
S.I. BOLYSOV, doctor of science, professor
A.N. GENNADIYEV, doctor of science, professor
K.N. D'YAKONOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor
S.S. ZILITINKEVICH, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)
O.G. ZOLINA, professor (Fourier University, Grenoble, France)
V.YU. IVANOV, professor (Michigan University, USA)
N.S. KASIMOV, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor
A.V. KISLOV, doctor of science, professor
V.A. KOLOSOV, doctor of science, professor
K.P. KOLTERMANN, professor
M. KONECNÝ, professor (Masaryk University, Faculty of Science, Czech Republic)
S.B. KROONENBERG, professor (Delft University of Technology, Department of Applied Earth Sciences, Netherlands)
S.M. MALKHAZOVA, doctor of science, professor
G. MOURI, professor (University of Tokyo, Japan)
S.A. SOKRATOV, candidate of science, PhD
P.E. TARASOV, professor (Free Berlin University, Germany)
N.L. FROLOVA, doctor of science, professor
V.E. SHUVALOV, candidate of science, associate professor
T.A. YANINA, doctor of science, professor
V.V. YANKO-KHOMBACH, doctor of science, professor (Avalon Institute of Applied Sciences, Winnipeg, Canada)

Номер подготовили члены редколлегии

С.М. МАЛХАЗОВА, В.А. КОЛОСОВ

Редактор **Е.С. Повалишникова**

Адрес редколлегии:

119992, Москва, Ленинские горы, МГУ,
географический факультет, комн. 2108а. Тел. 7(495) 939-29-23

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ.
Свидетельство о регистрации № 1552 от 14 февраля 1991 г.

Подписано в печать 00.00.2016. Формат 60×90/8.
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсет. № 1. Офсетная печать. Усл. печ. л.
Уч.-изд. л. 00. Тираж экз. Изд. № 00000. Заказ №

Типография МГУ.
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 15.