

Вестник Московского университета

Серия 5 ГЕОГРАФИЯ

Издательство Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

2025 • Т. 80 • № 2

МАРТ–АПРЕЛЬ

Выходит один раз в два месяца

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

СОДЕРЖАНИЕ

География и экология

Третьяченко Д.А., Климанова О.А., Алексеева Н.Н. Геоэкологические последствия изменений наземного покрова в 1992–2020 гг. 3

Битюкова В.Р., Колдобская Н.А., Прусихин О.Е. Современные тенденции и факторы динамики эмиссии загрязняющих веществ от автотранспорта в Москве 19

Методы географических исследований

Лялина А.В. Факторы исходящей миграции населения Калининградской области: данные социологического опроса 34

Демидионов М.Ю. Оценка потенциала солнечной энергетики приграничных субъектов Дальневосточного федерального округа РФ с применением пространственного моделирования 43

Региональные исследования

Большов С.И., Бредихин А.В., Антонов С.И., Фузеина Ю.Н., Власов М.В., Еременко Е.А., Неходцев В.А., Беляев Ю.Р., Харченко С.В., Деркач А.А., Матлахова Е.Ю. Геоморфология Большой Москвы: исторический обзор 57

Романов А.А. Осенняя миграция воробьеобразных (Passeriformes) на плато Путорана 72

Леонов И.И., Соколичина Н.Н., Ильин В.И. Продолжительность периода с гололедно-изморозевыми отложениями в Арктической зоне Российской Федерации в условиях изменяющегося климата 84

Денисова А.П., Еременко Е.А., Мороз Е.А., Кохан А.В., Сухих Е.А., Ананьев Р.А., Соколов С.Ю. Морфология покмарок на шельфе Баренцева моря и определяющие ее факторы 99

Кокорин Д.В., Сорокин О.В. Изменение структуры иерархии авиаузлов России 116

Давиденко М.Р., Рахимова У.Р., Савоскул М.С., Чучкалов А.С. Территориальная мобильность населения города Кашина и окружающей его сельской местности в 2001–2024 гг. 128

Краткие сообщения

Виноградов Д.М., Смирнов И.П., Ткаченко А.А. Урбанизированность низовых районов Центральной России 140

Савенко А.В., Савенко В.С., Беликов Д.Н. Фтор в водах Баренцева моря 148

CONTENTS

Geography and ecology

- Tretyachenko D.A., Klimanova O.A., Alekseeva N.N.* Geoecological effects of land cover changes during 1992–2020.....3
- Bitukova V.R., Koldobskaia N.A., Prusikhin O.E.* Current trends and factors of the dynamics of pollutant emissions from motor transport in Moscow.....19

Methods of geographical studies

- Lialina A.V.* Factors of outmigration of the population of the Kaliningrad region: data from a sociological survey.....34
- Demidionov M.Yu.* Assessment of the solar energy potential in border regions of the Far Eastern federal district.....43

Regional studies

- Bolysov S.I., Bredikhin A.V., Antonov S.I., Fuzeina Yu.N., Vlasov M.V., Eremenko E.A., Nekhodtsev V.A., Belyaev Yu.R., Kharchenko S.V., Derkach A.A., Matlakhova E.Yu.* Geomorphology of Great Moscow: a historical review57
- Romanov A.A.* Autumn migration of passerine (Passeriformes) on the putorana plateau.....72
- Leonov I.I., Sokolikhina N.N., Ilyin V.I.* Duration of the period with ice accretion in the Arctic zone of the Russian Federation under the changing climate.....84
- Denisova A.P., Eremenko E.A., Moroz E.A., Kohan A.V., Suhii E.A., Ananiev R.A., Sokolov S.Yu.* Pockmarks morphology at the Barents Sea shelf and its determining factors.....99
- Kokorin D.V., Sorokin O.V.* Changing the structure of the hierarchy of Russian air hubs in 1960–2023.....116
- Davidenko M.R., Rakhimova U.R., Savoskul M.S., Chuchkalov A.S.* Territorial mobility of population of the town of Kashin and its rural environs during 2001–2024.....128

Short communications

- Vinogradov D.M., Smirnov I.P., Tkachenko A.A.* Urbanization level of the primary districts in Central Russia.....140
- Savenko A.V., Savenko V.S., Belikov D.N.* Fluorine in the Barents Sea waters.....148

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 911.52

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА В 1992–2020 гг.

Д.А. Третьяченко¹, О.А. Климанова², Н.Н. Алексеева³

^{1–3} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии*

¹ *Инженер; e-mail: daria.trt@gmail.com*

² *Проф., д-р геогр. наук; e-mail: oxkl@yandex.ru*

³ *И. о. зав. кафедрой, доц., канд. геогр. наук; e-mail: nalex01@mail.ru*

Происходящая вследствие роста антропогенной нагрузки трансформация землепользования и наземного покрова является одним из наиболее важных факторов глобальных изменений окружающей среды. Многочисленные исследования по данной тематике выполнены в глобальных, континентальных, страновых масштабах, а также для отдельных регионов и городов. Значительно реже динамика наземного покрова и обусловленные ею процессы изучаются в природно-зональных границах. В то же время именно такой подход позволяет определить направленность геоэкологических процессов, обусловленных изменениями землепользования, на зональном уровне. В связи с этим цель статьи – определение значимых направлений трансформации наземного покрова на глобальном уровне за тридцатилетний период (1992–2020) в границах экологических зон. В качестве источника использованы геопространственные данные «Инициативы по изменению климата» Европейского космического агентства ESA CCI LC. Исследование включало несколько этапов: 1) инвентаризацию и картографирование ареалов изменений и типов переходов между разными категориями наземного покрова за 1992–2020 гг. для 20 экологических зон (база данных включает 11 тыс. ареалов, охарактеризованных по семи параметрам: тип перехода, кодировка процесса, исходный и конечный тип наземного покрова, количество ячеек, количество ареалов, площадь ареала); 2) группировку выявленных 867 типов переходов по процессам трансформации и анализ проявления процессов в каждой из экологических зон; 3) оценку направленности выявленных изменений и их возможных геоэкологических последствий. В результате определены основные геоэкологические процессы трансформации наземного покрова, установлена их зональная специфика, в том числе различия их проявления в лесных и безлесных зонах, в пределах горных систем различных поясов. Установлено, что около 17% территорий с измененным наземным покровом характеризуются снижением или утратой биологической продуктивности, которые являются следствием опустынивания и обезлесивания земель, на 21% территорий произошло расширение площади антропогенно модифицированных и техногенных ландшафтов. Около трети всех изменений характеризуются процессами экореабилитации и восстановления экологического потенциала земель. Выявленные ареалы изменений могут рассматриваться как стадии динамичной перестройки природно-антропогенных систем и изменения их экосистемных функций, требующих более детального изучения.

Ключевые слова: экологические зоны, геопространственные данные, изменение землепользования, процессы трансформации, геоэкологические проблемы

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.1

ВВЕДЕНИЕ

Происходящая вследствие роста антропогенной нагрузки трансформация землепользования и наземного покрова является одним из наиболее важных факторов глобальных изменений окружающей среды. Трансформация наземного покрова оказывает существенное влияние на динамику природно-антропогенных ландшафтов, ход экодинамических

и биогеохимических процессов, устойчивость к внешним воздействиям, в том числе к изменению климата. Кроме того, сдвиги в землепользовании (массовая распашка, сведение лесов, опустынивание, застройка и создание техногенной инфраструктуры) рассматриваются как самостоятельный фактор потепления климата. Изучение землепользования и динамики наземного покрова в последнее

десятилетие стало важной составляющей многочисленных исследований в сфере оценки экологических услуг и сохранения экосистемного и биологического разнообразия [Niu et al., 2021; Li et al., 2022], основой для анализа региональных геоэкологических проблем (например, деградации земель, обезлесивания ландшафтов и т. п.) [Li et al., 2016; Potapov et al., 2022], разработки мер по адаптации к изменениям климата [Reinhart et al., 2022].

Многочисленные исследования трансформации землепользования выполняются на основе обработки данных дистанционного зондирования и глобальных баз геопространственных данных, позволяющих определять переходы классов наземного покрова за определенные периоды, местоположения с наибольшим динамизмом изменений и на этой основе выявлять доминирующие процессы/траектории развития природно-хозяйственных систем. Среди таких траекторий, имеющих глобальное и континентальное проявления, выделяют урбанизацию (расширение застроенных территорий), сведение лесов (это две доминирующие траектории), а также потерю и расширение сельскохозяйственных земель, опустынивание [Radwan et al., 2021].

За рубежом в науках об окружающей среде сформировалось отдельное научное направление, посвященное исследованиям изменений земель (Land change science) [Turner, et al., 2007], в рамках которого исследуются движущие силы изменений наземного покрова, возможные воздействия и потенциальные последствия динамики землепользования для природных и социально-экономических систем. Особое внимание уделяется картографированию этих изменений, которое рассматривается как ценный инструмент представления геопространственной информации для решения широкого спектра научных и прикладных экологических задач, в том числе планирования землепользования. Наукометрический анализ по тематике «Изменение землепользования/земельного покрова» с использованием баз данных Scopus, Web of Science и ScienceDirect за 1993–2022 гг. показал, что за этот период издано свыше 2700 научных статей, при этом ежегодный прирост исследований составляет 25% [Afuye et al., 2024]. В 2022 г. опубликовано свыше 560 статей. Лидерами научных исследований являются Китай и США (по количеству статей и общему цитированию).

Исследования трансформации наземного покрова и землепользования проводятся в глобальных, континентальных, страновых масштабах [Radwan et al., 2021; Chen et al., 2019], а также для отдельных регионов [Fernandez et al., 2020] и городских агломераций [Zhang et al., 2020]. В основном, в качестве операционных единиц выступают административно-территориальные образования, гораздо реже —

динамика наземного покрова и обусловленные ею процессы изучаются в границах природно-ландшафтных объектов.

Опыт применения глобальных баз данных по наземному покрову для анализа динамики природно-антропогенных ландшафтов поясов и зон имеется на кафедре физической географии мира и геоэкологии. Так, авторами использовалась карта «Географические пояса и зональные типы ландшафтов мира» (1988), позволившая получить географически привязанные данные о трансформации земной поверхности за 2001–2012 гг. на основе данных MODIS Land Cover в глобальном масштабе [Климанова и др., 2018], на уровне крупных регионов [Алексеева и др., 2019] и стран [Klimanova et al., 2017]. Установлено, что изучение динамики наземного покрова важно не столько для типологии и классификации современных ландшафтов, сколько для выявления экологически значимых трендов, обусловленных флуктуациями землепользования.

В данном исследовании динамика наземного покрова впервые соотносится с границами экологических зон, концепция которых была разработана ФАО ООН [Global Ecological..., 2012]. Под экологической зоной подразумевают область с относительно однородными природными растительными формациями, схожими по физиономическому облику. Границы экологических зон приблизительно совпадают с типами климата Кеппена-Треварта, разработанными с учетом термических показателей, количества и сезонности осадков. Тем самым по содержанию и критериям выделения они близки понятию «природная зона», принятому в отечественной физической географии. Всего выделяют 20 экологических зон, входящих в пять поясов (доменов) — тропический, субтропический, умеренный, бореальный, полярный, а также класс водных объектов. Большая часть экологических зон закономерно повторяется на материках, в каждом поясе выделяется по одной «горной зоне», которой соответствует понятие «спектр высотных зон». Экологические зоны фактически отражают генерализованную поясно-зональную дифференциацию суши земного шара на двух уровнях: поясном и зональном, без учета секторных закономерностей. Эта структура более упрощенная, чем схема поясно-зональной дифференциации, принятая в российской физической географии и ландшафтоведении [Романова и др., 2015]. Поскольку большинство мировых классификаций наземного покрова имеют достаточно обобщенный характер (не более 20 классов), это делает их сопоставление с глобальными экологическими зонами вполне корректным и дает представление о процессах трансформации экосистем на глобальном и зональном уровнях.

Цель статьи – определение значимых направлений трансформации наземного покрова мира на зональном уровне за период 1992–2020 гг. Выявленные ареалы с преобладающими направлениями трансформации наземного покрова в конкретных зонально-климатических условиях могут рассматриваться как стадии динамичной перестройки природно-антропогенных систем и изменения их экосистемных функций. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) выявление ареалов изменений и инвентаризация типов переходов между категориями наземного покрова; 2) группировка выявленных типов переходов по процессам трансформации и оценка степени их выраженности в границах экологических зон; 3) определение возможных геоэкологических последствий выявленных процессов трансформации наземного покрова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по динамике наземного покрова глобального и регионального масштабов проводятся либо на основе дешифрирования разновременных космических снимков, либо с использованием готовых баз геопространственных данных по наземному покрову, которые получены на основе обработки ДДЗ с различных съемочных аппаратов и систем. Оба эти подхода имеют свои преимущества и недостатки. Возможности их использования для геоэкологических исследований рассмотрены в статье [Алексеева и др., 2017]. В случае использования тематических баз данных по наземному покрову следует учитывать ряд неопределенностей в итоговом наборе данных за длительный период, связанных с различными процедурами классификации, атмосферными возмущениями, а также изменениями спутниковых датчиков и алгоритмов получения космических изображений. Несоответствия между источниками данных могут также быть результатом ошибок, вызванных погрешностями географической привязки данных дистанционного зондирования или обобщением векторных карт [Castilla, Nau, 2007]. Это влияет на качество статистики как по отдельным классам наземного покрова, так и на соответствие многолетних наборов данных. Число баз данных постоянно увеличивается, в настоящее время в открытом доступе представлено около 60 глобальных и региональных баз по землепользованию и наземному покрову с разрешением от 1 км до 10 м и около 50 тематических продуктов [Wang et al., 2023].

Задаче выделения ареалов однотипных изменений землепользования за 30-летний период наиболее соответствуют данные, полученные в рамках проекта по наземному покрову «Инициативы по

изменению климата» Европейского космического агентства (ESA CCI LC), предоставляющего согласованные карты, начиная с 1992 г. в системе классификации наземного покрова (*Land Cover Classification System*) ФАО ООН. Классификация, принятая ФАО, обеспечивает единообразную основу для картирования наземного покрова суши, позволяющую отнести каждый пиксел к одному из заранее определенных классов. Преимуществом этих данных является достаточно дробный уровень дифференциации наземного покрова (22 категории), в то время как другие базы данных, даже с большим пространственным разрешением, имеют вдвое меньшее число генерализованных категорий [Wang et al., 2023]. Данные ESA CCI LC проходят строгий процесс верификации (средняя общая точность карт за период 2016–2020 гг. оценивается в 70,82% (<https://ceos.org/gst/cci-lc.html>)) и регулярно обновляются. Используемые в работе данные имеют достаточно низкое пространственное разрешение 0,002778° (~300 м), что, с одной стороны, облегчает компьютерную обработку данных, а с другой – дает более генерализованную картину для глобального уровня, чем данные высокого разрешения (10, 30 м). Отметим, что среднее пространственное разрешение (230 м) также используется для картографирования типов экосистем/растительности России ИКИ РАН за 2000–2018 гг. (легенда близка к категориям наземного покрова) [Барталев и др., 2011].

Легенда карт ESA CCI LC включает 22 основных (в легенде индекс оканчивается на 0) и 15 дополнительных классов наземного покрова в отдельных, верифицированных специалистами регионах [The European Space..., 2024]. При этом эти дополнительные классы отражают процесс разделения основных в тех регионах, где это было возможным, т. е. на мировой карте одновременно присутствуют и основные, и дополнительные классы. Каждая из категорий имеет трехзначный индекс, в котором первая (для двузначных) или первые две (для трехзначных) цифры отражают основной класс.

В то же время указанный источник имеет и ряд недостатков. Так, для класса 220 (*вечные снега и ледники*) авторы базы данных наземного покрова использовали данные Randolph Glaciers Inventory, согласно которой эта категория остается неизменной в течение всего рассматриваемого периода [Product Quality..., 2024], что не вполне согласуется с другими данными (например, [National Snow and Ice Data Center, 2024]).

Обработка исходных данных проводилась в программном пакете ArcMap методом анализа наложения растров в несколько этапов. На этапе подготовки данных из растров наземного покрова

были удалены пиксели Мирового океана, которые не изменили своих значений за наблюдаемый период (5,6 млрд пикселей) (пиксели морей и океанов, которые участвовали в какой-либо трансформации, были сохранены). Это было сделано с целью уменьшения объема обрабатываемых значений. Также все пиксели водных объектов, находящиеся внутри континентов, были сохранены независимо от того, были они трансформированы или нет. Затем для каждого из типов наземного покрова была определена площадь в 1992 и 2020 гг., выявлены ареалы, подвергшиеся изменениям за указанный период, а также типы переходов между категориями наземного покрова, вызвавшие эти изменения. На этом этапе для каждого типа наземного покрова были выполнены картографические визуализации, позволившие как частично верифицировать результаты, так и выявить географию явлений.

Затем на получившийся растр изменений был наложен растр глобальных экологических зон, предварительно преобразованный из векторного формата. Сопоставление площадей итоговых растров выявило расхождение их площадей (–2,67% для всей суши земного шара в растре изменений), неизбежно связанное с технологией наложения. Максимальные расхождения площадей раstra глобальных экологических зон и изменений наземного покрова были отмечены для зон 41 (бореальные хвойные леса) и 42 (бореальные тундровые редколесья), минимальные – для зоны 25 (горные системы субтропического пояса). Отметим, что именно указанные ограничения обусловили выбор процентного соотношения площадей в пределах зон, а не абсолютных показателей в итоговом представлении результатов. На этом этапе были получены расчетные таблицы с данными о площади ареалов изменений и типов переходов в пределах каждой из глобальных экологических зон. Потом, исходя из содержания категорий легенды и географической приуроченности ареалов изменений, выявленные типы переходов были объединены в 24 процесса трансформации наземного покрова. В программе Excel рассчитана доля процессов в структуре изменений наземного покрова в каждой из экологических зон, а также проведено их обобщение, позволившее выявить основные направления изменений, имеющие сходные геоэкологические последствия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты: 1) карта и база данных ареалов изменений и типов переходов между разными категориями наземного покрова за 1992–2020 гг. для 20 экологических зон (включает 11 тыс. ареалов, охарактеризованных по семи значимым

параметрам: тип перехода, кодировка процесса, исходный и конечный типы наземного покрова, количество ячеек, количество ареалов, площадь ареала); 2) группировка выявленных 867 типов переходов по процессам трансформации и соотношению процессов в каждой из экологических зон; 3) оценка направленности выявленных процессов и их возможных геоэкологических последствий.

Рассмотрим особенности трансформации наземного покрова/землепользования в разных экологических зонах и на материках за последние 30 лет, а также основные процессы, обусловленные ими. На карте (рис. 1) красным цветом показаны ячейки, где за 1992–2020 гг. произошли изменения наземного покрова и, следовательно, изменились характер и интенсивность многих геоэкологических процессов. Содержание категорий наземного покрова и их индексы представлены в легенде к карте. Фон даны типы наземного покрова по состоянию на 2020 г. Природно-зональная дифференциация суши показана границами экологических зон с цифровыми индексами. Их кодировка представлена в соответствии с концепцией ФАО: первая цифра характеризует пояс (от 1 до 5), вторая – собственно зону.

Процессы трансформации наземного покрова по-разному проявились в глобальных экологических зонах. Наибольшие в процентном отношении изменения (до 9% площади зоны) произошли в пределах влажных тропических (дождевых) лесов (11) и бореальных тундровых редколесий (42), наименьшие – в зоне тропических пустынь (15) и практически повсеместно в пределах полярного пояса (50) (рис. 2). Последнее, как сказано выше, объясняется исходными данными, в которых не отражены изменения ледовой обстановки. В большинстве экологических зон изменения затронули 5–7% площади, практически вне зависимости от общих размеров зон, которые различаются на порядок. Так, площадь зоны 11 составляет чуть более 14 млн км², а зон 22 и 31 – 1,5 и 1,7 млн км² соответственно.

Полученные переходы классов наземного покрова были проанализированы и сгруппированы таким образом, чтобы выявить основные процессы трансформации. Под процессом трансформации наземного покрова ниже понимается совокупность типов переходов, объединенных по одному из трех принципов: 1) единая первоначальная категория наземного покрова; 2) единая конечная категория; 3) собственно содержание процесса трансформации в контексте состояния современных ландшафтов. К первой группе, например, было отнесено сведение лесной растительности на землях, ранее занятых лесами, ко второй – полная утрата растительности на месте различных категорий земель, к третьей – рост городских земель, распахка и т. д.

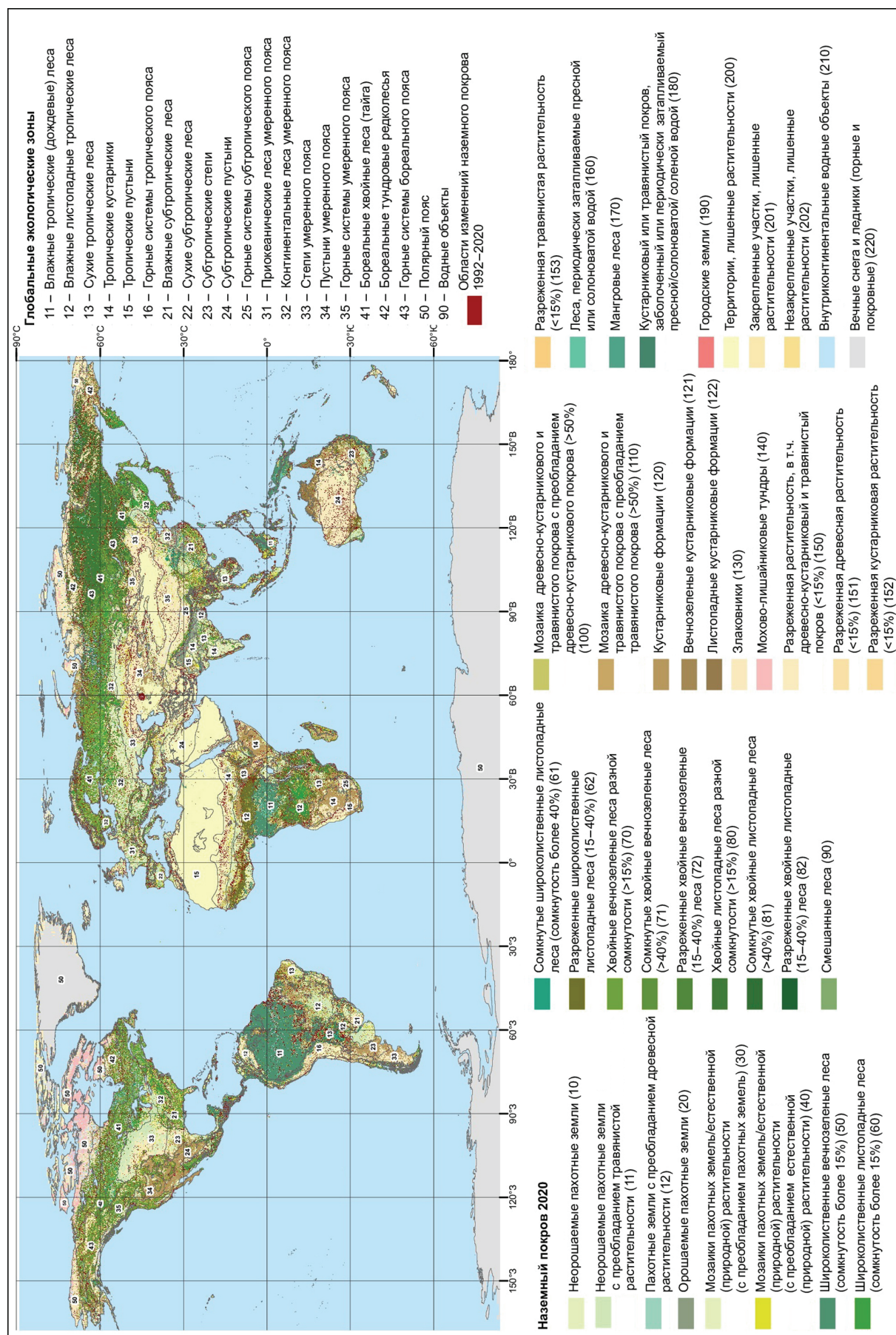


Рис. 1. Области изменений наземного покрова за период 1992–2020 гг.

Fig. 1. Areas of land cover change for the period 1992–2020

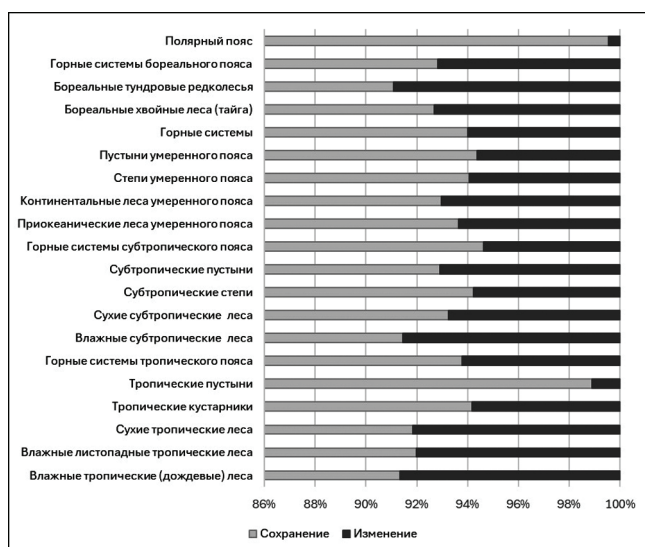


Рис. 2. Доля ареалов изменений наземного покрова в 1992–2020 гг. от общей площади экологических зон (%)

Fig. 2. The share of areas of land cover changes in 1992–2020 from the total area of the ecological zones (%)

Всего было выделено 24 процесса трансформации наземного покрова, которые в границах экологических зон имеют разную структуру и распространение (табл. 1). Жирным шрифтом выделены процессы, на которые приходится более 5% от всей площади изменений). Далее выделенные 24 процесса были сгруппированы в пять направлений трансформации земель, определяющих функционально-динамические особенности текущего развития природно-антропогенных ландшафтов, в том числе их экосистемные функции.

На основе представленных результатов проанализируем зональные и региональные особенности выявленных процессов трансформации¹.

Тропический пояс. В соответствии с классификацией ФАО к этому поясу отнесены территории со среднегодовыми температурами более +18°C. По российской систематике этот пояс (домен) включает экваториальный, субэкваториальный и собственно тропический географические пояса. Это крупнейший пояс в системе глобальных экологических зон (более 30% площади суши), его геоэкологическое значение определяется прежде всего важной ролью в формировании тепло- и влагооборота земного шара, а также высокой продуктивностью экосистем. Одновременно этот пояс (за исключением зоны тропических пустынь) концентрирует значительную часть густонаселенных стран мира, а также представляет собой зону наиболее активной урбанизации на земном шаре. Наибольшие по площади ареалы измене-

ний (не только в поясе, но и на всем земном шаре) приходится на зоны влажных тропических (дождевых лесов) и листопадных лесов. Наземный покров этих зон неоднороден и довольно сильно трансформирован. По нашим расчетам, среди ареалов, не претерпевших изменения, в 2020 г. в зоне дождевых лесов 67% составляли собственно влажные вечнозеленые широколиственные леса (с сомкнутостью крон более 15%), распространены также листопадные леса, затопляемые и заболоченные массивы, мозаики древесно-кустарниковой растительностью с различной долей пашен. Как видно на рис. 1, крупные ареалы изменений охватывают юго-восточную периферию дождевых лесов Амазонии, мозаики лесов и сельскохозяйственных земель на равнинах островов Малайского архипелага, в остальных районах изменения очаговые. В структуре процессов высока роль фрагментации древесного покрова (41% территории, где произошли изменения наземного покрова), связанной с выборочными рубками, подсечно-огневой и переложной системами земледелия, меньшая доля приходится на распашку на месте лесов и мозаик (около 10%). Примерно одинаковую долю (свыше 7%) в структуре процессов вследствие трансформации землепользования имеют зарастание и восстановление лесов на мозаиках.

Зона влажных листопадных тропических лесов (12), лежащая в пределах субэкваториального географического пояса, совпадает с густонаселенными территориями Африки, Южной Америки и Азии. В 1992–2020 гг. здесь зафиксированы существенные изменения наземного покрова (основные классы – широколиственные листопадные леса, неорошаемые пашни, в Азии – орошаемые пашни, разнообразные мозаики). Среди процессов отмечается восстановление лесов на землях, ранее не занятых лесной растительностью (свыше 19%), примерно равен вклад распашки на месте нелесных классов наземного покрова (14%), а также лесов и мозаик с участием древесной растительности (около 12%), фрагментации лесного покрова (13%), сведения лесной растительности на землях, ранее занятых лесами (12,5%).

Зона сухих тропических лесов (13) представлена массивами лесов, мозаиками древесно-кустарникового и травянистого покрова, орошаемыми и неорошаемыми пашнями. Крупные очаги изменений в пределах зоны приурочены к Бразильскому плоскогорью, Восточно-Африканской области и Индокитаю. Отмечаются процессы сведения лесов на ранее лесных землях (24,5%), зарастания лесами территорий, не занятых лесной растительностью (свыше 16%), распашки на месте лесов и мозаик (около 15%) и распашки на месте иных типов наземного покрова (около 13%). Экстенсивное расширение пахотных земель – наиболее выраженная тенденция изменения землепользования.

¹ Из рассмотрения исключен полярный пояс ввиду неполной представленности в базе данных материалов, характеризующих изменение площадей, занятых вечными снегами и ледниками, а следовательно, и другими типами наземного покрова.

Таблица 1

**Процессы и направления изменений, обусловленные трансформацией наземного покрова/землепользования
за период 1992–2020 гг., % от площади экологической зоны**

		Тропический пояс										Субтропический пояс										Умеренный пояс										Бореальный пояс			
		11*	12	13	14	15	16	21	22	23	24	25	31	32	33	34	35	41	42	43															
	Экологические зоны																																		
	Процессы трансформации																																		
I	1 Деградация пахотных земель	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	0,0	0,1	0,4	0,3	0,4	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0															
	Полная утрата растительности																																		
	2 на лесных землях	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	0,1	0,7	0,6	0,1	1,3	0,1	0,2	0,7	0,4	1,4	0,5	1,0	3,3															
	3 травяных и кустарниковых формаций	0,0	0,1	0,2	18,9	20,1	5,8	0,0	0,7	1,7	24,9	9,0	0,1	0,0	5,5	6,9	12,8	0,1	0,6	1,1															
	4 сведение древесной растительности на землях, ранее занятых лесами	5,7	12,5	24,5	4,5	0,6	8,3	10,3	7,4	7,3	4,0	13,2	7,7	6,7	4,4	2,6	17,0	16,3	15,2	33,0															
	Заращение																																		
	5 земель, ранее лишенных растительности	0,0	0,0	0,2	29,2	31,6	11,4	0,0	2,3	15,5	13,0	14,4	0,0	0,0	3,8	41,2	15,7	0,1	1,0	0,9															
	6 земель с разреженной растительностью	0,0	0,0	0,1	12,3	17,9	3,3	0,0	0,6	4,0	44,4	2,3	0,0	0,1	11,5	12,4	4,3	1,8	18,2	3,5															
	7 обрабатываемых неорошаемых пахотных земель	1,6	3,3	2,9	3,4	0,4	4,0	3,7	4,6	2,9	0,2	2,9	7,5	6,6	3,9	0,4	1,9	0,6	0,0	0,3															
	8 регулярно обрабатываемых орошаемых земель	0,1	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	0,2	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0															
	9 использовавшихся под плантации	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0															
	10 мозаик сельскохозяйственных земель и естественной растительности	7,6	5,1	2,9	1,4	0,1	5,0	7,8	2,9	0,6	0,0	2,2	6,6	6,5	1,7	0,4	2,6	0,9	0,0	0,9															
	11 Лесовосстановление на мозаиках разного типа	7,2	7,5	6,8	2,4	0,6	12,9	6,4	11,5	2,3	0,6	11,5	8,4	12,9	1,7	0,5	7,1	4,7	6,6	6,0															
	Заращение лесами территорий																																		
	12 с разреженной или полным отсутствием растительности (облесение)	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	1,3	10,1	3,5															
	13 ранее не занятых лесной растительностью	5,1	19,2	16,1	7,8	1,5	16,5	6,7	5,1	1,3	4,7	9,2	4,4	3,1	12,8	5,8	6,3	3,7	13,2	7,8															
III	14 Закустаривание	0,1	1,3	2,1	2,2	1,3	1,4	0,6	1,7	2,1	0,8	0,4	0,2	0,0	1,5	0,2	0,4	0,7	1,2	1,8															
	15 Изменение породного состава лесов	2,1	0,9	0,1	0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,1	0,0	0,2	0,4	0,2	0,8															
	16 Фрагментация древесного покрова	40,8	13,0	8,6	0,6	0,1	13,0	22,2	11,1	1,8	0,4	6,8	14,9	11,0	1,9	0,5	8,9	19,8	10,8	25,5															
	17 Осушение водоемов	0,8	0,6	0,7	0,5	3,0	0,4	1,1	0,6	0,5	1,5	0,5	0,9	0,6	1,0	1,8	0,5	3,4	3,4	0,7															
IV	18 Осушение переувлажненных земель	4,6	1,6	1,0	0,1	0,0	0,5	2,6	0,9	0,2	0,2	0,1	1,5	6,0	0,2	0,1	1,4	25,2	9,6	3,7															
	19 Частичное подтопление и заболачивание	6,1	3,7	1,6	0,3	0,1	0,7	1,7	0,2	0,3	0,1	0,2	0,6	1,2	0,3	0,1	0,4	11,4	4,7	4,0															
	20 Полное затопление	3,6	1,7	0,8	0,6	2,3	0,4	1,2	1,6	0,8	0,4	0,9	1,3	2,0	1,3	1,1	1,6	4,1	3,9	0,8															

Окончание таблицы 1

		Тропический пояс							Субтропический пояс							Умеренный пояс							Бореальный пояс			
		11*	12	13	14	15	16	21	22	23	24	25	31	32	33	34	35	41	42	43						
V	Экологические зоны																									
	Распашка на месте																									
	21 лесов и мозаик с участком древесной растительности	9,8	11,9	14,7	0,4	0,1	7,6	10,2	8,2	1,4	0,1	4,0	9,4	16,1	1,1	0,3	3,7	3,7	0,1	1,3						
	22 иных типов наземного покрова	1,0	14,0	12,9	11,4	10,1	4,9	3,8	18,2	19,6	2,3	14,0	4,8	3,7	39,2	20,9	6,5	0,6	0,0	0,6						
	23 Осушение и распашка	1,0	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	1,7	0,4	0,2	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0						
24	Рост площади городских земель	2,4	2,8	3,1	3,3	9,0	3,0	19,2	20,1	7,3	2,0	5,9	30,8	22,5	6,6	3,2	6,6	0,6	0,0	0,5						

Примечание. Направления изменений: I – снижение или утрата продуктивности, в т. ч. опустынивание и обезлесивание; II – экореабилитация и лесовосстановление; III – нарушение и трансформация лесной и кустарниковой растительности; IV – осушение и затопление территории; V – расширение антропогенно модифицированных и техногенных ландшафтов.

* Нумерация зон соответствует рис. 1.

Зона тропических кустарников (14) (фактически семиаридные области субэкваториального тропического географического пояса), представленная в основном в Африке и Южной Азии, характеризуется разными классами наземного покрова – от орошаемых пашен в Индии до земель с разреженной древесно-кустарниковой растительностью (<15%) в Сахеле, где отмечается четкая субширотная концентрация изменений наземного покрова. Наибольшие изменения связаны с процессом зарастания земель, лишенных растительности и с разреженной растительностью (свыше 29 и 12%), утраты растительности травяных и кустарниковых формаций (около 19%) и распашки (свыше 11%).

Наиболее засушливая и наименее продуктивная зона тропических пустынь (15) в Африке и Азии изменена незначительно, отдельные очаги трансформации наземного покрова имеются на Аравийском полуострове и, в больших масштабах, по периферии пустыни Намиб. Набор процессов практически такой же, как в зоне тропических кустарников. Среди ключевых – зарастание земель, лишенных растительности (около 32% от всей площади изменений), утрата растительности травяных и кустарниковых формаций (более 20%), зарастание земель с разреженной растительностью (около 18%) и распашка (10%).

Горные системы тропиков (16) характеризуются разнообразными процессами, обусловленными широким распространением гор – Центральной Америки до Новой Гвинеи. В результате трансформации землепользования здесь отмечаются процессы зарастания лесами территорий, ранее не занятых лесной растительностью (16,5%), закустаривания (13%), лесовосстановления на мозаиках (около 13%), а также зарастания земель, лишенных растительности (свыше 11%).

Субтропический пояс. Наибольшие изменения наземного покрова затронули зоны влажных и сухих лесов (21, 22), где представлены орошаемые и неорошаемые пашни, мозаики с преобладанием пашен и леса. Основные ареалы изменений сконцентрированы в густонаселенных областях Восточного Китая, особенно вдоль побережья, а также на юге Пиренейского полуострова, в прибрежных районах Малой Азии, на юго-востоке США, в меньшей степени – в Уругвае. Основные процессы в зоне влажных субтропических лесов – фрагментация древесного покрова (22%), рост городской застройки (19%) и расширение распашки на месте лесов и мозаик (свыше 10%). В зоне сухих лесов преобладают процессы роста городской застройки (свыше 20%) и распашки (18%). Примерно одинаковая доля (по 10%) приходится на процессы фрагментации древесного покрова и лесовосстановления на мозаиках.

Субтропические степи (23) в Северной и Южной Америке представлены мозаиками древесно-кустарникового и травянистого покрова с преобладанием последнего (>50%), в Передней Азии тип наземного покрова отличается: здесь доминируют пашни и мозаики с преобладанием обрабатываемых земель. Отдельные очаги изменений имеются в степной зоне в южной части Великих равнин, в центральной части Аргентины, в Плодородном полумесяце (Сирии и Ираке). Отмечаются два основных процесса – распашка территорий (на 19,6%) и зарастание земель, лишенных растительности (15,5%); второй связан с появлением растительности на залежах, обычно практикуемых в системе богарного земледелия в субтропиках.

Пустыни субтропиков (24) по структуре наземного покрова также отличаются по материкам – в Северной Америке широко распространен класс мозаик древесно-кустарникового и травянистого покрова с преобладанием травяного покрова (>50%), а в Азии – земли, лишенные растительности. Изменения наземного покрова в пустынях отмечаются в основном на западе Ирана и в Высоком Атласе. Абсолютно преобладает процесс зарастания земель с разреженной растительностью (свыше 44% изменившихся ячеек), а также утраты растительности травяных и кустарниковых формаций (25%). В горах субтропиков (25) изменения отмечаются на всех материках, как очаговые, так и крупнодисперсные (как, например, в горах на юге Китая).

Умеренный пояс. Лесные зоны характеризуются равномерно-дисперсной трансформацией наземного покрова (представлен разными типами суббореальных лесов, мозаик и пашен). В зоне приокеанических лесов (31), выделяемой в Западной Европе, Чили, Новой Зеландии, основной процесс, отмечаемый на 31% всех измененных ячеек, – расширение городской застройки. Далее следуют фрагментация лесного покрова (15%) и распашка на месте лесов и мозаик с участием древесной растительности (9,4%). В континентальных лесах умеренного пояса (32), отличающихся более разнообразным наземным покровом, наибольшая концентрация изменений приурочена к северной периферии лесной зоны в европейской части России и на юге Западной Сибири, в меньшей – к востоку США и северо-востоку Китая. В данной зоне лидируют два процесса: на 22,5% всех измененных ячеек зафиксировано увеличение площадей под городской застройкой и на 16% – распашка на месте лесов и мозаик с участием древесной растительности. Отмечается также лесовосстановление на мозаиках сельскохозяйственных угодий и естественной растительности, мозаиках древесно-кустарниковой и травяной растительности (на 13% ячеек), что характерно для стран Евро-

пы, Китая, США, а также фрагментация древесного покрова (11%).

В степной зоне (33) на всех материках доминируют классы наземного покрова неорошаемых пашен с травянистым покровом (посевы зерновых), мозаики пахотных земель и разреженная травяная растительность. Наибольшее скопление ячеек с изменениями отмечается вдоль северной границы Казахстана и в пределах Казахского мелкосопочника; в степной зоне Северной Америки плотность изменений существенно меньше, в основном они сконцентрированы на Великих равнинах в США, близ Скалистых гор. Набор процессов, связанных с изменениями землепользования, иной. Здесь абсолютно преобладает процесс распашки (39%), а также зарастания лесами земель, ранее не занятых растительностью (около 13%), и зарастания земель с разреженной растительностью (11,5%). Расширение городской застройки проявилось на 6,6% ячеек с изменениями наземного покрова. Таким образом, расширение обрабатываемых площадей по-прежнему играет основную роль в трансформации ландшафтов степной зоны.

Зона пустынь умеренного пояса (34) представлена, в основном, землями с разреженной травяной растительностью, лишенными растительности и мозаиками с преобладанием травяного покрова. Наземный покров изменен неравномерно: мелкодисперсные очаги имеются в Северной Америке, очень высокая плотность изменений отмечается в бассейне Аральского моря, меньшая – вдоль северной периферии пустынь Казахстана. Центральные части огромной пустынной зоны в Китае и Монголии вообще не претерпели изменений, за исключением периферических частей, прилегающих к горному обрамлению Тянь-Шаня и Куньлуня. Основные процессы, происходящие в пустынной зоне – зарастание земель, ранее лишенных растительности (на 41% ячеек с изменениями), распашка (около 21%) и зарастание земель со скудной, разреженной растительностью (12%). Таким образом, в пустынной зоне умеренного пояса доминируют процессы зарастания, что соответствует тренду на позеленение аридных территорий, выявленных на основе анализа NDVI.

Горные ландшафты умеренного пояса (35) в горах Евразии, Кордильерах, на юге Анд трансформированы очагово, что свидетельствует о сложившейся устойчивой структуре землепользования. Иная ситуация на Тибетском нагорье, где концентрация изменений в западных и центральных областях намного выше, чем на востоке. Доминирующим процессом является сведение лесной растительности на ранее лесных землях, которое отмечается на 17% площади изменений,

далее – зарастание земель, ранее лишенных растительности (на 15,7%), что, вероятно, отражает снижение хозяйственной нагрузки и влияние климатических изменений, на 13% фиксируется полная утрата травяных и кустарниковых формаций, характеризующая горные территории, испытывающие перевыпас и воздействие экзодинамических процессов. Около 9% изменившихся ячеек отражает процесс фрагментации горных лесов.

Бореальный пояс. Наибольшая концентрация изменений сосредоточена в зоне тундровых редколесий (лесотундры) (42), наземный покров которой, как у переходной зоны, достаточно пестрый: таежные леса, мохово-лишайниковые тундры и разреженная растительность, в т. ч. древесно-кустарниковый и травянистый покров (<15%). Изменения в зоне лесотундры фиксируются, в основном, близ ее северной и южной границ. Основные процессы, которые обусловлены выявленными переходами классов наземного покрова – осушение переувлажненных земель (свыше 18%), исчезновение лесной растительности на землях, ранее занятых лесами (15%), зарастание лесами безлесных территорий (свыше 13%), фрагментация древесного покрова (около 11%) и зарастание лесами территорий с разреженной растительностью или ее полным отсутствием (около 11%). Таким образом, для зоны тундровых редколесий характерны разнонаправленные процессы, которые имеют противоположные геоэкологические последствия. С одной стороны, на 41% всех измененных ячеек зафиксировано увеличение биомассы, развитие древесной растительности с учетом продвижения лесов на север, с другой, на 27% – деградация и снижение продуктивности экосистем.

В зоне тайги (41) с более однородной структурой наземного покрова (только в южных частях зоны появляются ареалы мозаик) изменения равномерны в Северной Америке, Европе, Западной и Средней Сибири. В Восточной Сибири наибольшие изменения затронули преимущественно северную периферию таежной зоны, а ее центральные ареалы почти полностью сохранились. Наиболее выраженные процессы, связанные с изменением землепользования в зоне тайги – прекращение режима заболачивания и зарастание лесами, часто редкостойными, на 25% всех измененных площадей, фрагментация древостоев (на площади свыше 20%), сведение лесов (16%), частичное подтопление и заболачивание лесов (11%). Горные ландшафты бореального пояса (43) с мозаичной структурой наземного покрова претерпели особенно сильные изменения в горах Забайкалья, Аляски и Северной Канады.

Таблица 2

Направления изменений наземного покрова и их основные геоэкологические последствия*

Направления изменений**	Геоэкологические последствия	Доля от мировых изменений, %
I. Снижение или утрата продуктивности, в т. ч. опустынивание и обезлесивание (1–4)	- Нарушение продукционных, поддерживающих и регулирующих экосистемных функций, в т. ч. снижение запасов углерода в растительности и почвах, нарушение биоразнообразия; - активизация процессов деградации земель (ускоренная эрозия, дефляция и др.); - увеличение потоков явного тепла, нарушение влагооборота в приземной атмосфере и т. п.	17
II. Экоореабилитация и лесовосстановление (5–13)	- Увеличение запасов биомассы и выполнения поддерживающих и регулирующих функций, в т. ч. сохранение и увеличение биоразнообразия, накопление углерода в растительности и почвах, сокращение интенсивности процессов эрозии; - увеличение потоков скрытого тепла; - поддержание влагооборота; - снижение запыленности в приземной атмосфере, сокращение альбедо поверхности и т. п.	35
III. Нарушение и трансформация лесной и кустарниковой растительности (14–16)	Изменение (снижение) запасов биомассы, выполнения поддерживающих и регулирующих функций, в т. ч. изменение характеристик биоразнообразия, нарушение накопления углерода в растительности и почвах	17
IV. Осушение и затопление территории (17–20)	- Изменение доли гидроморфных ландшафтов и водоемов, водного баланса территорий; - изменение продукционных, поддерживающих и регулирующих функций, в т. ч. изменение характеристик биоразнообразия; - накопление углерода при подтоплении и заболачивании, высвобождение CO₂ и метана при затоплении	10
V. Расширение антропогенно модифицированных и техногенных ландшафтов (21–24)	- Изменение продукционных, поддерживающих и регулирующих экосистемных функций, в т. ч. снижение запасов углерода в растительности и почвах; - развитие процессов деградации, в том числе дегумификации почв на пахотных землях; - увеличение потоков явного тепла, нарушение влагооборота в приземной атмосфере (при орошении – увеличение восходящих потоков влаги и скрытого тепла), при городской застройке – увеличение альбедо, усиление загрязнения и запыленности атмосферы, изменение теплового режима	21

Примечание. * Таблица составлена авторами с использованием статей [Курганова и др., 2019; Climate Change..., 2017; Fryer, Williams, 2021; Mekon et al., 2022; Xiao et al., 2023] и других источников. ** В скобках указаны процессы трансформации, см. табл. 1.

Как указывалось выше, выявленные процессы были объединены в пять групп по геоэкологической направленности изменений наземного покрова (их группировку см. в табл. 1). Они отражают общие ландшафтно-геоэкологические последствия, влияющие на экосистемные функции (табл. 2).

Для суши земного шара (полярная зона исключена из расчетов) направления I и V в целом могут быть оценены как негативные с точки зрения экосистемных функций и утраты биопродуктивности; на них суммарно приходится 38% территории всех выявленных изменений наземного покрова. Процессы, которые можно охарактеризовать как позитивные, представлены в направлении II; они характерны для

35% территорий с изменениями. Необходимо отметить, что расширение антропогенно модифицированных и техногенных ландшафтов (направление V) может в то же время приводить к росту продуктивности сельскохозяйственных земель, расширению зеленых насаждений в городах и др. Направления III и IV отражают как антропогенные изменения (например, фрагментация лесов), так и процессы естественной динамики ландшафтов (изменения породного состава лесов). На оба направления приходится 27% площадей, подвергшихся изменениям.

Направления изменений наземного покрова были рассмотрены также и в границах экологических зон. Для этого были суммированы площади

процессов по выделенным пяти направлениям, рассчитана их доля от площади зон. На диаграмме (рис. 3) отражена общая площадь трансформации наземного покрова/землепользования за период 1992–2020 гг. для каждой из зон и вклад основных направлений в ее структуру.

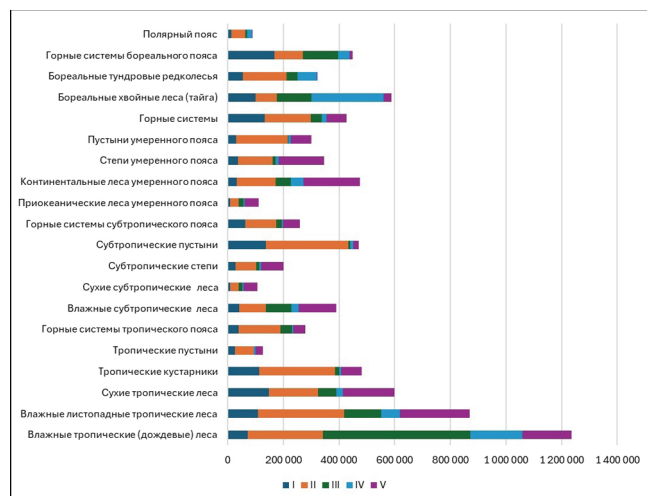


Рис. 3. Основные направления изменений наземного покрова в границах экологических зон, км² (нумерация направлений приведена в табл. 1)

Fig. 3. Main directions of changes in land cover within the boundaries of ecological zones, km² (the numbering of directions is given in Table 1)

Расширение площадей антропогенно модифицированных и техногенных ландшафтов (V) в наибольшей степени характерно для пяти экологических зон: влажных листопадных тропических лесов, континентальных лесов умеренного пояса, сухих тропических лесов, влажных тропических (дождевых) лесов, степей умеренного пояса (в каждой зоне – более 160 тыс. км²). В зонах степей субтропического и умеренного поясов, континентальных и приокеанических лесов умеренного пояса и сухих субтропических лесах вклад этого направления в общую структуру изменений достигает более 40%.

Второе из негативных по своим экосистемным последствиям направлений – снижение или утрата продуктивности растительного покрова, в т. ч. опустынивание и обезлесивание (I) – гораздо шире представлено в аридных областях. Наибольшие ареалы отмечены в зонах тропических кустарников, субтропических пустынь и сухих тропических лесов, а также в горных системах умеренного и boreального пояса. Утрата растительного покрова сопровождается ускоренным развитием экзогенных процессов. В горных системах субтропического, умеренного и boreального поясов, а также в зонах сухих тропических лесов и субтропических пустынь вклад этого направления составляет 25% и более.

К позитивной тенденции можно отнести то, что в 11 из 20 рассмотренных зон на направление экореконструкции и лесовосстановления приходится более 35% всех изменений. Наибольший вклад процессов этой группы отмечается в зонах пустынь субтропического, умеренного и тропического поясов, тропических кустарников и горных систем тропического пояса. Однако во влажных лесных зонах всех поясов доля этих процессов существенно ниже, их вклад составляет всего от 13 (бореальные хвойные леса) до 27% (приокеанические леса умеренного пояса).

Доля процессов, приводящих к нарушению и трансформации древесной и кустарниковой растительности, за счет активного развития процесса фрагментации древесной растительности также выше всего в лесных зонах. Наиболее высокие значения почти (43% от всей площади изменений) характерны для зоны влажных тропических (дождевых) лесов, в других зонах вклад этого направления не превышает 13–20%. Процессы, направленность которых связана с осушением и затоплением территории, в абсолютном большинстве зон (17 из 20) играют незначительную роль. Существенно выше их значение только в трех зонах: бореальные хвойные леса (тайга) (44%), тундровые редколесья (22%) и влажные тропические (дождевые) леса (15%).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что ранее интенсивно освоенные зоны – влажных лесов во всех поясах и степей – по-прежнему продолжают подвергаться активной трансформации, а процессы экореконструкции и лесовосстановления играют в них значимо меньшую роль.

ВЫВОДЫ

Разновременные данные о состоянии наземного покрова ESA CCI LC представляют собой хорошую информационную базу для выявления процессов трансформации как на зональном уровне, так и на уровне регионов. В ряде случаев (северная часть таежной зоны, юго-восточная граница Амазонии, Сахельская зона, острова Малайского архипелага и т. д.) ячейки с изменениями образуют сплошные ареалы, пригодные для делимитации природных экологических зон со стабильной или динамичной обстановкой. В то же время для адекватной оценки изменений в полярном поясе необходимо использование дополнительных источников геопространственной информации, в частности по изменению площади снежно-ледовых областей и мохово-лишайниковых тундр.

Полученные результаты в целом отражают качественные и количественные изменения, произошедшие в наземном покрове суши земного шара за 1992–2020 гг. и согласуются с данными аналогич-

ных исследований. Несколько переоценена, судя по полученным результатам, роль процесса деградации пахотных земель, на который ни в одной из рассматриваемых зон не приходится более 1% от всей площади изменений. В субтропических и тропических пустынях процесс утраты растительного покрова в тридцатилетней ретроспективе играет меньшую роль в структуре изменений по сравнению с процессами зарастания территорий с разреженной растительностью, что косвенно может свидетельствовать о стабилизации процесса опустынивания земель в глобальном масштабе.

Наибольший интерес для анализа представляют многосоставные направления трансформации, которые обусловлены разнообразными процессами, выделенными по нескольким переходам классов наземного покрова. В целом, эти процессы можно трактовать как геоэкологические, т. к. они обусловлены динамикой социально-экономической ситуа-

ции, институциональными изменениями, сдвигами моделей потребления и природными явлениями. Все изменения наземного покрова сопровождаются сдвигами продукционных характеристик ландшафтов, их экосистемных функций, в том числе в сфере поддержания биоразнообразия и депонирования углерода. Таким образом, анализ трансформации наземного покрова создает основу для дальнейших ландшафтно-экологических исследований.

Трансформация форм землепользования, интенсификация или снижение хозяйственных нагрузок – важные факторы, которые необходимо учитывать при разработке регионально-ориентированных рекомендаций управления природно-антропогенными ландшафтами, для решения экологических проблем, в том числе в сфере сохранения биоразнообразия и экосистемных услуг, при планировании стратегий низкоуглеродного развития.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 121040100322-8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеева Н.Н., Климанова О.А., Хазиева Е.С. Глобальные базы данных земельного покрова и перспективы их использования для картографирования современных ландшафтов // Известия РАН. Серия геогр. 2017. № 1. С. 126–139.
- Алексеева Н.Н., Климанова О.А., Третьяченко Д.А. и др. Траектории трансформации земельного покрова в зональных типах ландшафтов Индокитая // Известия РГО. 2019. № 4. С. 1–14.
- Барталев С.А., Егоров В.А., Еришов Д.В. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302.
- Климанова О.А., Третьяченко Д.А., Алексеева Н.Н. и др. Трансформация земельного покрова на глобальном уровне в 2001–2012 гг.: картографирование и анализ изменений // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 5–13.
- Курганова И.Н., Семенов В.М., Кудеяров В.Н. Климат и землепользование как ключевые факторы стабильности органического вещества в почвах // Доклады РАН. 2019. Т. 489. № 6. С. 646–650.
- Романова Э.П., Алексеева Н.Н., Аришинова М.А. и др. Новая карта мира «Географические пояса и природные зоны суши Земли» // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 4. С. 3–11.
- Afuye G.A., Nduku L., Kalumba A.M. et al. Global trend assessment of land use and land cover changes: A systematic approach to future research development and planning. *J. of King Saud University – Science*, 2024, vol. 36, 103262, DOI: 10.1016/j.jksus.2024.103262.
- Castilla G., Hay G. Uncertainties in land use data, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2007, vol. 11, iss. 6, p. 1857–1868, DOI: 10.5194/hess-11-1857-2007.
- Chen W., Chi G., Li J. The spatial association of ecosystem services with land use and land cover change at the county level in China, 1995–2015, *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 669, p. 459–470.
- Climate Change and Land*, IPCC special. report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial, Ecosystems, Summary for Policymakers, 2019, 874 p.
- Fernandes M.M., Fernandes M.R.M., Garcia J.R. et al. Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil, 1992–2030, *Land use policy*, 2020, vol. 99, 104795.
- Fryer J., Williams I.D. Regional carbon stock assessment and the potential effects of land cover change, *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 775, p. 145815.
- Global Ecological Zones for FAO Forest Reporting: 2010*, Forest Resources Assessment Working Paper 179 Update, Rome, 2012, 42 p.
- Klimanova O., Naumov A., Greenfieldt Y. et al. Recent regional trends of land use and land cover transformations in Brazil, *Geography, Environment, Sustainability*, 2017, vol. 10(4), p. 98–116, DOI: 10.24057/2071-9388-2017-10-4-98-116.
- Li J., Dong S., Li Y. et al. Effects of land use change on ecosystem services in the China–Mongolia–Russia economic corridor, *J. of Cleaner Production*, 2022, vol. 360, 132175, DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132175.
- Li W., Ciais P., MacBean N. et al. Major forest changes and land cover transitions based on plant functional types derived from the ESA CCI Land Cover product, *Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, vol. 47, p. 30–39.
- Mekon Z.A., Kafy A.A., Saha M. Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat

- island and carbon emission in Penang city, Malaysia, *Building and Environment*, 2022, vol. 222, 109335, DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109335.
- Niu Z., He H., Peng S. *et al.* A process-based model integrating remote sensing data for evaluating ecosystem services, *J. of Advances in Modeling Earth Systems*, 2021, vol. 13, e2020MS002451, DOI: 10.1029/2020MS002451.
- Potapov P., Hansen M.C., Pickens A. *et al.* The global. 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: first results, *Frontiers in Remote Sensing*, 2022, vol. 3, 856903, DOI: 10.3389/frsen.2022.856903, URL: <https://glad.umd.edu/users/Potapov/GLCLUC2020/frsen-03-856903.pdf>.
- Radwan T.M., Blackburn A., Whyatt J.D. *et al.* Global land cover trajectories and transitions, *Nature Sci. Reports*, 2021, vol. 11, 12814, DOI: 10.1038/s41598-021-92256-2.
- Reinhart V., Fonte C.C., Hoffmann P. *et al.* Comparison of ESA climate change initiative land cover to CORINE land cover over Eastern Europe and the Baltic States from a regional. climate modeling perspective, *Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021, vol. 94, 102221, DOI: 10.1016/j.jag.2020.102221.
- Turner B.L., Lambin E.F., Reenberg A. The emergence of land change science for global. environmental. change and sustainability, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 2007, vol. 104, p. 20666–20671.
- Wang Y., Sun Y., Cao X., *et al.* A review of regional and global scale Land Use/Land Cover (LULC) mapping products generated from satellite remote sensing, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2023, vol. 206, p. 311–334.
- Xiao J., Song F., Su F. *et al.* Quantifying the independent contributions of climate and land use change to ecosystem services, *Ecological Indicators*, 2023, vol. 153, 110411, DOI: 10.21203/rs.3.rs-2357146/v1.
- Zhang F., Xu N., Wang C. *et al.* Effects of land use and land cover change on carbon sequestration and adaptive management in Shanghai, China, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A, B, C*, 2020, vol. 120, 102948.

Электронные ресурсы

- Global. Ecological. Zones (second edition), URL: <https://data.apps.fao.org/catalog/dataset> (дата обращения 11.05.2024).
- National Snow and Ice Data Center, URL: <https://nsidc.org/news-analyses/scientific-analyses/about-our-analyses> (дата обращения 03.08.2024).
- Product Quality Assessment Report ICDR Land Cover 2016–2020, Copernicus Climate Change Service, URL: https://datastore.copernicus-climate.eu/documents/satellite-land-cover/D5.2.2_PQAR_ICDR_LC_v2.1.x_PROD-UCTS_v1.0.pdf (дата обращения 27.07.2024).
- The European Space Agency. MRLC maps series from 1992 onwards (v207 and v2.1.1), URL: [https://climate.esa.int/en/projects/land-cover/data/#mrlc-maps-series-from-1992-onwards-\(v207-and-v2.1.1\)](https://climate.esa.int/en/projects/land-cover/data/#mrlc-maps-series-from-1992-onwards-(v207-and-v2.1.1)) (дата обращения 11.05.2024).

Поступила в редакцию 05.09.2024

После доработки 10.12.2024

Принята к публикации 21.01.2025

GEOECOLOGICAL EFFECTS OF LAND COVER CHANGES DURING 1992–2020

D.A. Tretyachenko¹, O.A. Klimanova², N.N. Alekseeva³

^{1–3} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
Department of Physical Geography of the World and Geoecology

¹ Engineer; e-mail: daria.trt@gmail.com

² Prof., D.Sc. in Geography; e-mail: oxkl@yandex.ru

³ Acting Head of the Department, Associate Prof., Ph.D. in Geography; e-mail: nalex01@mail.ru

The transformation of land use and land cover that results from increasing anthropogenic pressure is a most important factor of global environmental change. Numerous studies have been carried out on global, continental, country scale, as well as for individual regions and cities. Much less frequently, the dynamics of land cover and the associated processes are studied within the boundaries of natural landscapes. Meanwhile, it is this approach that allows us to determine the zonal specifics of geoecological processes caused by land use and land cover changes. Therefore the purpose of the article is to determine significant directions of the global land cover transformation within the boundaries of ecological zones over a thirty-year period (1992–2020). Geospatial data from the European Space Agency's Climate Change Initiative ESA CCI LC were used as a source. The study included several stages: 1) inventory and mapping of the areas of land cover change and types of transitions between different land cover classes during 1992–2020 for 20 ecological zones (the database includes 11 thousand areas characterized by 7 parameters, namely transition type, process coding, initial and final land cover class, number of cells, number of areas, area of changes); 2) grouping of the identified 867 types of transitions according to the transformation processes and analysis of the manifestation of processes in each ecological zone; 3) assessment of the direction of identified changes and their possible geoecological consequences. As a result, the main geoecological processes of land cover transformation were determined, and their zonal specificity was identified, including differences in their manifestation in forest and treeless zones, and within

the mountain systems of various belts. It has been found that about 17% of territories with land cover changes are characterized by a decrease or loss of biological productivity, which are a consequence of desertification and deforestation of lands. 21% of such territories have underwent the expansion of the area of anthropogenically modified and technogenic landscapes. About a third of all changes are characterized by the processes of eco-rehabilitation and restoration of the ecological potential of lands. The identified areas of changes could be considered as stages of dynamic transformation of natural-anthropogenic systems and modification of their ecosystem functions, which require more detailed study.

Keywords: ecological zones, geospatial data, land use changes, transformation processes, geoecological problems

Acknowledgements. The study was performed under the state task 121040100322-8 of the MSU Faculty of Geography.

REFERENCES

- Afuye G.A., Nduku L., Kalumba A.M. et al. Global. trend assessment of land use and land cover changes: A systematic approach to future research development and planning, *J. of King Saud University – Science*, 2024, 36, 103262.
- Alekseeva N.N., Klimanova O.A., Khazieva E.S. Global'nye bazy dannyh zemel'nogo pokrova i perspektivy ih ispol'zovaniya dlja kartografirovaniya sovremennyh landshaftov [Global land cover databases and prospects for their use for mapping modern landscapes], *Izvestija RAN. Ser. Geograficheskaja*, 2017, no. 1, p. 126–139. (In Russian)
- Alekseeva N.N., Klimanova O.A., Tretyachenko D.A., Bancheva A.I. Traektorii transformacii zemel'nogo pokrova v zonal'nyh tipah landshaftov Indokitaja [Land cover transformation trajectories in zonal landscape types of Indochina], *Izvestiya RGO*, 2019, no. 4, p. 1–14. (In Russian)
- Bartalev S.A., Egorov V.A., Ershov D.V. et al. Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii po dannyh spektrometri MODIS [Satellite mapping of the vegetation cover of Russia based on MODIS spectroradiometer data], *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, vol. 8, no. 4, p. 285–302. (In Russian)
- Castilla G., Hay G. Uncertainties in land use data, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2007, vol. 11, iss. 6, p. 1857–1868.
- Chen W., Chi G., Li J. The spatial association of ecosystem services with land use and land cover change at the county level in China, 1995–2015, *Science of The Total Environment*, 2019, vol. 669, p. 459–470.
- Climate Change and Land*, IPCC special. report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial Ecosystems, Summary for Policymakers, 2019, 874 p.
- Fernandes M.M., Fernandes M.R.M., Garcia J.R. et al. Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil, 1992–2030, *Land use policy*, 2020, vol. 99, 104795.
- Fryer J., Williams I.D. Regional carbon stock assessment and the potential effects of land cover change, *Science of the Total Environment*, 2021, vol. 775, p. 145815.
- Global Ecological Zones for FAO Forest Reporting: 2010*, Forest Resources Assessment Working Paper 179 Update, Rome, 2012, 42 p.
- Klimanova O., Naumov A., Greenfieldt Y. et al. Recent regional. trends of land use and land cover transformations in Brazil, *Geography, Environment, Sustainability*, 2017, vol. 10(4), p. 98–116.
- Klimanova O.A., Tretyachenko D.A., Alekseeva N.N. et al. Land cover transformation at a global level during 2001–2012: mapping and analysis of changes, *Geography and Natural Resources*, 2018, no. 3, p. 189–196.
- Kurganova I.N., Semenov V.M., Kudryarov V.N. Klimat i zemlepol'zovanie kak ključevye faktory stabil'nosti organicheskogo veshhestva v pochvah [Climate and land use as key factors of organic matter stability in soils], *Dokl. Akademii nauk*, 2019, vol. 489, no. 6, p. 646–650. (In Russian)
- Li J., Dong S., Li Y. et al. Effects of land use change on ecosystem services in the China–Mongolia–Russia economic corridor, *J. of Cleaner Production*, 2022, vol. 360, 132175.
- Li W., Ciais P., MacBean N. et al. Major forest changes and land cover transitions based on plant functional. types derived from the ESA CCI Land Cover product, *Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, vol. 47, p. 30–39.
- Mekon Z.A., Kafy A.A., Saha M. Assessing the impacts of vegetation cover loss on surface temperature, urban heat island and carbon emission in Penang city, Malaysia, *Building and Environment*, 2022, vol. 222, 109335.
- Niu Z., He H., Peng S. et al. A process-based model integrating remote sensing data for evaluating ecosystem services, *J. of Advances in Modeling Earth Systems*, 2021, vol. 13, e2020MS002451.
- Potapov P., Hansen M.C., Pickens A. et al. The global. 2000–2020 land cover and land use change dataset derived from the Landsat archive: first results, *Frontiers in Remote Sensing*, 2022, no. 3, 856903.
- Radwan T.M., Blackburn A., Whyatt J.D., Atkinson P.M. Global. land cover trajectories and transitions, *Nature Sci. Reports*, 2021, no. 11, 12814.
- Reinhart V., Fonte C.C., Hoffmann P., et al. Comparison of ESA climate change initiative land cover to CORINE land cover over Eastern Europe and the Baltic States from a regional. climate modeling perspective, *Int. J. of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021, no. 94, 102221.
- Romanova E.P., Alekseeva N.N., Arshinova M.A. et al. Novaja karta mira Geograficheskie pojasa i prirodnye zony sushi Zemli [A new map of Geographical Belts and Natural Zones of the Earth], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2015, no. 4, p. 3–11. (In Russian)
- Turner B.L., Lambin E.F., Reenberg A. The emergence of land change science for global. environmental. change and sustainability, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 2007, vol. 104, p. 20666–20671.

- Wang Y., Sun Y., Cao X. et al. A review of regional and global scale Land Use/Land Cover (LULC) mapping products generated from satellite remote sensing, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2023, vol. 206, p. 311–334.
- Xiao J., Song F., Su F. et al. Quantifying the independent contributions of climate and land use change to ecosystem services, *Ecological Indicators*, 2023, vol. 153, 110411.
- Zhang F., Xu N., Wang C. et al. Effects of land use and land cover change on carbon sequestration and adaptive management in Shanghai, China, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A, B, C*, 2020, vol. 120, 102948.
- Web sources*
- Global. Ecological. Zones (second edition), URL: <https://data.apps.fao.org/catalog/dataset> (access date 11.05.2024).
- National Snow and Ice Data Center, URL: <https://nsidc.org/news-analyses/scientific-analyses/about-our-analyses> (access date 03.08.2024).
- Product Quality Assessment Report ICDR Land Cover 2016–2020, Copernicus Climate Change Service, URL: https://datastore.copernicus-climate.eu/documents/satellite-land-cover/D5.2.2_PQAR_ICDR_LC_v2.1.x_PROD-UCTS_v1.0.pdf (access date 27.07.2024).
- The European Space Agency. MRLC maps series from 1992 onwards (v207 and v2.1.1), URL: [https://climate.esa.int/en/projects/land-cover/data/#mrlc-maps-series-from-1992-onwards-\(v207-and-v2.1.1\)](https://climate.esa.int/en/projects/land-cover/data/#mrlc-maps-series-from-1992-onwards-(v207-and-v2.1.1)) (access date 11.05.2024).

Received 05.09.2024

Revised 10.12.2024

Accepted 21.01.2025

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ФАКТОРЫ ДИНАМИКИ ЭМИССИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА В МОСКВЕ

В.Р. Битюкова¹, Н.А. Колдобская², О.Е. Прусихин³

^{1–3} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России

² Университет МГУ–ППИ в Шэньчжэне

¹ Проф., д-р геогр. наук; e-mail: v.r.bityukova@geogr.msu.ru

² Доц., канд. геогр. наук, автор-корреспондент; e-mail: koldobskayana@my.msu.ru

³ Аспирант, e-mail: olegprus2000@mail.ru

В статье проведен полимасштабный анализ факторов динамики выбросов в атмосферу от автотранспорта Москвы за 2014–2023 гг. Выявлено, что в 2000-е гг. на фоне роста автомобилизации происходило сокращение загрязнения за счет улучшения качества автомобильного парка и топлива. В 2010-е гг. основными факторами динамики объема выбросов и его территориальных пропорций становятся изменение плотности и топологии транспортной сети, активно развивающийся общественный транспорт как следствие эффективной городской транспортной политики. Планировочная структура города до начала рассматриваемого периода обуславливала низкую связность сети, избыточный пробег и повышенное загрязнение отдельных районов города на фоне быстро меняющегося автопарка столицы. Исследование показало, что в последние годы, напротив, количество автомобилей и структура парка стали консервативным фактором, а стратегии развития города сосредоточились на строительстве и реконструкции дорог, усилении связности сети. Расчет объемов выбросов от отдельных участков дорожной сети в муниципальном районе Очаково-Матвеевское на основе данных об интенсивности и структуре транспортных потоков за 2014–2023 гг. показал, что снижение выбросов достигается только для легких грузовиков на бензине и тяжелых грузовиков на дизеле. Основным трендом последних лет стало усиление равномерности загрязнения от автотранспорта. Программы строительства нового жилья и масштабные проекты трансформации районов Москвы приводят к увеличению связности города и одновременно к выравниванию плотности автотранспортного загрязнения. Баланс этих факторов меняется во времени (если в начале постсоветского периода основными были унаследованные факторы, то в последние годы – это в основном позитивные трансформационные) и в пространстве: промзоны сохранились только на периферии города, а железнодорожные вокзалы выносятся туда, где меняющаяся топология сети не только увеличила связанность, но и создала эффект вакуума в центре.

Ключевые слова: передвижные источники загрязнения, транспортные сети, транспортное моделирование, Очаково-Матвеевское, Москва

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.2

ВВЕДЕНИЕ

В столичных городах трансформация отраслевой структуры экономики, промышленности и занятости населения происходят наиболее быстрыми темпами, обуславливая не только изменение антропогенного воздействия, но и внутригородских различий состояния окружающей среды. В постсоветский период прошла деиндустриализация экономики, изменились планировочные и градостроительные условия, появился фактор реальной рыночной стоимости городских земель, ускорились темпы автомобилизации. Это существенно повлияло на уровень и характер антропогенного воздействия на городскую среду и ее экологическое состояние. Скорость и качество произошедших изменений были обусловлены как новыми, так и унаследованными факторами

развития. При этом новые факторы наиболее ярко проявляются именно в столичных городах как центрах различных инноваций.

Автомобильный транспорт в 1990–2018 гг. на фоне роста парка и кризисной деиндустриализации был ведущим источником загрязнения атмосферы, его вклад в объем выбросов превышал 50% в половине регионов и в $\frac{3}{4}$ городов России (2018) [Bityukova, Mozgunov, 2019; Кошелева и др., 2018]. Во многих городах вклад автотранспорта в суммарные выбросы превышал 90%: в южных региональных центрах, где промышленность представлена отраслями с низким уровнем выбросов (пищевая и легкая промышленность) (Назрань, Нальчик, Элиста, Ростов-на-Дону, Ставрополь, Краснодар, Калуга, Воронеж), рекреационных центрах, а также

Москве и Санкт-Петербурге. В 2019 г. Росприроднадзор утвердил новую методику учета выбросов от транспорта вследствие изменения структуры автопарка. В результате объем выбросов в России сократился в 3 раза. При этом Москва осталась на первом месте по объемам выбросов в атмосферу не только среди всех городов, но и регионов страны (980 тыс. т до 2019 г. и около 330 тыс. т после).

Исследование автотранспорта как одного из ведущих факторов территориальной дифференциации качества окружающей среды городов сталкивается с проблемой отсутствия данных статистики [Parsaev et al., 2018]. Оценки объемов выбросов в атмосферу в разрезе отдельных улиц, кварталов и районов основываются на данных об интенсивности и средней скорости движения, источником информации для которых могут служить данные ГИС о трафике [Petrovska, Stevanovic, 2015], натурных наблюдениях [Bityukova и др., 2022] или моделирования транспортных потоков (EMITRANSYS index TomTom) [Jacyna et al., 2017].

Расчет объема выбросов выхлопных газов от отдельных участков улиц является основой для *моделирования ареала рассеяния выбросов* от передвижных источников. Например, модель рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере при переменных ветровых условиях (CFD VADIS) [Rafael et al., 2018], модель транспортных выбросов для линейных источников (TREM) [Borrego et al., 2004]. Для комплексного анализа, учитывающего действие многих изменяющихся факторов, применяют комбинации подобных моделей или имитационные модели [Phung et al., 2020]. Объем невыхлопных частиц в атмосфере можно оценить на основе численного моделирования, поскольку почти все выбросы транспортных средств, не связанные с выхлопными газами (износ тормозов, шин, дорог и взвешенные частицы, а также летучие органические соединения при уходе за транспортным средством), возникают независимо от типа автомобиля и характера топлива. Выбросы от растворителей в средствах для мытья стекол и антиобледенителей в настоящее время доминируют в эмиссии летучих органических соединений (ЛОС) от дорожного движения в Великобритании и имеют совершенно иной по сравнению с эмиссией от сжигания топлива состав выбросов ЛОС [Harrison et al., 2021].

Существует большое количество моделей распространения, диффузии эмиссии от передвижных источников. Однако практически нет работ, которые рассматривали бы трансформацию территориальной структуры выбросов от автотранспорта [Ревич, 2018].

Другое направление оценки основано на данных мониторинга, включающего *анализ концентрации*, например, PM_{10} и NO_x и др. Уровень загрязнения

определяется на основе прямых [Kerimray et al., 2020; Sam, 2021] или точечных измерений [Gis et al., 2021; Deak, 2020]. Выбросы автомобильного транспорта являются источником вторичного загрязнения, поэтому уровни засоления, загрязнения тяжелыми металлами и металлоидами анализируются в зависимости от интенсивности движения на автодорогах и во дворах с автостоянками [Власов и др., 2022; Popovicheva et al., 2024].

Оптимизация транспортной системы рассматривается как фактор снижения количества выбросов при сокращении заторов и увеличении пропускной способности перекрестков [Janarthanan et al., 2021; Phung et al., 2020; Zhou et al., 2021]. В исторически сложившейся городской среде, когда физическое изменение транспортных путей затруднительно, существенное внимание уделяется перераспределению транспорта по существующим улицам [Wang, Sun, 2019], а также развития общественного транспорта как фактора снижения эмиссии [Silva et al., 2012; Chavez-Baeza, Sheinbaum-Pardo, 2014]. Пример европейских стран показывает эффективность установки более жестких государственных нормативных требований к топливу и самим автомобилям.

Планирование городской среды, способствующее уменьшению числа поездок [Chien, Hu, 2020; Mueller et al., 2020], озеленение, поглощающее шум и загрязняющие вещества [Rafael et al., 2018], рассматриваются как фактор изменения выбросов от автотранспорта. Но высокая интенсивность движения способствует увеличению объемов выбросов, как и новое жилищное строительство, рельеф, наличие мостов, ширина дорог, наличие транзитного транспорта и др. В ряде исследований доказывалось, что увеличение плотности и связанности дорожной сети способствовало равномерности движения транспорта, достижению так называемой оптимальной скорости движения, на которой удельный объем выбросов минимален [Bityukova, Mozgunov, 2019].

Недостаток магистралей способствует созданию заторов на дорогах, в которых скорость снижается до 10–20 км/ч и удельный выброс увеличивается на 30%. Однако в последнее время введение системы «стоп–старт» приводит к тому, что удельный выброс большинства автомобилей, кроме некоторых видов грузовиков, не увеличивается на низкой скорости. К тому же существует гипотеза, что строительство новых магистралей не столько перераспределяет потоки, сколько стимулирует выезд новых автомобилей. В Москве в условиях самого высокого среди мировых городов темпа развития системы каршеринга эта проблема особенно актуальна. Поэтому целью данного исследования является оценка влияния изменений в улично-дорожной сети Москвы на

уровень автотранспортного загрязнения в связи как с изменением потоков автотранспорта, его структуры, скорости движения, так и с изменением плотности и конфигурации дорожной сети на примере муниципального района Очаково-Матвеевское.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет территориальной структуры загрязнения атмосферного воздуха включал три этапа: 1) сбор информации об интенсивности движения в разрезе участков улиц; 2) расчет объема выбросов от автотранспорта в разрезе участков улиц; 3) расчет приземных концентраций, формирующихся в результате рассеяния выбросов.

В качестве информационной базы использовались данные Росстата по автомобилизации, Росприроднадзора по объемам выбросов регионов и городов, Федеральной налоговой службы по структуре автопарка, муниципальной статистики по численности населения и протяженности дорожной сети, компании «Эспар-аналитик» по интенсивности движения на участках дорожной сети в районе Очаково-Матвеевское за 2014–2024 гг., аналитического центра ЦИАН по площади нового жилищного строительства.

Динамика и структура эмиссии от автотранспорта в значительной степени определяется изме-

нением в методике расчета показателя. Расчет показателя выбросов в атмосферу от автотранспорта проводится в соответствии с методическими рекомендациями Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, которые в 2019 г. были изменены [Приказ Минприроды..., 2019]. Обоснованием к существенному снижению удельных нормативов послужили данные о значительном улучшении структуры автомобильного парка. Основные изменения в методику расчета выбросов были введены на уровне изменения структуры потока, добавился стандарт Евро-5, изменились пропорции между типами двигателей, для грузовых автомобилей и автобусов увеличился нормативный пробег. Что касается изменения пробегового выброса, то по ряду позиций норматив был увеличен, например по СО. Напротив, уменьшен норматив для сернистых соединений. Для дизельных автомобилей стандарта Евро-4 уменьшился норматив по всем веществам, кроме летучих органических соединений, не включая метан (ЛОСНМ) (табл. 1). В целом наиболее существенно изменились нормативы дизельных двигателей. Для автобусов и грузовиков увеличение норматива произошло для сажи, СО, NO_x, ЛОСНМ, существенное сокращение (в несколько раз) для SO₂, несколько меньшее для CH₄.

Таблица 1

Изменение удельных выбросов загрязняющих веществ для легковых автомобилей при движении по территории городов с численностью населения более 1 млн чел., 2013–2019 гг.

Экологический класс	Вид топлива*	Загрязняющие вещества, г/км**						
		СО	NO _x	С	SO ₂	CH ₄	ЛОСНМ	NH ₃
Евро-0	Б	20,1/22,8***	1,7/1,5****	–	0,034/0,021	0,092/0,04	3,375/3,86	0,002
	Д	0,7	3,2/3,6	0,2/0,25	0,192/0,073	0,005/–	0,145/0,2	0,001
Евро-1	Б	7,4	0,9	–	0,019	0,015	0,365	0,07
	Д	0,4/0,5	0,68/0,74	0,06/0,07	0,173/0,065	0,005/–	0,075/0,09	0,001
Евро-2	Б	4,5/5,2	0,35/0,36	–	0,03/0,019	0,04/0,01	0,053/0,08	0,07/0,095
	Д	0,5	0,74	0,07	0,065	–	0,09	0,001
Евро-3	Б	2,4/2,7	0,15/0,14	–	0,03/0,018	0,004	0,053/0,046	0,07/0,06
	Д	0,4/0,5	0,52/0,57	0,04/0,05	0,115/0,062	0,005/–	0,001/0,07	0,001
Евро-4	Б	0,3	0,08	–	0,018	0,003	0,017	0,06
	Д	0,4/0,3	0,52/0,31	0,04/0,015	0,115/0,062	0,005/–	0,001/0,04	0,001
Евро-5	Б	0,3	0,06	–	0,018	0,003	0,017	0,06
	Д	0,3	0,25	0,002	0,062	–	0,04	0,001

Примечания. *Б – бензиновый двигатель; Д – дизельный двигатель. **Числитель приводится по данным [Рекомендации..., 2013], знаменатель – по данным [Приказ Минприроды..., 2019]. ***Розовым цветом отмечен рост пробегового выброса. ****Зеленым цветом отмечено сокращение пробегового выброса.

В качестве информационной базы использовались данные Росприроднадзора по объемам выбросов от передвижных источников по Москве в целом [База данных Росприроднадзора..., 2024], Федеральной налоговой службы по структуре автопарка в разрезе муниципальных образований [База данных Федеральной налоговой службы..., 2024], муниципальной статистики по численности населения и протяженности дорожной сети, аналитического центра ЦИАН по площади нового жилищного строительства, Эспар-аналитик и натурных наблюдений по интенсивности движения и структуре потока в разрезе отдельных участков улиц (около 90 тыс. участков), а для района Очаково-Матвеевское – 186 участков с помесечным трафиком за период с марта 2023 по март 2024 г.

Расчет выбросов в атмосферу загрязняющего вещества движущимся автотранспортным потоком на автомагистрали (или ее участке) с фиксированной протяженностью L (км) определяется по формуле:

$$M_{L_i} = \frac{L - L_0}{3600} \sum_1^K M_{K,i}^{\Pi} \cdot G_K \cdot k_C \cdot r_{V_{K,i}} \text{ (г/с)},$$

где $M_{K,i}^{\Pi}$ – удельный пробеговый выброс i -го вредного вещества автомобилями K -й группы для городских условий эксплуатации (г/км); K – количество групп автомобилей; G_K – среднесуточная интенсивность движения (автомобилей в сутки); k_C – поправочный коэффициент, учитывающий работу климатических систем автомобиля, дорожные условия и сцепление с покрытием; $r_{V_{K,i}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения транспортного потока (V , км/ч) на выбранном участке автомагистрали; $1/3600$ – коэффициент пересчета «час» в «сек»; L – протяженность участка автомагистрали (км); L_0 – протяженность очереди автомобилей перед запрещающим сигналом светофора и длина соответствующей зоны перекрестка (км).

Расчет приземных концентраций, формирующихся в результате рассеяния выбросов от автомобильного транспорта, осуществлялся для модельного района Очаково-Матвеевское. Полученные значения выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух от автотранспорта, экспортировались в унифицированную программу расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА «Эколог» версия 3.0) для дальнейшего расчета приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере в соответствии с [Методика..., 1986]. Расчеты концентраций выполнялись для CO, NO_x (в пересчете на диоксид азота), углеводородов, сажи, SO₂ и формальдегида. Затем был рассчитан индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) как сумма отношений концентраций загрязнителей в воздухе к их ПДК.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Объем выбросов от автотранспорта Москвы за период с 2012 по 2018 г. увеличился на 10 тыс. т, или 1%, однако в 2015–2016 гг. временный рост выбросов составил 66 тыс. т, что по масштабам сопоставимо с выбросами всех стационарных источников города, что возможно в результате активной интеграции Новой Москвы. В Новой Москве объем выбросов от автотранспорта составляет 6% от всего выброса города. Этот объем быстро увеличивается, темпы роста выбросов от автотранспорта самые высокие в городе.

После изменения методики в 2019–2023 гг. выброс плавно снижался с 334 до 318,6 тыс. т. Эти же изменения послужили источником различий в динамике выбросов отдельных веществ, структура которых мало меняется за рассматриваемый период. Эмиссия CO увеличилась в 2016–2017 гг. почти до 800 тыс. т, или на 7%. CO всегда доминировал в структуре выбросов от транспорта: в 2012 г. показатель составлял 80,8% (77% от объема выбросов в среднем в стране), в 2018 г. он снизился до 75,3%. В 2019–2022 гг. пробеговый выброс CO снижался только для экологического класса Евро-4 и для автомобилей с дизельным двигателем, поэтому изменение связано со структурой автомобильного парка. По новой методике именно CO дал максимальное снижение выбросов в 3 раза: с 750 до 240 тыс. т. Как следствие и вклад в суммарную эмиссию снизился почти на 10% по сравнению с началом периода. Эмиссия летучих органических соединений составляла 92 тыс. т в 2016–2017 гг. (10%). После 2019 г. объем снизился в 3 раза до 27–28 тыс. т, а доля снизилась до 8,5%, и ЛОС опустились на третье место. Объем выбросов NO_x сокращался меньшими темпами, до 43–45 тыс. т, в результате его вклад увеличился на 6–7%.

Из-за разных темпов сокращения выбросов отдельных загрязняющих веществ структура эмиссии принципиально не изменилась, CO сохранил доминирующее положение, несмотря на сокращение вклада, диоксид азота увеличил вклад и занял второе место, ЛОС, напротив, опустились на третье место. В сумме доля этих трех веществ немного снизилась: с 98,8 до 97,2–97,4%. Эмиссия NH₃ даже выросла в два раза: от 1,8–1,9 тыс. т по старой методике до 4,4 тыс. т по новой, в результате того, что по новой методике сократился пробеговый выброс только для топливного стандарта Евро-3, но доля его увеличилась более чем в 3 раза. Объем выбросов SO₂ сократился в 2 раза, что стало следствием положительных изменений в структуре парка и улучшении качества топлива, сажи – практически не изменился, как следствие ее доля увеличилась в

2 раза. Выбросы метана сократились более чем в 7 раз, а доля снизилась до 0,2%. Все три компонента в сумме сейчас дают менее 3%.

Динамика выбросов от автотранспорта и его территориальных пропорций зависит не только от количества машин, но и от характера их движения, определяемого совместным воздействием разнонаправленных факторов и условий. Увеличению объемов выбросов способствует высокая интенсивность движения, планировочная структура и новое

жилищное строительство, рельеф, наличие мостов, ширина дорог, низкая связность сети, наличие транзитного транспорта и др. Снижению эмиссии способствует обновление автопарка, улучшение качества топлива, расширение дорожной сети, усиление ее связности, сокращение барьеров, т. е. все, что снижает удельный выброс (в расчете на 1 км пробега), который определяется техническими свойствами автомобиля и возможностью для него двигаться с оптимальной скоростью.

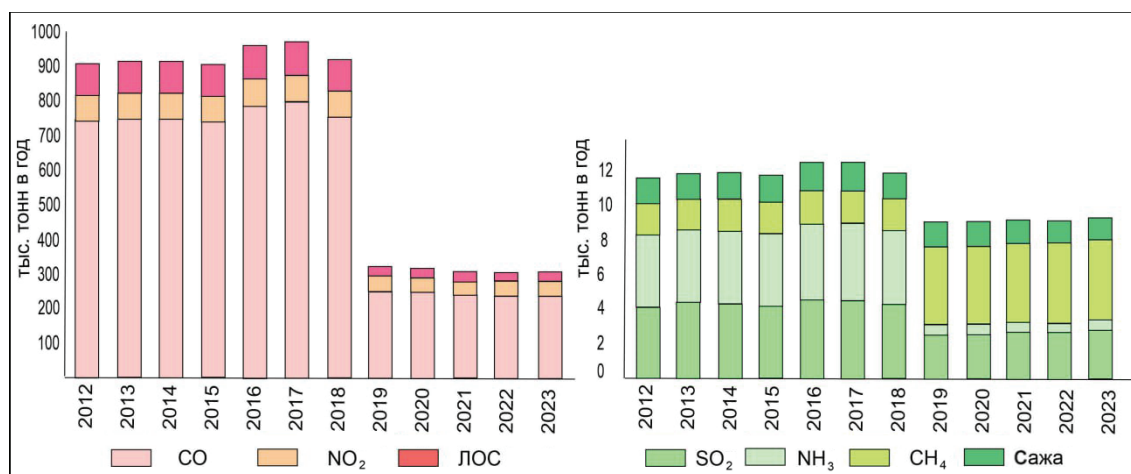


Рис. 1. Объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автомобильного транспорта, 2012–2023 гг.

Источник: по данным Росприроднадзора

Fig. 1. Volume of air pollutant emissions from motor transport, 2012–2023. Source: according to Rosprirodnadzor

Факторы загрязнения от автотранспорта в городах. Среди факторов загрязнения ведущим является *рост автомобилизации* в постсоветский период. Столица находится на третьем месте после Приморья и Сахалина по автомобилизации, в ней сосредоточено 10% автопарка России (около 4,6 млн ед., вместе с Московской областью – свыше 7 млн машин). По состоянию на начало 2023 г. автомобильный парк Москвы насчитывает 4607,5 тыс. ед., из которых 89,8% – легковые автомашины, 9,2% – грузовые, 1,0% – автобусы (www.fedstat.ru). Уровень автомобилизации определяет изменение объема выбросов только до 2009 г., поскольку влияют еще и другие факторы (качества двигателя, топлива, характера движения, числа автомобилей) (рис. 2).

До конца 1980-х гг. объем выбросов в атмосферу рос приблизительно теми же темпами, что и уровень автомобилизации. В 1990–1996 гг. уровень автомобилизации в начале менялся мало, а объем выбросов вырос на 12%, тем не менее коэффициент корреляции между ними статистически значимый (0,61), в том числе и потому, что доля грузового транспорта в структуре потока максимальная за весь период и превышает 20%. В период экономического роста и роста доходов населения (1997–2008) увеличилось

число новых автомобилей, начаты строительство дорог и реконструкция транспортной сети.

В период с 2009 по 2018 г. валовый выброс от автомобилей сократился почти на 400 тыс. т (с 1342 до 934 тыс. т). Улучшение качества бензина и структуры автопарка привели к сокращению удельного выброса (г/маш · км) в 4 раза. В структуре парка автомобилей Евро-1 и ниже уже составляют меньшую часть (38%), Евро-2 и Евро-3 – 43%, Евро-4 и выше – 19%, а коэффициент корреляции впервые стал отрицательным. В 2019–2022 гг. рост автопарка фактически прекратился и объем выбросов также стабилизировался.

Изменение в структуре автопарка способствовало тому, что объем выбросов либо сокращался, либо рос медленнее, чем количество транспортных средств: рост более высоких экологических классов двигателя происходил со скоростью 2–3% в год, а доля грузовых автомобилей в 1991–2006 гг. сократилась в 2 раза. С 2013 г. был введен запрет на использование автомобилей стандарта ниже Евро-4, а с января 2016 г. – ниже Евро-5. Эффект при переходе с моторного топлива 3-го класса на 4-й – уменьшение выбросов диоксида серы на 79%, бенз(а)пирена – на 22,7%, твердых веществ – на 13,5%, оксидов азота и оксида углерода – по 4% (рис. 3).

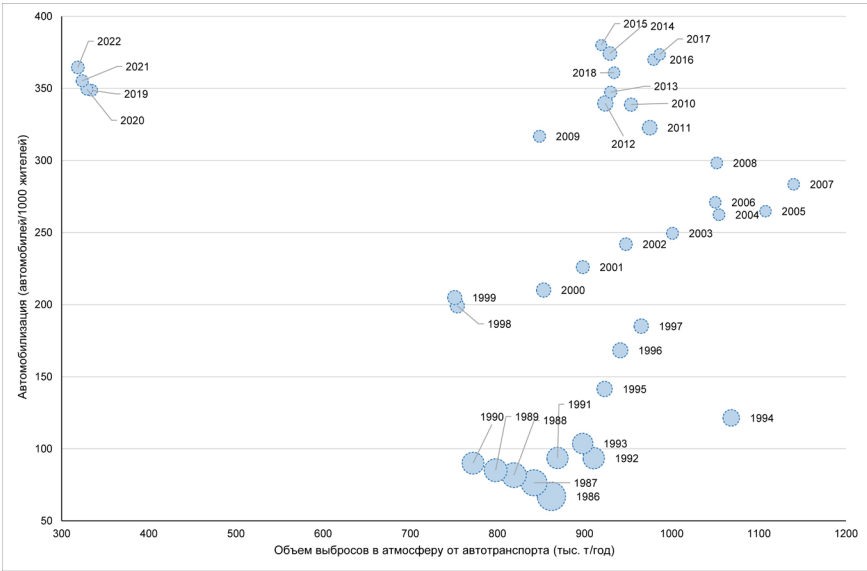


Рис. 2. Зависимость объема выбросов в атмосферу автомобильного транспорта от уровня автомобилизации населения Москвы, 1979–2022 гг. (размер значка пропорционален доле грузового транспорта в структуре потока)

Fig. 2. Dependence of the volume of emissions into the atmosphere of motor transport on the level of motorization of the population of Moscow and 1979–2022 (the size of the icon is proportional to the share of freight transport in the flow structure)

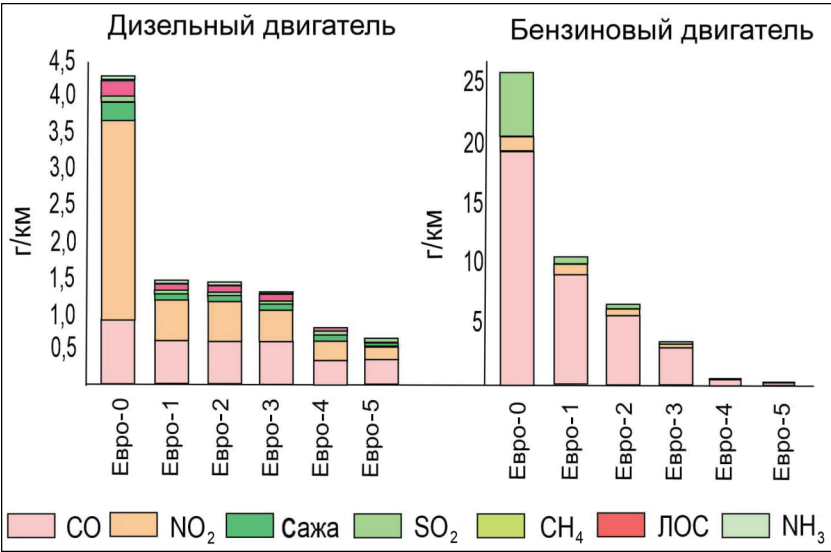


Рис. 3. Удельный выброс загрязняющих веществ (г/км пробега) при разных топливных стандартах.
Источник: [Приказ Минприроды..., 2019]

Fig. 3. Specific emission of pollutants (g/km) of mileage at different fuel standards.
Source: [Order of the Ministry of Natural Resources..., 2019]

Новое жилищное строительство является важным фактором не только роста автомобилизации (поскольку нередко новые районы не в полной мере обеспечены общественным транспортом), но и перераспределения транспортных потоков. При нынешней планировочной структуре и пропускной способности дорог дополнительно увеличивается нагрузка на МКАД и основные радиальные

магистралей. За 2012–2022 гг. в Москве в границах 2012 г. было сдано 29 млн м² жилья¹, подавляющее большинство которого располагается в тех районах города, где плотность населения и застройки была несколько ниже, чем в зоне между ТТК и МКАД.

¹ Данные в разрезе отдельных домов предоставлены руководителем аналитического центра ЦИАН А.А. Поповым.

Локализация крупных комплексов стимулирует к использованию радиальных автомагистралей города, которые по нашим расчетам также характеризуются довольно равномерным распространением плотностей выбросов от передвижных источников.

Но увеличение *плотности населения* в городе можно рассматривать не только как фактор усиления нагрузки, но и как потенциал изменения формы организации системы городского транспорта, поскольку из мировой практики известно, что города с высокой плотностью населения более склонны к выбору интермодальных транспортных систем с акцентом на общественный транспорт. Поэтому наиболее прогрессивное *развитие общественного транспорта* произошло в центре Москвы в совокупности с рядом мер экономического и запретительного характера, позволивших в последние годы значительно разгрузить центр города. В результате создания новых линий подземного транспорта (МЦК, новые линии метро) в некоторых районах центра объем выбросов от автотранспорта снизился на 10–20%.

Плотность улично-дорожной сети (УДС) – один из самых противоречивых факторов, так как строительство дорог создает новые ареалы загрязнения, но одновременно автомобили с двигателями внутреннего сгорания при снижении скорости движения ниже оптимальной (50–60 км/ч) в заторах до начала существенных изменений в структуре автопарка выбрасывали на 30% больше загрязняющих веществ, чем при установившемся режиме движения. Поэтому долгое время считалось, что загрязнение уменьшается по мере развития дорожной сети [Битюкова и др., 2011].

По опыту Москвы стало ясно, что значение имеет не только строительство новых дорог, но и планировочные особенности, увеличение связности дорожной сети. Поэтому на современном этапе очень важно учесть влияние изменения этой крайне инерционной структуры, которая формируется в течение длительного времени и является продуктом эволюционного развития города и ранее принятых планировочных решений [Блинкин, 2015].

В Москве около 7 тыс. км дорог (по данным Федерального дорожного агентства). Плотность УДС в Москве имеет ярко выраженный центр-периферийный характер. В центральных районах города она составляет от 8 до 24 км/км². Долгое время, когда велось строительство и реконструкция кольцевых магистралей, это лишь консервировало радиально-кольцевую структуру, которую предлагалось «сломать» еще в 1970-х гг. путем создания «вакуум-эффекта» для центра города с помощью «хордового треугольника» [Якшин, 1975]. Фактически современное строительство хорд – реализация данной стратегии.

Отличительная особенность последнего десятилетия – интенсивная реконструкция городской транспортной сети. Увеличение плотности УДС в 2011–2018 гг. происходило именно в тех районах, где она была несколько ниже уровня среднего по городу. Наибольшие темпы роста УДС были характерны для районов, вытянутых вдоль крупнейших транспортных магистралей города, особенно в местах их пересечения с МКАД и другими хордовыми магистралями, где строились новые связывающие транспортную сеть дороги и развязки. Результатом планирования и развития дорог в проблемных зонах центра (юго-западном секторе среднего пояса (между Садовым и Третьим транспортным кольцом), а также в северной части районов, прилегающих к МКАД) стала более равномерная плотность дорожной сети. Снижение объемов выбросов наблюдалось именно в этих районах, где увеличилась плотность дорог, либо в районах центра за счет ограничения въезда [Bityukova, Mozgunov, 2019].

В 2019–2023 гг. темпы роста длины УДС немного замедлились, изменилась их территориальная структура: если в 2012–2018 гг. основной прирост был характерен для части районов центра, срединного пояса и некоторых развязок на вылетных магистралях, то в 2019–2022 гг. основной прирост сместился в зону Новой Москвы и отдельных районов у МКАД. Прирост составил 347 км, или 26% к уровню 2019 г. Однако в период с 2019 по 2022 г. изменилась не только стратегия строительства сети, но и главное – *степень влияния характера движения на объем выбросов в атмосферу*. Современные автомобили оснащены системой «старт-стоп» («Start-stop» system), т. е. технологией, предназначенной для автоматического отключения и перезапуска двигателя при временной остановке (например, на светофоре) с целью экономии топлива, снижения выбросов загрязняющих веществ и уровня шума за счет сокращения времени работы двигателя на холостом ходу, в том числе и в заторах. Расчеты показывают, что при росте интенсивности движения на новых магистралях эффект увеличения загрязнения на низких скоростях исчезает уже полностью для легковых автомобилей на бензиновом и дизельном двигателе, сохраняется лишь для легких грузовиков на бензине и тяжелых грузовиков на дизеле (при скорости 30 км/ч, т. е. средней скорости движения в заторах, удельный выброс возрастает приблизительно в 1,5 раза, а затем вновь снижается). Поэтому по сравнению с предыдущим периодом в районах строительства дорог наблюдается наибольший прирост выбросов (рис. 4).

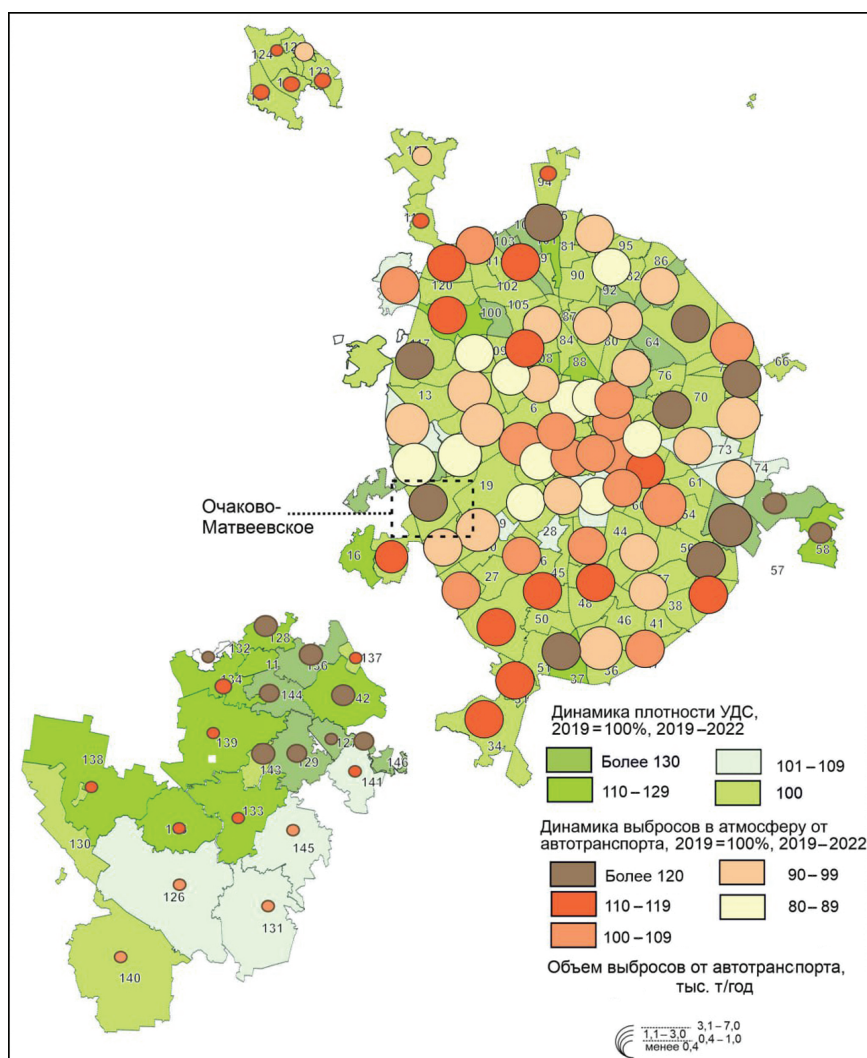


Рис. 4. Изменение плотности улично-дорожной сети по муниципалитетам Москвы, 2019–2022.

Источник: данные Росстата, Росприроднадзора; расчеты авторов

Fig. 4. Change in the density of the street and road network by municipalities in 2019–2022.

Source: data from Rosstat, Rosprirodnadzor; authors' calculations

Одним из ярких примеров изменения плотности УДС и как следствие интенсивности движения автотранспорта является трансформация транспортной системы в районе Очаково-Матвеевское. Всего в районе и на примыкающих к нему территориях расположены участки строительства Северо-Западной хорды (СЗХ) (Мичуринский проспект – Можайское шоссе, Аминьевское шоссе – ул. Генерала Дорохова – МКАД). Кроме участка радиальной магистрали на эстакаде (более 6 км), хордовых дорог вблизи МКАД (37%), значительная часть нового строительства приходится на развязки на МКАД (13%), крупнейшую радиальную магистраль параллельно Кутузовскому проспекту (19%) и хордовую Минскую улицу (4,8%).

Изменение улично-дорожной сети привело к перераспределению нагрузки автотранспортом на территорию района. Наиболее нагруженные участ-

ки, согласно данным на 2014 г., увеличили свою пропускную способность, при этом количество заторов уменьшилось, а скорость прохождения трассы увеличилась к 2019 г. Наиболее существенные изменения в среднесуточной интенсивности движения автомобилей наблюдаются на Можайском шоссе (реконструкция завершилась в конце 2014 г. и включала в себя строительство нескольких путепроводов и боковых проездов). Бессветофорный проезд по новой эстакаде Можайского шоссе значительно ускорил скорость прохождения этого участка трассы. Увеличение пропускной способности Витебской улицы и улицы Генерала Дорохова связано с завершением строительства СЗХ. Однако, уже к 2024 г. новые магистрали, реконструированные участки магистралей, параллельные платные дороги характеризовались наибольшим приростом трафика – в 1,5–2 раза (рис. 5).

Согласно данным правительства Москвы, проведенные мероприятия должны были увеличить пропускную способность этих трасс в среднем на 25%, но при этом данные полевых наблюдений свидетельствуют о более значительном увеличении транспортного потока (суммарно интенсивность движения по рассматриваемым улицам увеличилась на 44% по сравнению с 2019 г. и почти в 2 раза по сравнению с 2014 г.). В результате эффект сокращения выбросов в районе за 2012–2018 гг. составил 460 т в год (3%) при росте численности населения на 9% и объеме введенного многоэтажного жилья 460,5 тыс. м².

На радиальных дорогах доля грузового транспорта минимальна. Особенностью района Очаково-Матвеевское является наличие крупной промзоны, что обуславливает повышенную долю грузового транспорта прежде всего по хордовым трассам,

а также по новой эстакаде, которая проложена по краю промзоны Очаково. Новые магистрали выделяются самой высокой долей грузовиков (5,1%), поскольку они в значительной степени пользуются развязками на МКАД.

Доля новых магистралей в суммарном объеме выбросов в атмосферу от автотранспорта района немного ниже, чем в трафике, но, вероятно, при таких темпах роста интенсивности движения в ближайшей перспективе можно прогнозировать снижение средней скорости движения, что при высокой доле грузового транспорта будет способствовать опережающему росту загрязнения. В целом объем выбросов во многом пропорционален трафику: доля в выбросах легкового транспорта совпадает с долей в трафике для радиальных магистралей, для грузового транспорта доли совпадают на хордовых улицах (табл. 2).

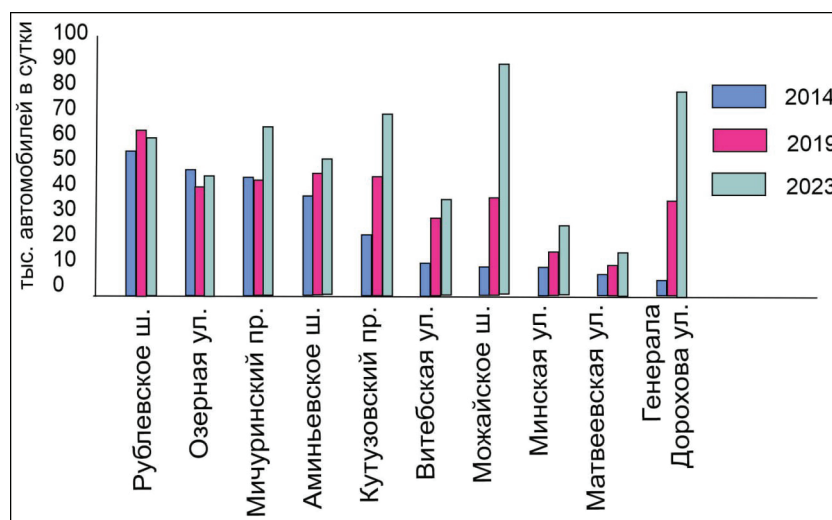


Рис. 5. Изменение среднесуточного количества автомобилей на отдельных участках территории района Очаково-Матвеевское и его окрестностей, 2014–2024 гг. Источник: по данным натурных наблюдений

Fig. 5. Change in the average daily number of cars in certain areas of the Ochakovo-Matveevskoye district and its environs, 2014–2024. Source: based on field observations

Важнейшим инфраструктурным проектом на данной территории является строительство СЗХ – высокоскоростной бессветофорной магистрали в направлении северо-восток – юго-запад. Это привело к довольно серьезным изменениям дорожной сети за последние пять лет. В итоге было выявлено, что строительство магистралей не снижает уровень загрязнения в результате снижения выброса в «пробках», оно:

- создает новый ареал загрязнения воздуха, но относительно изолировано от жилых районов, поскольку магистрали прокладываются в некотором отдалении и с соответствующей инфраструктурой, создающей дополнительные барьеры. При увеличении скорости движения от 90 до 120 км/ч, что, как

правило, происходит на начальных этапах эксплуатации новых магистралей, когда интенсивность потока снижается, при средней структуре транспортного потока удельный выброс СО возрастает в 1,91 раза, NO_x – в 2,1 раза, углеводородов – на 30%, а взвешенных частиц – на 10%;

- перераспределяет потоки между улицами и магистралями, оптимизируя их, что скорее положительный эффект, т. к. улучшает характер движения, уровень мобильности населения и немного снижает выбросы от грузового транспорта;

- создает зоны «заторов» и ареалы высокой плотности выбросов у съездов и въездов на магистраль, максимально утром в точке выезда на магистраль и в точке съезда с нее, начиная с 18 часов.

Таблица 2

Изменение трафика и объемов выбросов от разных типов дорог района Очаково-Матвеевское в период с марта 2023 по март 2024 г.²

Показатели	Улицы			
	радиальные	хордовые	вновь построенные	всего
Трафик (авт. в сутки)	32 546 00	2 316 200	1 838 100	7 408 900
Средний трафик (авт. в сутки по одной улице)	61 408	41 361	45 953	49 574
Максимальный трафик (авт. в сутки)	314 200	349 400	172 100	349 400
Минимальный трафик (авт. в сутки)	24 000	1400	1900	1400
Автобусы (средний трафик; авт. в сутки по одной улице)	582	454	148	395
Грузовики (средний трафик; авт. в сутки по одной улице)	2457	2259	2413	2376
Доля грузовиков в трафике (%)	44	31	25	100
Доля автобусного трафика (%)	50	41	9,9	100
Доля грузового трафика (%)	37	36	27	100
Доля грузовиков в потоке (%)	4,16	4,9	5,1	4,8
Индекс трафика (%; март 2023 = 100%)	106,6	106	138	108
Скорость потока (км/ч)	32	28	31	30
Объем выбросов легкового транспорта всех улиц (т/год)	7253	5243	3324	15 820
Объем выбросов грузовиков и автобусов всех улиц (т/год)	1097	1142	518	
Доля выбросов легкового транспорта (%)	45,8	33,2	21	100
Доля выбросов грузового транспорта и автобусов (%)	39,8	41,4	19	100

В качестве интегрального показателя загрязнения рассмотренными загрязняющими веществами был построен индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). В 2019 г. в пределах исследуемой территории величина ИЗА индекса варьировала от 0,1 до 1,55 при среднем значении 0,54, что соответствует низкой интенсивности воздействия (рис. 6).

На пересечениях крупных магистралей ИЗА увеличивается в 2–2,5 раза. Начиная с 2010 г., величина данного индекса постепенно снижается, и к 2019 г. максимальное его значение составляет лишь 0,03, что свидетельствует о низком загрязнении атмосферы данными источниками. Однако к 2024 г. ИЗА вновь вырос, хотя и меньшими темпами, чем трафик. Рост также связан со строительством СЗХ, где ранее не было ареала, и в районах развязок, где увеличилась доля грузового транспорта. Пространственное распределение индекса наиболее близко к распределению концентраций оксидов азота, так как именно это загрязняющее вещество вносит решающий вклад в его величину.

²Рассчитано по данным Эспар-аналитик, натурным наблюдениям месячного трафика по 162 участкам улиц района Очаково-Матвеевское.

ВЫВОДЫ

Важным следствием постиндустриального развития города стал рост автопарка, увеличение мобильности личного транспорта, реконструкция промзон, формирование новой топологии сети и новой транспортной политики. Полимасштабный анализ тенденций динамики выбросов в атмосферу от автотранспорта Москвы за 2014–2023 гг. показал:

- 1) баланс факторов, определяющих влияние автотранспорта на качество атмосферного воздуха в Москве, существенно изменился за последние годы: в 2000-е гг. на фоне роста автомобилизации происходило сокращение загрязнения за счет улучшения качества автомобильного парка и топлива. В 2010-е гг. размер и структура парка стали консервативными факторами, а увеличение плотности дорожной сети и изменение ее конфигурации – модернизационными;
- 2) население, размер автопарка, параметры планировочной структуры территории, объем жилого фонда – эндогенные характеристики соответ-

ствующих муниципальных районов. При этом выбросы от автотранспорта сегодня намного сильнее связаны с условно экзогенными характеристиками, в первую очередь с транспортно-географическим положением, степенью транзитности того или иного района, пропускной способностью основных пересекающих район магистралей;

3) новое строительство в сочетании с мерами по увеличению связности УДС и развитию системы общественного транспорта дали наибольший эффект в 2014–2019 гг. Исследование в районе Очаково-Матвеевское показало, что эффект развития инфраструктуры временный, поскольку он во многом стимулирует использование личного транспорта, прирост трафика на новых магистралях в 2023–2024 гг. нивелировал положительный эффект от перераспределения потоков и создал новые ареалы загрязнения;

4) основное сокращение выбросов наблюдается в центре и в среднем поясе города, где происходит интенсивное строительство новых дорог и развязок, а также развитие общественного транспорта. Однако одни из самых высоких темпов прироста

УДС наблюдались в зоне пересечения основных вылетных магистралей города с МКАД, и эти меры экологического эффекта пока не дали;

5) территориальная структура загрязнения в городе постепенно выравнивается, что приводит, с одной стороны, к исчезновению локальных максимумов загрязнения в центре города, а с другой – к увеличению загрязнения в селитебных районах. Территориальные различия несколько сократились, поскольку выбросы сократились именно в тех районах, где они и были очень высокими. В Новой Москве наблюдается обратная тенденция: очень высокие темпы роста выбросов, нарастающий уровень локализации их в ближнем поясе и в основных районах строительства. В настоящее время практически все ареалы повышенной плотности загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, располагаются только в пределах воздействия автотранспортных магистралей, наблюдается уменьшение амплитуды колебания плотности выбросов в атмосферу (в 1,5 раза), что позволяет говорить о нивелировании различий в загрязнении атмосферы районов города.

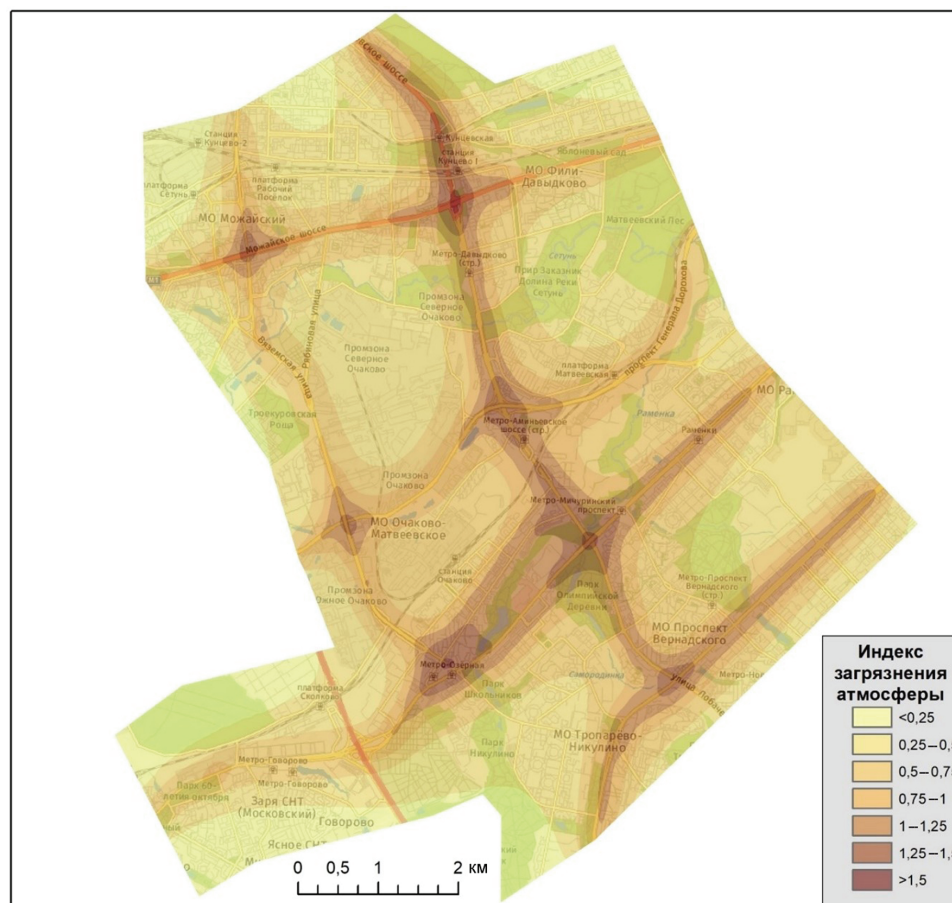


Рис. 6. Индекс загрязнения атмосферного воздуха, рассчитанный по данным за 2023–2024 гг.

Fig. 6. Atmospheric air pollution index calculated from data for 2023–2024

Благодарности. Работы выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-77-30004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Битюкова В.Р., Касимов Н.С., Власов Д.В. Экологический портрет российских городов // *Экология и промышленность России*. 2011. № 4. С. 6–18.
- Блинкин М.Я. Качество планирования городских транспортных сетей в зеркале классических моделей теории транспортного потока // *Городские исследования и практики*. 2015. С. 55–67.
- Власов Д.В., Кукушкина О.В., Кошелева Н.Е. и др. Уровни и факторы накопления металлов и металлоидов в придорожных почвах, дорожной пыли и их фракции РМ₁₀ в Западном округе Москвы // *Почвоведение*. 2022. № 5. С. 538–555. DOI: 10.31857/S0032180X22050112.
- Кошелева Н.Е., Дорохова М.Ф., Кузьминская Н.Ю. и др. Влияние автотранспорта на экологическое состояние почв в западном административном округе Москвы // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 2018. № 2. С. 16–27.
- Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // *ПЭММЭ*. 2018. Т. XXIX. № 3. С. 53–78.
- Якишин А.М. Перспективы развития сети городских магистралей. М.: Стройиздат, 1975. 110 с.
- Bitukova V.R., Mozgunov N.A. Spatial Features Transformation of Emission From Motor Vehicles In Moscow, *Geography, Environment, Sustainability*, 2019, vol. 12, no. 4, p. 57–73.
- Bitukova V.R., Mozgunov N.A., Gapizhanuly G. Assessing the Impact of Road Construction on the Environment in Moscow: Microgeographical Analysis, *InterCarto. InterGIS*, 2022, vol. 28(1), p. 115–128.
- Borrego C., Tchepel O., Salmim L. et al. Integrated modeling of road traffic emissions: Application to Lisbon air quality management, *Cybernetics and Systems*, 2004, vol. 35, p. 535–548, DOI: 10.1080/0196972049051904.
- Chavez-Baeza C., Sheinbaum-Pardo C. Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollutants and GHG (greenhouse gas) emissions in the Mexico City Metropolitan Area, *Energy*, 2014, vol. 66, p. 624–634, DOI: 10.1016/j.energy.2013.12.047.
- Chien Y.-C., Hu W.-H. Low-Carbon and Sustainable Urban Bike Lane Labelling System-A Case Study of Taichung, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020 9 p., DOI: 10.1088/1755-1315/581/1/012035.
- Deak G., Raischi N., Matei M. et al. Meteorological parameters and air pollution in urban environments in the context of sustainable development, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, DOI: 10.1088/1755-1315/616/1/012003.
- Gis W., Gis M., Wisniewski P. et al. Initial assessment of the legitimacy of limiting the maximum permissible speed on highways and motorways based on tests in real traffic conditions, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 642, 012016, DOI: 10.1088/1755-1315/642/1/012016.
- Harrison R.M., Allan J., Carruthers D. et al. Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic. A review, *Atmospheric Environment*, 2021, vol. 262, 118592, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2021.118592.
- Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K. et al. Noise and environmental pollution from transport: Decisive problems in developing ecologically efficient transport systems, *Journal of Vibroengineering*, 2017, vol. 19, p. 5639–5655, DOI: 10.21595/jve.2017.19371.
- Janarthanan R., Partheeban P., Somasundaram K. et al. A deep learning approach for prediction of air quality index in a metropolitan city, *Sustainable Cities and Society*, 2021, vol. 67, DOI: 10.1016/j.scs.102720.
- Kerimray A., Azbanbayev E., Kenessov B. et al. Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air Pollutants in Almaty, Kazakhstan, *Aerosol and Air Quality Research*, 2020, p. 1340–1352, DOI: 10.4209/aaqr.2019.09.0464.
- Mueller N., Rojas-Rueda D., Khreis H. et al. Changing the urban design of cities for health. The superblock model, *Environment International*, 2020, vol. 134, 13 p., DOI: 10.1016/j.envint.2019.105132.
- Parsaev E.V., Malyugin P.N., Teterina I.A. Methodology for the calculation of emissions for non-stationary transport flow, *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2018, vol. 15, no. 5, p. 686–697.
- Petrovska N., Stevanovic A. Traffic Congestion Analysis Visualisation Tool, *Proceedings of the IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC*, 2015, p. 1489–1494, DOI: 10.1109/ITSC.2015.243.
- Phung P.T.K., Thi N.T., Cuc V.T.K. A Study on Urban Traffic Congestion Using Simulation Approach, *Proceedings of the 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development, GTSD*, 2020, p. 555–561, DOI: 10.1109/GTSD50082.2020.9303130.
- Popovicheva O., Diapouli E. et al. Aerosol characterization and peculiarities of source apportionment in Moscow, the largest and northernmost European megacity, *Science of the Total Environment*, 2024, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170315.
- Rafael S., Vicente B., Rodrigues V. et al. Impacts of green infrastructures on aerodynamic flow and air quality in Porto's urban area, *Atmospheric Environment*, 2018, vol. 190, p. 317–330, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.07.044.
- Sam R. Assessment and characterization of air pollution due to vehicular emission considering the aqi and los of various roadways in Kolkata, *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2021, vol. 93, p. 199–208, DOI: 10.1007/978-981-15-6887-9_23.
- Silva C.B.P.D., Saldiva P.H.N., Amato-Lourenço L.F. et al. Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil, *Journal of Environmental Management*, 2012, vol. 101, p. 191–196, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.02.009.
- Wang Q., Sun H. Traffic Structure Optimization in Historic Districts Based on Green Transportation and Sustainable Development Concept, *Advances in Civil Engineering*, 2019, vol. 2, 18 p., DOI: 10.1155/2019/9196263.
- Zhou S., Ng S.T., Yang Y. et al. Integrating computer vision and traffic modeling for near-real-time signal timing optimization of multiple intersections, *Sustainable Cities and Society*, 2021, vol. 68, DOI: 10.1016/j.scs.2021.102775.

Электронные ресурсы

База данных показателей муниципальных образований (БДПМО). Федеральная служба государственной ста-

- истики (Росстат). URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 10.09.2023).
- База данных Росприроднадзора (Федеральная служба по надзору в сфере природопользования). URL: [http:// https://fedstat.ru/indicator/42723](http://https://fedstat.ru/indicator/42723) (дата обращения 07.09.2023).
- База данных Федеральной налоговой службы. Отчет о налоговой базе и структуре начислений по транспортному налогу. URL: [https://www.nalog.ru/ related_activities/statistics_and_analytics/forms/](https://www.nalog.ru/related_activities/statistics_and_analytics/forms/) (дата обращения 08.09.2023).
- Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах промышленных предприятий (ОНД-86). URL: [https:// docs.cntd.ru/document/1200000112](https://docs.cntd.ru/document/1200000112) (дата обращения 08.09.2023).
- Приказ Минприроды России от 27.11.2019 № 804 «Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха» (зарегистрировано в Минюсте России 24.12.2019 № 56957). URL: [http:// publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260052](http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260052) (дата обращения 08.09.2023).
- Рекомендации, утвержденные распоряжением Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 1 ноября 2013 г. № 6-р «Об утверждении Порядка организации работ по оценке выбросов от отдельных видов передвижных источников (с изменениями и дополнениями)». URL: <https://base.garant.ru/70573338/> (дата обращения 08.09.2023).

Поступила в редакцию 16.12.2024
После доработки 10.01.2025
Принята к публикации 21.01.2025

CURRENT TRENDS AND FACTORS OF THE DYNAMICS OF POLLUTANT EMISSIONS FROM MOTOR TRANSPORT IN MOSCOW

V.R. Bityukova¹, N.A. Koldobskaia², O.E. Prusikhin³

¹⁻³ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia*
² *Shenzhen MSU-BIT University, Faculty of Geography*

¹ *Prof., D.Sc. in Geography; e-mail: v.r.bityukova@geogr.msu.ru*

² *Associate Prof., Ph.D. in Geography, corresponding author; e-mail: koldobskaiana@my.msu.ru*

³ *Post-graduate student; e-mail: olegprus2000@mail.ru*

The article provides a comprehensive analysis of the factors governing the dynamics of motor vehicles emissions into the atmosphere of Moscow during 2014–2023. It has been found that in the 2000s, against the background of increased motorization, pollution was reduced by improving the quality of the vehicle fleet and fuel. In the 2010s, changes in the density and topology of the transport network, and actively developing public transport as a result of the effective urban transport policy, became the main factors governing the dynamics of emissions and their territorial proportions. Before the period under study, the planning structure of the city dictated low network connectivity, excessive mileage and increased pollution in certain areas of the city under the rapidly changing vehicle fleet of the capital. The study showed that in recent years, on the contrary, the number of cars and the structure of the fleet have become a conservative factor, and the city's development strategies have focused on the construction and reconstruction of roads, thus strengthening the network connectivity. The calculation of emissions from individual sections of the road network in the Ochakovo-Matveevskoye municipal area based on data on the intensity and structure of traffic flows for the 2014–2023 period showed that emissions became lower only for light trucks with gasoline and heavy trucks with diesel. The main trend in recent years was an increasing uniformity of pollution from motor vehicles. New housing construction programs and large-scale projects for the transformation of Moscow's districts lead to the increasing connectivity of the city and at the same time the equalizing density of traffic pollution. The balance of these factors changes over time (the inherited factors were the main ones at the beginning of the post-Soviet period, while in recent years the positive transformation factors have become predominant) and in space (industrial zones have been preserved only on the periphery of the city, and railway stations are being moved there; the changing network topology has not only increased connectivity, but also created a vacuum effect in the center).

Keywords: mobile sources of pollution, transport networks, emissions, transport modeling, Ochakovo-Matveevskoye, Moscow

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 19-77-30004).

REFERENCES

- Bitjukova V.R., Kasimov N.S., Vlasov D.V. *Ekologicheskii portret rossiiskikh gorodov, Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2011, vol. 4, p. 6–18. (In Russian)
- Bitjukova V.R., Mozgunov N.A. Spatial Features Transformation of Emission from Motor Vehicles in Moscow, *Geography, Environment, Sustainability*, 2019, vol. 12(4), p. 57–73.
- Bitjukova V.R., Mozgunov N.A., Gapizzhanuly G. Assessing the Impact of Road Construction on the Environment in Moscow, *Microgeographical Analysis, InterCarto. InterGIS*, 2022, vol. 28(1), p. 115–128.
- Blinkin M.Ya. The quality of urban transport network planning in the mirror of classical models of traffic flow theory, *Urban research and practice*, 2015, p. 55–67. (In Russian)
- Borrego C., Tchepel O., Salmim L. et al. Integrated modeling of road traffic emissions: Application to Lisbon air quality management, *Cybernetics and Systems*, 2004, vol. 35, p. 535–548, DOI: 10.1080/0196972049051904.
- Chavez-Baeza C., Sheinbaum-Pardo C. Sustainable passenger road transport scenarios to reduce fuel consumption, air pollutants and GHG (greenhouse gas) emissions in the Mexico City Metropolitan Area, *Energy*, 2014, vol. 66, p. 624–634, DOI: 10.1016/j.energy.2013.12.047.
- Chien Y.-C., Hu W.-H. Low-Carbon and Sustainable Urban Bike Lane Labelling System-A Case Study of Taichung. Presented at the IOP Conference Series, *Earth and Environmental Science*, 2020, 9 p., DOI: 10.1088/1755-1315/581/1/012035.
- Deak G., Raischi N., Matei M. et al. Meteorological parameters and air pollution in urban environments in the context of sustainable development, *Presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, DOI: 10.1088/1755-1315/616/1/012003.
- Gis W., Gis M., Wisniewski P., Taubert S.I. Initial assessment of the legitimacy of limiting the maximum permissible speed on highways and motorways based on tests in real traffic conditions, *Presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 9 p., DOI: 10.1088/1755-1315/642/1/012016.
- Harrison R.M., Allan J., Carruthers D. et al. Non-exhaust vehicle emissions of particulate matter and VOC from road traffic: A review, *Atmospheric Environment*, 2021, vol. 262, p. 118592 DOI: 10.1016/j.atmosenv.2021.118592.
- Jacyna M., Wasiak M., Lewczuk K., Karoń G. Noise and environmental pollution from transport: Decisive problems in developing ecologically efficient transport systems, *Journal of Vibroengineering*, 2017, vol. 19, p. 5639–5655, DOI: 10.21595/jve.2017.19371.
- Janarthanan R., Partheeban P., Somasundaram K., Navin Elamparithi P. A deep learning approach for prediction of air quality index in a metropolitan city, *Sustainable Cities and Society*, 2021, vol. 67, DOI: 10.1016/j.scs.102720.
- Kerimray A., Azbanbayev E., Kenessov B. et al. Spatiotemporal Variations and Contributing Factors of Air Pollutants in Almaty, Kazakhstan, *Aerosol and Air Quality Research*, 2020, vol. 20, p. 1340–1352, DOI: 10.4209/aaqr.2019.09.0464.
- Kosheleva N.E., Dorokhova M.F., Kuzminskaya N.Yu. et al. Vliyanie avtotransporta na ekologicheskoe sostoyanie pochv v Zapadnom administrativnom okruge Moskvyy [Impact of motor vehicles on the ecological state of soils in the Western district of Moscow], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, vol. 2, p. 16–27. (In Russian)
- Mueller N., Rojas-Rueda D., Khreis H. et al. Changing the urban design of cities for health: The superblock model, *Environment International*, 2020, vol. 134(13), DOI: 10.1016/j.envint.2019.105132.
- Parsaev E.V., Malyugin P.N., Teterina I.A. Methodology for the calculation of emissions for non-stationary transport flow, *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2018, vol. 15(5), p. 686–697.
- Petrovska N., Stevanovic A. Traffic Congestion Analysis Visualisation Tool. Presented at the IEEE, *Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 2015, p. 1489–1494, DOI: 10.1109/ITSC.2015.243.
- Phung P.T.K., Thi N.T., Cuc V.T.K. A Study on Urban Traffic Congestion Using Simulation Approach, *Proceedings of 2020 5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development, GTSD*, 2020, p. 555–561, DOI: 10.1109/GTSD50082.2020.9303130.
- Popovicheva O., Diapouli E., Chichaeva M. et al. Aerosol characterization and peculiarities of source apportionment in Moscow, the largest and northernmost European megacity, *Science of the Total Environment*, 2024, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.170315.
- Rafael S., Vicente B., Rodrigues V. et al. Impacts of green infrastructures on aerodynamic flow and air quality in Porto's urban area, *Atmospheric Environment*, 2018, vol. 190, p. 317–330, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.07.044.
- Revich B.A. Melkodispersnye vzveshennyye chastitsy v atmosfere vozdukh i ikh vozdeistvie na zdorov'e zhitel' megapolisov, 2018, PEMME, vol. 29(3), p. 53–78. (In Russian)
- Sam R. Assessment and characterization of air pollution due to vehicular emission considering the AQI and loss of various roadways in Kolkata, *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2021, vol. 93, p. 199–208, DOI: 10.1007/978-981-15-6887-9_23.
- Silva C.B.P.D., Saldiva P.H.N., Amato-Lourenço L.F. et al. Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil, *Journal of Environmental Management*, 2012, vol. 101, p. 191–196, DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.02.009.
- Vlasov D.V., Kukushkina O.V., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. Levels and factors of the accumulation of metals and metalloids in roadside soils, road dust and their PM₁₀ fraction in the Western okrug of Moscow, *Eurasian Soil Science*, 2022, vol. 55. no. 5, p. 556–572.
- Wang Q., Sun H. Traffic Structure Optimization in Historic Districts Based on Green Transportation and Sustainable Development Concept, *Advances in Civil Engineering*, 2019, vol. 18, DOI: 10.1155/2019/9196263.
- Yakshin A.M. *Perspektivy razvitiya seti gorodskikh magistralей* [Prospects of evolution of the urban motorway network], Moscow, Stroiizdat Publ., 1975, vol. 110, p. 18. (In Russian)
- Zhou S., Ng S.T., Yang Y. et al. Integrating computer vision and traffic modeling for near-real-time signal timing optimization of multiple intersections, *Sustainable Cities and Society*, 2021, vol. 68, DOI: 10.1016/j.scs.2021.102775.

Web sources

- Database of Municipality Indicators Federal State Statistics Service (Rosstat), URL: <http://www.gks.ru> (access date 10.09.2023). (In Russian)
- Federal Tax Service database. Report on the tax base and structure of charges for transport tax, URL: https://www.nalog.ru/related_activities/statistics_and_analytics/forms/ (access date 08.09.2023). (In Russian)
- Metodika rascheta kontsentratsii v atmosfernom vozdukh vrednykh veshchestv, soderzhashchikh-sya v vybrosakh promyshlennykh predpriyatii (OND-86) [Methodology for calculating concentrations in atmospheric air of harmful substances contained in emissions from industrial enterprises (OND-86)], URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000112> (access date 08.09.2023). (In Russian)
- Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated 27.11.2019 No. 804 "On approval of the methodology for determining emissions of pollutants into the atmospheric air from mobile sources for conducting consolidated calculations of atmospheric air pollution" (Registered in the Ministry of Justice of Russia on 24.12.2019 No. 56957), URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912260052> (access date 08.09.2023). (In Russian)
- Rekomendatsii, utverzhennye rasporyazheniem Federal'noi sluzhby po nadzoru v sfere prirodopol'zovaniya ot 1 noyabrya 2013 g. № 6-r "Ob utverzhenii Poryadka organizatsii rabot po otsenke vybrosov ot otchel'nykh vidov peredvizhnykh istochnikov (s izmeneniyami i dopolnениyami)" [Recommendations approved by the order of the Federal Service for Supervision of Natural Resources of November 1, 2013 No. 6-r "On approval of the Procedure for organizing work on assessing emissions from certain types of mobile sources (with amendments and additions)"], URL: <https://base.garant.ru/70573338/> (access date 08.09.2023). (In Russian)
- Rosprirodnadzor database (Federal Service for Supervision of Natural Resources), URL: <http://https://fedstat.ru/indicator/42723> (access date 07.09.2023). (In Russian)

Received 16.12.2024

Revised 10.01.2025

Accepted 21.01.2025

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 911.37, 314.7

ФАКТОРЫ ИСХОДЯЩЕЙ МИГРАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ: ДАННЫЕ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОСА

А.В. Лялина

Балтийский федеральный университет имени И. Канта, Центр социально-экономических исследований региона; научный сотрудник, канд. геогр. наук; e-mail: amazova@kantiana.ru

В статье на примере Калининградской области рассматривается структура и причины исходящей миграции населения после 2022 г. с использованием данных опроса жителей региона об индивидуальном миграционном опыте и о миграционном опыте ближайшего окружения, проведенного весной 2024 г. Выявлено, что высокая миграционная подвижность местного населения, а также существенная доля новоселов, в частности, обусловили высокую частоту встречаемости переезда за пределы региона среди взрослого населения: каждый пятый совершеннолетний житель имеет среди знакомых хотя бы одну семью, покинувшую регион в 2022–2023 гг. Вероятно, имеет место также транзитная миграция через территорию региона. Выезд калининградцев за рубеж был обусловлен главным образом факторами безопасности, политическими мотивами, но также и стремлением улучшить экономические условия проживания (при переезде в страны дальнего зарубежья). Важнейшую роль сыграли социальные миграционные связи. Мотивация переезда в другой регион России оказалась связана прежде всего с поиском более высокооплачиваемой работы и лучших возможностей для самореализации, финансовым благополучием. При этом переезд за рубеж затронул преимущественно жителей 25–44 лет с высшим образованием, занятых в сфере информационных технологий, строительства и промышленности, торговли и услуг, в том числе работающих в качестве предпринимателей и самозанятых. Другой регион России выбирали представители разных возрастных групп, в том числе 45–55 и 18–24 лет, со средним профессиональным или высшим образованием, занятые в бюджетной сфере, торговле и услугах, строительстве, промышленности, а также учащиеся и студенты.

Исследование показало, что активизация миграционного потенциала в Калининградской области в кризисных ситуациях происходит по линии миграционных связей и вследствие накопленного опыта мобильности и более низкой шокоустойчивости региона по причине высокой импортозависимости его экономики (что усугубляет проблему разрыва в уровне социально-экономического развития с другими территориями), что актуально как для внутристрановых, так и международных перемещений.

Ключевые слова: отток населения, исходящая миграция, причины миграции, квалифицированные специалисты

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.3

ВВЕДЕНИЕ

Начало специальной военной операции на Украине в феврале 2022 г. и последующая мобилизация в сентябре 2022 г. обусловили в России всплеск выезда россиян за рубеж. Масштабы этого процесса экспертами оцениваются в 0,5–1,0 млн человек [Russians..., 2024] за февраль 2022 – июль 2023 г. Стремительный, фактически одномоментный отток населения имел свою специфику в отличие от других волн исходящей миграции России [Воробьева и др., 2017] вследствие специфичности причин его обусловивших и спонтанности принятия решения о переезде. Угроза мобилизации определила преобладание в исходящем потоке молодых мужчин, пребывающих в запасе. Спонтанность решения о

переезде свидетельствует о вовлечении в исходящую миграцию обеспеченных жителей России, имеющих финансовые возможности уехать из страны и обладающих достаточной квалификацией и навыками (прежде всего знанием языка) для трудоустройства за рубежом. Поэтому исходящая миграция в большей степени затронула жителей крупных городов. Такой переезд чаще осуществлялся в государства, предлагающие облегченный режим въезда и пребывания для граждан России. Так, основными странами вселения стали Казахстан и Сербия, а также Армения, Грузия, Киргизия, Турция. Ограничения на внешнеэкономическое взаимодействие (например, на финансовые операции) граждан России предопределило миграционную активность специ-

алистов, занятых на международном рынке труда (например, ИТ-специалистов). Несогласие с официальным курсом страны стимулировало выезд части населения с активной жизненной позицией.

Наряду с волной исходящей миграции в этот период активизировались и процессы внутренней межрегиональной миграции населения, обусловленные прежде всего изменением социально-экономических условий жизни в регионах. Прежде всего это касается межрегиональной трудовой миграции, которая после снижения объемов в 2022 г. на 7% относительно 2021 г., в 2023 г. опять возросла – 2% к 2022 г.¹ При этом объемы межрегиональной постоянной миграции в 2022–2023 гг. в целом оставались на уровне 2021 г.²

Регионы России оказались вовлечены в эти процессы неодинаково. Исходящая миграция в Калининградской области имела ряд своих особенностей, обусловленных как особым эксклавым положением и территориальной близостью к странам Европы, так и накопленным миграционным опытом населения.

Сегодня на фоне обострения геополитической напряженности на западных рубежах России влияние эксклажности на развитие Калининградской области значительно усилилось через рост ее отделенности и удаленности. Это ведет к усилению традиционных и появлению новых рисков и угроз, которые сказываются как на снижении миграционной привлекательности региона, так и на формировании выталкивающих факторов. Во-первых, это геополитические и военные риски, связанные с военным противостоянием со странами НАТО, блокадой региона. Во-вторых, экономические вызовы и угрозы по причине сохранения высокой импортной зависимости экономики региона, возможного ухода производств в основную часть страны, диспропорций территориально-отраслевой структуры. Особую озабоченность представляют транспортно-логистические ограничения по причине роста уязвимости транспортной связанности с основной территорией России (ухудшение сухопутного транзита, риски установления ограничений со стороны стран НАТО на морские перевозки). В-третьих, социальные риски и угрозы в связи с более глубоким падением уровня жизни населения относительно ситуации в среднем по РФ.

Территориальная близость к странам Европы, некогда определявшая стратегию социально-экономического развития региона по модели «коридора развития» [Федоров, 2010], «витрины России», с помощью которой преодолевались издержки экс-

клавности (малый размер экономики, уязвимость, удаленность, изолированность [Волошенко, 2024]), развивалось международное сотрудничество, сопровождаемое различными формами мобильности населения [Зотова и др., 2015], сегодня играет уже иную роль. С точки зрения исходящей мобильности, значение имеет миграционная подвижность населения области, сложившаяся в условиях открытости региона, социальные связи населения в иностранных государствах и экономическая доступность переезда в страны запада по причине их территориальной близости и наличия сухопутного транспортного сообщения. В то же время препятствовать исходящей миграции могут визовые и другие ограничения.

Безусловно на миграционный потенциал Калининградской области влияет не только миграционный опыт со странами потенциального вселения мигрантов, а в целом миграционная подвижность населения, его укорененность. С этой точки зрения область выделяется на фоне других российских регионов – доля коренных жителей Калининградской области, по данным Всероссийской переписи населения 2020 г., составляла 47%, в то время как в среднем по регионам РФ – 69%. Обращает внимание и достаточно высокий удельный вес новоселов (проживающих на территории региона менее 10 лет) среди жителей эксклава – 14,5% среди населения 18–50 лет, по данным Всероссийской переписи населения 2020 г., при средней по регионам РФ – 11%. Такая ситуация обусловлена высокой миграционной привлекательностью области, сохраняющейся на протяжении последних 10 лет, и возможностями краткосрочной международной мобильности.

Следствием существенно изменившихся условий развития эксклавного региона и страны в целом, активизации миграционного потенциала области стало падение сальдо миграции населения в регионе – с 16‰ в 2021 г. до 6‰ в 2022–2023 гг. Основной вклад пришелся на сокращение числа прибытий из других регионов России на 19% и рост числа выбытий в регионы России на 12%, страны ближнего зарубежья (БЗ) – в 1,6 раза³ и в страны дальнего зарубежья (ДЗ) – на 27%. Кроме того, значительно возросли масштабы исходящей межрегиональной трудовой миграции – в 1,4 раза в 2023 г. к 2022 г., достигнув максимальных значений с 2016 г. (6,1 тыс. чел.).

³ В миграции со странами БЗ фиксируется резкое сокращение числа выбытий во второй половине 2021 г. Это было обусловлено действием Указа Президента РФ от 15.06.2021 г. № 364, продлевающего сроки регистрации в России иностранных граждан (из-за последствий пандемии COVID-19). Таким образом, выбытия, не попавшие в учет в 2021 г., были избыточно учтены в начале 2022 г.

¹ По данным выборочного обследования рабочей силы Росстат в 2021–2023 гг.

² По данным бюллетеня Росстата «Численность миграции населения Российской Федерации» за 2021–2023 гг.

Поэтому в рамках данного исследования мы попытались выявить особенности структуры (половозрастной, квалификационной и др.), географии и факторов исходящей миграции в Калининградской области в 2022–2023 гг. с помощью социологического опроса жителей региона о собственном миграционном опыте и опыте их окружения.

Изученность темы. Современные волны исходящей миграции жителей России традиционно представляют интерес для отечественных исследователей [Воробьева и др., 2017; Алешковский, Бочарова, 2014]. Последней волне исходящей миграции 2022–2023 гг. посвящено не так много работ по причине сложности проведения исследований среди россиян, переехавших за рубеж. Отдельные результаты представлены в работах научно-исследовательских центров, расположенных в государствах вселения новых русских эмигрантов (например, [ICMPD Migration..., 2023; Камалов и др., 2024; Chervyakov, Giucci, 2023]). Исследования отечественных авторов показывают, что отток населения за рубеж затронул преимущественно молодых образованных и высококвалифицированных специалистов и предпринимателей в таких сферах, как IT, наука, дизайн [Архипова и др., 2023; Молдован, 2023; Таишева, 2022; Рахмонов, 2023; Евстратов, 2024; Пурен, Чимирис, 2024; Geiger, Syrakvash, 2023; Chankseliani, Belkina, 2024; Волошина, Лялина, 2022]. При этом отмечается, что в межконтинентальные миграции, например, в Бразилию, чаще были вовлечены целые семьи с детьми, чем в перемещения на меньшие расстояния [Ruseishvili, Ryazantsev, 2024]. Некоторые исследователи [Руденкин, 2023] утверждают, что страна столкнулась с новой волной «утечки умов». Основными причинами называют несогласие с действиями властей, ограничение на ведение трудовой деятельности и свободу передвижения, опасения за личную безопасность и отсутствие уверенности в завтрашнем дне.

Главным источником информации в подобных исследованиях выступают социологические опросы и интервью, охватывающие группы населения, сменившие место постоянного проживания. Однако в регионах исхода мигрантов это сделать проблематично. Тогда источником информации могут стать интервью с жителями региона, в окружении которых есть те, кто покинул регион. Несмотря на то что подобный подход практикуется социологами (например, [Эмиграционные..., 2022; Эмиграция..., 2022]), он имеет ряд недостатков и ограничений в интерпретации результатов. Среди них – невозможность достижения репрезентативной выборки, вероятность повторов в характеристике окружения, субъективность суждений о мотивах миграции и качественных характеристиках мигрантов и др.

В то же время полученные результаты могут рассматриваться в качестве первоначальной оценки наиболее распространенной мотивации переезда в региональном социуме и качественных характеристик населения, покинувшего регион. Согласно данным ВЦИОМ [Эмиграционные..., 2018], традиционно доля жителей страны, в окружении которых есть знакомые, покинувшие Россию в последние пять лет, колеблется от 20 до 26%.

Автору статьи не встретились исследования, посвященные анализу масштабов и факторов межрегиональной миграции в регионах России после 2022 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В марте–апреле 2024 г. в рамках проекта РНФ № 23-77-01102 «Миграционные факторы и риски в развитии трудового потенциала эксклавного региона в эпоху геополитической турбулентности» было проведено социологическое исследование, посвященное характеристике миграционного опыта жителей Калининградской области в период 2022–2023 гг. Социологическое исследование проводилось в форме опроса 1005 респондентов в возрасте 18–50 лет методом face-to-face по выборке, репрезентирующей население Калининградской области по типу населенного пункта (Калининград, города Калининградской области, села), полу и возрасту. Из общего числа респондентов покинуло регион и вернулось обратно 55 человек, или 5,5% выборки. В ходе опроса также удалось получить данные и описать 300 семей в составе 564 человек старше 18 лет и выяснить число выехавших несовершеннолетних 207 детей. Суммарно 771 человек.

Основная часть анкеты включала два блока вопросов, описывающих: а) собственный миграционный опыт респондента в 2022–2023 гг. (т. е. тех, кто вернулся в Калининградскую область) и б) миграционный опыт в ближайшем окружении. Обязательная группа вопросов касалась общих характеристик респондентов: пол, возраст, уровень образования, доходы, занятость, место проживания. Задавались следующие вопросы: «Покидали ли Вы Калининградскую область за последние два года с намерением жить в другом месте? Есть ли среди Ваших знакомых те, кто покинул Калининградскую область за последние два года? Как Вы думаете, какова основная причина того, что семья покинула Калининградскую область? Куда переехала эта семья? Каков состав этой уехавшей семьи? Сколько всего человек уехало, в том числе несовершеннолетних? Охарактеризуйте пол, возраст, уровень образования и сферу занятости совершеннолетних членов уехавшей семьи. Известно ли Вам, вернулись ли они в Калининградскую область?»

Анализ первичной информации проводился с помощью распределения частот и сопряжений, а также статистического анализа в программе IBM SPSS Statistics 27.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика калининградцев, вернувшихся в регион после отъезда из него в 2022–2023 гг.

Эта группа жителей области представлена в большинстве (60–65%) своим мужчинами в возрасте 25–44 лет, проживающими в региональной столице. Брачное состояние, равно как и наличие детей в возрасте до 16 лет, по всей вероятности, выступали осложняющими переезд факторами. Так, доля респондентов, не состоящих в официальном браке, среди вернувшихся в регион оказалась выше, чем среди тех, кто не выезжал за пределы области в рассматриваемый период, – 43,6% против 38,1%, а доля не имеющих детей в возрасте до 16 лет – выше тех, у кого они были (56,4% против 47,6%).

Подавляющее большинство респондентов в группе уехавших и вернувшихся имели профессиональное образование, при этом доля лиц с высшим образованием несколько выше, чем доля тех, кто не уезжал из региона, – 31% против 27%. Более 83%

респондентов, вернувшихся в регион, описывали свое материальное положение до переезда «как хорошее» или «очень хорошее». В этой группе респондентов в три раза выше доля лиц с доходом более 100 тыс. р. в месяц (10% против 3% тех, кто не выезжал за пределы области), и в 1,5 раза – с доходами 40–100 тыс. р. в месяц (42% против 27%). Обращает внимание и структура респондентов по роду занятий: среди лиц с недавним миграционным опытом выше удельный вес высококвалифицированных специалистов из числа руководителей предприятий и подразделений (29% против 18%) и предпринимателей (11% против 7%). В отраслевой структуре преобладают торговля и услуги, промышленность, строительство и общественное питание, государственное управление и медицина.

Миграция в ближайшем окружении калининградцев. Более 21% опрошенных указали, что среди их друзей и знакомых есть семьи (или отдельные люди), покинувшие Калининградскую область в последние два года. Почти две трети описанных респондентами семей переехали в другой регион России, еще 29% – в страну ДЗ (рис.). При этом, ввиду того что в другую страну переехали в основном малосоставные семьи, их доля в общем числе покинувших регион в составе семьи едва достигает 13%.

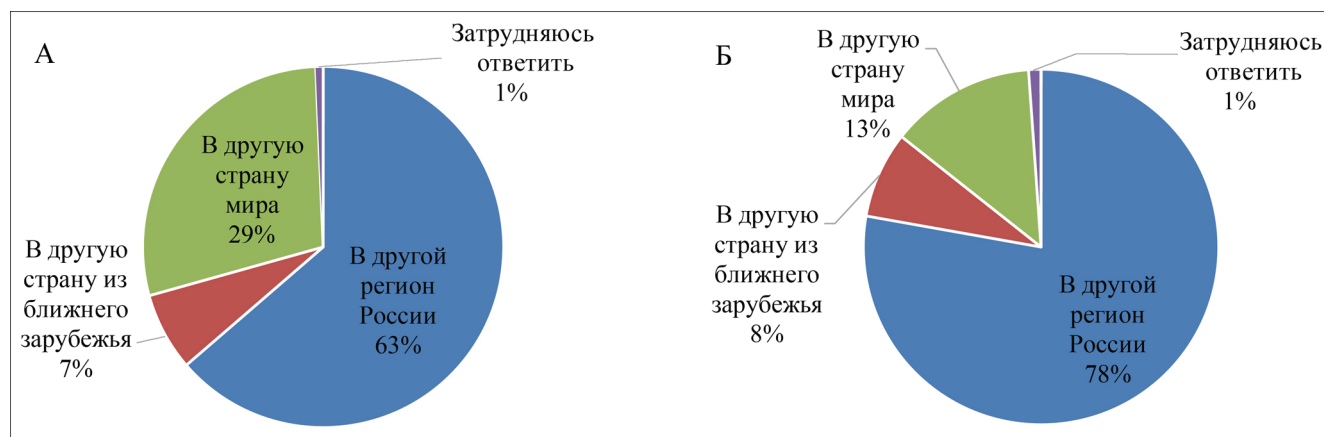


Рис. География территорий назначения калининградцев, покинувших регион в 2022–2024 гг.:

А – распределение семей; Б – распределение членов семей. *Источник:* составлено автором по данным массового опроса населения Калининградской области в 2024 г.

Fig. Geography of destination territories of Kaliningrad residents who left the region in 2022–2024:

А – distribution of families; Б – distribution of family members. *Source:* compiled by the author based on data from a massive survey of population of the Kaliningrad region in 2024

Мотивация исходящей миграции из Калининградской области различна в зависимости от территории назначения. В другие регионы России калининградцы, со слов опрошенных респондентов, переезжали в поиске лучших условий занятости (более высокой зарплаты, возможностей карьерного роста) и проживания (более дешевого жилья) (43%),

в том числе по причине значительного ухудшения уровня жизни в регионе (рост цен, низкие зарплаты) и роста «замкнутости» региона («сжатие» перспектив реализации трудового потенциала) (13%).

В миграции в страны БЗ ведущую роль сыграло наличие семейных связей (32%) и начало СВО на Украине, политические мотивы (32%), а также

ухудшение экономической ситуации в Калининградской области (рост цен, падение доходов).

Переезд в страны ДЗ был обусловлен прежде всего началом СВО на Украине (28%) и политическими мотивами, стремлением улучшить экономические условия проживания (28%). При этом почти для 14% семей, уехавших в страны ДЗ, основной причиной миграции, со слов респондентов, стал переезд к родителям или родственникам и изменение семейного статуса. Обращает внимание также повышенная значимость рисков безопасности вокруг эксклава (риски изоляции, близость государств, враждебно настроенных по отношению к России) в качестве причин исходящей миграции в страны ДЗ.

Описанные респондентами *семьи, переехавшие в другой регион России*, в половине случаев состояли из трех или более членов (включая одного или нескольких несовершеннолетних детей) (табл.). В то же время четверть семей включала только одного члена семьи. В миграцию оказались практически одинаково вовлечены и мужчины, и женщины. Преимущественно это жители региона в возрасте 35–44 лет (40%), а также 25–34 лет (25%) и 45 лет и более (21%). Уровень образования взрослых членов семьи достаточно высок – $\frac{4}{5}$ из них имели высшее или среднее профессиональное образование. Несмотря на сложности с описанием респондентами занятости покинувших регион, отдельные тенденции можно оценить: значимую часть в потоке составили квалифицированные рабочие промышленности, строительства и транспорта, работники сферы торговли и услуг, специалисты среднего звена, предприниматели и самозанятые. Респонденты отмечали крайне низкую долю вернувшихся в регион.

В исходящую миграцию в страны ДЗ, со слов респондентов, также оказались вовлечены многокомпонентные семьи – почти в трети случаев семьи состояли из четырех и более человек. При этом доля многодетных семей среди переехавших в страны ДЗ несколько выше, чем доля переехавших в другой регион России (3,5% против 2%). Гендерных отличий в выборе этого направления миграции также не фиксируется. Однако возрастная структура оказалась более «молодой» – 41% описанных совершеннолетних мигрантов были представлены лицами в возрасте 25–34 лет, еще 39% – в возрасте 35–44 лет. Уровень образования и квалификации выбравших миграцию в страны ДЗ оказался выше, чем среди внутренних мигрантов. Так, со слов респондентов, в половине случаев взрослые члены семьи имели высшее образование и работали специалистами высшего и среднего звена, предпринимателями. Треть эмигрантов были заняты в качестве рабочих в промышленности, строительстве или на транспорте. Обращает внимание также значимая часть

работающих в сфере информационных технологий (15%). По мнению респондентов, 96% переехавших не вернулись в Калининградскую область.

Миграция в страны БЗ в окружении опрошенных жителей Калининградской области оказалась не столь популярна. Состав семей в целом имел мало отличий от выбравших иные направления – более половины семей состояли из 3–4 человек, включая 1–2 несовершеннолетних детей. Миграцию в страны БЗ, со слов респондентов, заметно чаще выбирали мужчины в возрасте 35–44 лет. Обращает внимание пониженная доля лиц с высшим образованием в структуре потока (33%), уступающая представителям со средним профессиональным образованием (41%). Несмотря на преобладание в этой группе занятых в качестве квалифицированных рабочих в сфере промышленности и строительства и служащих, удельный вес предпринимателей и самозанятых оказался самым высоким среди других групп, покинувших регион. Выделяет эту категорию мигрантов также высокая представленность работников сферы информационных технологий (21%), работающих как в качестве самозанятых и предпринимателей, так и специалистов и руководителей подразделений.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты оценки портрета и мотивации жителей Калининградской области, переехавших за рубеж в 2022–2023 гг., в целом демонстрируют ряд сходств с ситуацией, описанной для России в целом. Это прежде всего преобладание в исходящих потоках представителей сферы информационных технологий, а также распространенность политических мотивов и причин, связанных с началом Россией СВО на Украине. Для жителей Калининградской области в миграционном плане страны ДЗ оказались более доступны и желательны для переезда, чем страны БЗ, что объясняется как территориальной близостью, так и наличием социальных связей, отставанием Калининградской области от «соседей» по уровню жизни⁴. Так, ранее не выделяемая в числе значимых причина наличия семейных связей в странах назначения новых мигрантов оказалась одной из приоритетных для покинувших эксклав. Таким образом, высокая миграционная связанность Калининградской области с другими странами как

⁴ Согласно данным Калининградстата, Национального органа статистики Польши (Główny Urząd Statystyczny) и Департамента статистики Литвы (Lietuvos statistikos departamentas), среднедушевые доходы населения Калининградской области по ППС в 2022 г. были на 18% ниже, чем в среднем по воеводствам Польши (на 29% ниже, чем в соседнем Поморском воеводстве) и на 55% ниже, чем в уездах Литвы (на 51% ниже, чем в соседнем Клайпедском уезде).

Таблица

Демографические и профессиональные характеристики жителей Калининградской области, покинувших регион в 2022–2023 гг. (в ближнем окружении респондентов)

		Переезд, %		
		в другой регион России	в страну ДЗ	в страну БЗ
А1. Состав семьи, чел.	1	24	17	24
	2	29	33	19
	3 и более	47	50	57
А2. Наличие детей, чел.	1	53	50	55
	2	42	42	45
	3 и более	5	9	0
А3. Семьи с детьми	Доля семей с детьми	45	42	52
Б1. Пол	Мужской	51	51	59
	Женский	49	49	41
Б2. Возраст, лет	18–24	15	7	15
	25–34	23	41	10
	35–44	40	39	56
	45–54	19	7	18
	55 и более	2	5	0
	Затрудняюсь ответить	1	0	0
Б3. Образование	Начальное, неполное среднее	1	1	0
	Среднее общее	11	5	15
	Среднее профессиональное	40	31	41
	Высшее, неполное высшее, два и более высших	38	52	33
	Затрудняюсь ответить	10	11	10
Б3. Профессиональная группа	Квалифицированный рабочий промышленности, строительства, транспорта	27	29	23
	Специалист, руководитель подразделения	18	17	13
	Служащий, технический исполнитель	7	14	18
	Предприниматель, самозанятый	5	9	15
	Работник сферы обслуживания и торговли, охраны граждан и собственности	9	5	3
	Учащийся, студент	7	4	5
	Другое	11	7	14
	Затрудняюсь ответить	16	13	10
Б5. Сфера деятельности	Промышленность	8	6	21
	Информационные технологии, связь, интернет	2	15	21
	Торговля и услуги	15	16	9
	Строительство	9	6	15
	Общественное питание	1	1	9
	Государственное управление и безопасность	8	2	6
	Сельское хозяйство	1	3	6
	Здравоохранение	6	5	0
	Образование	2	2	0
	Другое	1	2	0
	Затрудняюсь ответить	47	44	15

Примечание. Приведено распределение жителей, покинувших Калининградскую область, по каждому из показателей А1, А2, Б1–Б5 (100% – по столбцу); А – характеристики семьи, Б – характеристики совершеннолетнего члена семьи.

в результате постоянной миграции (миграция из Казахстана и других стран БЗ, транзитная миграция через территорию региона в страны Западной Европы [Савоскул, 2016]), так и временных форм мобильности в страны ДЗ способствует, с одной стороны, насыщению входящих миграционных потоков в благоприятных условиях нарастания миграционной привлекательности региона, с другой – усиливает исходящие потоки в периоды актуализации выталкивающих факторов из региона.

Другим значимым фактором, выталкивающим население из региона, стало ухудшение социально-экономических условий проживания. В первую очередь это колоссальный рост цен при не столь за-

метном росте доходов населения, обусловленный, в том числе, последствиями эксклавного положения региона. Эта причина стимулировала отток жителей области прежде всего в другие регионы России, поскольку меньшие издержки от переезда в пределах страны сделали его возможным для более широкого круга жителей региона.

Полученные результаты в целом свидетельствуют о высоком потенциале и применимости данного подхода к выявлению преобладающих стратегий миграции из региона с учетом различий вовлеченных в миграционный процесс групп населения на основе информации, полученной от резидентов региона исхода.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-77-01102, <https://rscf.ru/project/23-77-01102/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алешковский И.А., Бочарова З.С. Россия в глобальных миграционных потоках: история и современность // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 27. Глобалистика и геополитика. 2014. № 3–4. С. 3–24.
- Архипова Н.И., Васютина Е.С., Чавыкина М.А. Миграционные процессы: проблемы и решения // Вестник РГГУ. Серия: Экономика. Управление. Право. 2023. № 4. С. 8–25. DOI: 10.28995/2073-6304-2023-4-8-25.
- Волошенко К.Ю. Фактор эксклавноности в обеспечении экономической безопасности Калининградской области в национальных интересах России // Экономическая безопасность. 2024. № 7(11). DOI: 10.18334/есес.7.11.122134.
- Волошенко К.Ю., Лялина А.В. Привлекательность Калининградской области: факторы притяжения и причины разочарования мигрантов из регионов России // Балтийский регион. 2022. № 14(3). С. 102–128. DOI: 10.5922/2079-8555-2022-3-6.
- Воробьева О.Д., Алешковский И.А., Гребенюк А.А. Трансформация российской эмиграции на рубеже XX–XXI вв. // Век глобализации. 2017. № 4(24). С. 100–111.
- Евстратов А.Г. Проблемы релокации – «новой эмиграции» россиян в Армению после начала СВО на Украине // Новое прошлое. 2024. № 2. С. 228–240. DOI: 10.18522/2500-3224-2024-2-228-240.
- Зотова М.В., Себенцов А.Б., Головина Е.Д. Калининградская область в окружении Европейского Союза: приграничное сотрудничество и социально-экономические контрасты // Вестник ЗабГУ. 2015. № 3(118). С. 145–157.
- Молдован А.А. Влияние российской миграции на экономику стран-доноров в 2022 году на примере Азербайджана, Армении, Казахстана, Узбекистана и Грузии // Московский экономический журнал. 2023. № 8(10). DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_10_497.
- Пурен К.А., Чимириш Е.С. Феномен релокации. Модели экономического поведения российских мигрантов после февраля 2022 года // Полития. 2024. № 3(114). С. 145–171. DOI: 10.30570/2078-5089-2024-114-3-145-171.
- Рахмонов А.Х. Вынужденная эмиграция из России 2022: потенциал российских IT-специалистов для центральноазиатских стран-участниц СНГ // Вестник университета. 2023. № 7. С. 162–170. DOI: 10.26425/1816-4277-2023-7-162-170.
- Руденкин Д.В. Специальная научная эмиграция: почему из России уезжают ученые? // Социодигер. 2023. № 3–4. С. 14–21.
- Савоскул М.С. Формирование и эволюция российско-германской транснациональной миграционной системы: дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2016. 483 с.
- Ташиева В.В. Цифровые номады и миграционные процессы в российской IT-сфере: политологический анализ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Политология. 2022. № 24(3). С. 460–479. DOI: 10.22363/2313-1438-2022-24-3-460-479.
- Федоров Г.М. Калининградская дилемма: «Коридор развития» или «Двойная периферия»? Геополитический фактор развития российского эксклава на Балтике // Балтийский регион. 2010. № 2(4). С. 5–15. DOI: 10.5922/2074-9848-2010-2-1.
- Chankseliani M., Belkina E. Academic Exodus from Russia: Unravelling the Crisis, *Journal of Comparative & International Higher Education*, 2024, vol. 16(3), p. 97–105, DOI: 10.32674/jcihe.v16i3.6304.
- Geiger M., Syrakvash V. Georgia as Transient Space and Talent Harbor for Russian and Belarusian IT Specialists, *Journal of International Migration and Integration*, 2023, vol. 24(S5), p. 957–978.
- Ruseishvili S., Ryazantsev S. Transcontinental trajectories: Exploring Russian war-induced migration dynamics in Brazil, *International Migration*, 2024, vol. 62, p. 189–210, DOI: 10.1111/imig.13322.
- Электронные ресурсы**
- Камалов Э., Сергеева И., Завадская М. и др. Полтора года спустя: прогресс и барьеры в интеграции российских эмигрантов. Аналитический отчет по третьей волне опроса проекта OutRush. Январь 2024.

- URL: outrush.io/report_january_2024 (дата обращения 01.08.2024).
- Эмиграционные настроения россиян-2018 // ВЦИОМ. 2018. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/emigracionnye-nastroeniya-rossiyan-2018> (дата обращения 30.07.2024).
- Эмиграционные настроения: мониторинг // ВЦИОМ. 2022. URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ehmigracionnye-nastroeniya-monitoring> (дата обращения 30.07.2024).
- Эмиграция и эмиграционные настроения // ФОМнибус. 2022. URL: <https://fom.ru/Nastroeniya/14712> (дата обращения 30.07.2024).
- ICMPD Migration Outlook. International Center for Migration Policy Development. Vienna, URL: [icmpd.org/file/download/59104/file/230215JCPD_Migration_Outlook_EasternEuropeCentralAsia_2023_final.pdf](https://www.icmpd.org/file/download/59104/file/230215JCPD_Migration_Outlook_EasternEuropeCentralAsia_2023_final.pdf) (дата обращения 15.08.2024).
- Russians have emigrated in huge numbers since the war in Ukraine, The Economist, 2023, URL: <https://www.economist.com/graphic-detail/2023/08/23/russians-have-emigrated-in-huge-numbers-since-the-war-in-ukraine> (дата обращения 28.07.2024).
- Chervyakov D., Giucci R. Relocation of people from Russia to Armenia: results of 2nd survey and update of economic implications. Policy Study Armenia PS 02. 2023, URL: https://www.german-economic-team.com/wp-content/uploads/2023/04/GET_ARM_PS_02_2023_en.pdf (дата обращения 30.07.2024).

Поступила в редакцию 30.09.2024

После доработки 15.11.2024

Принята к публикации 21.01.2025

FACTORS OF OUTMIGRATION OF THE POPULATION OF THE KALININGRAD REGION: DATA FROM A SOCIOLOGICAL SURVEY

A.V. Lialina

*Immanuel Kant Baltic Federal University, Center for Regional Socio-Economic Research,
Scientific Researcher; Ph.D. in Geography; e-mail: amazova@kantiana.ru*

Using the example of the Kaliningrad Region, the article examines the structure and causes of population outmigration after 2022 using data from a survey conducted in the spring of 2024. The residents of the region were questioned on individual migration experience and on the migration experience of their immediate surroundings. It was revealed that the high migration mobility of the local population, as well as a significant proportion of new settlers, in particular, determined the high frequency of outmigration among the adult population: every fifth adult resident has at least one family among their acquaintances that left the region in 2022–2023. Transit migration through the region's territory probably also takes place. The emigration of Kaliningrad residents was mainly due to security factors, political motives, but also the desire to improve economic living conditions (when moving to non-CIS countries). Social migration ties played a crucial role. The motivation for moving to another region of Russia is primarily the search for a high-paying job and better opportunities for self-realization, improving financial well-being. The emigration processes mainly involved residents aged 25–44 with higher education, employed in the field of information technology, construction and industry, trade and services, including those working as entrepreneurs and self-employed. Another region of Russia was chosen by representatives of different age groups, including 45–55 years old and 18–24 years old, with specialized secondary or higher education, employed in the public sector, trade and services, construction, industry, as well as students.

The study showed that the activation of migration potential in the Kaliningrad region in crisis situations occurs through migration links and due to the accumulated experience of mobility and lower resilience of the region because of the high import dependence of its economy (which exacerbates the gap in the level of socioeconomic development with other territories), which is relevant for both internal and international migration.

Keywords: out migration, emigration, causes of migration, skilled professionals

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 23-77-01102).

REFERENCES

- Aleshkovski I.A., Bocharova Z.S. Rossiya v global'nykh migratsionnykh potokakh: istoriya i sovremennost' [Russia in the system of global migrational processes: history and modernity], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 27, Globalistika i geopolitika*, 2014, no. 3–4, p. 3–24. (In Russian)
- Arkhipova N.I., Vasiutina E.S., Chavykina M.A. Migratsionnye protsessy: problemy i resheniya [Migration processes. The issues and solutions], *Vestnik RGGU, Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo*, 2023, no. 4, p. 8–25, DOI: 10.28995/2073-6304-2023-4-8-25. (In Russian)

- Chankseliani M., Belkina E. Academic Exodus from Russia: Unravelling the Crisis, *Journal of Comparative & International Higher Education*, 2024, no. 16(3), p. 97—105, DOI: 10.32674/jcihe.v16i3.6304.
- Evstratov A.G. Problemy relokatsii – “novoj emigratsii” rossiyan v Armeniyu posle nachala SVO na Ukraine [Problems of Relocation – “New Emigration” of Russians to Armenia after the Start of the Special Military Operation in Ukraine], *Novoe Proshloe*, 2024, no. 2, p. 228—240, DOI: 10.18522/2500-3224-2024-2-228-240. (In Russian)
- Fedorov G.M. The Kaliningrad dilemma: a “development corridor” or a “double periphery”? The geopolitical factor of the development of the Russian exclave on the Baltic Sea, *Baltic Region*, 2010, no. 2(4), p. 4—12, DOI: 10.5922/2079-8555-2010-2-1.
- Geiger M., Syrakvash V. Georgia as Transient Space and Talent Harbor for Russian and Belarusian IT Specialists, *Journal of International Migration and Integration*, 2023, vol. 24(S5), p. 957—978, DOI: 10.1007/s12134-023-01082-0. (In Russian)
- Moldovan A.A. Vliyaniye Rossiiskoi migratsii na ekonomiku stran-donorov v 2022 godu na primere Azerbaidzhana, Armenii, Kazakhstana, Uzbekistana i Gruzii [The impact of Russian migration on the economy of donor countries in 2022 on the example of Azerbaijan, Armenia, Kazakhstan, Uzbekistan and Georgia], *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal*, 2023, no. 8(10), DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_10_497. (In Russian)
- Puren Ch.A., Chimiris E.S. Fenomen relokatsii. Modeli ekonomicheskogo povedeniya rossijskih migrantov posle fevralya 2022 goda [Relocation Phenomenon. Models of Economic Behavior of Russian Migrants after February, 2022], *Politeia*, 2024, no. 3(114), p. 145—171, DOI: 10.30570/2078-5089-2024-114-3-145-171. (In Russian)
- Rakhmonov A.Kh. Forced emigration from Russia 2022: Russian IT-specialists’ potential for Central Asian CIS member countries, *Vestnik Universiteta*, 2023, no. 7, p. 162—170, DOI: 10.26425/1816-4277-2023-7-162-170.
- Rudinkin D.V. Spetsial’naya nauchnaya emigratsiya: pochemu iz Rossii uezzhayut uchenye? [Special scientific emigration: why are scientists leaving Russia?], *Sotsiolog*, 2023, no. 3—4, p. 14—21. (In Russian)
- Ruseishvili S., Ryazantsev S. Transcontinental trajectories: Exploring Russian war-induced migration dynamics in Brazil, *International Migration*, 2024, no. 62, p. 189—210, DOI: 10.1111/imig.13322.
- Taisheva V.V. Tsifrovye nomady i migratsionnye protsessy v rossiiskoi IT-sfere: politologicheskii analiz [Digital nomads and migration processes in the Russian IT: a political analysis], *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov, Seriya: Politologiya*, 2022, no. 24(3), p. 460—479, DOI: 10.22363/2313-1438-2022-24-3-460-479. (In Russian)
- Savoskul M.S. *Formirovaniye i evolyutsiya rossiisko-germanskoj transnatsional’noi migratsionnoi sistemy* [Formation and evolution of the Russian-German transnational migration system], Doctoral Thesis in Geography, Moscow, 2016, 483 p. (In Russian)
- Voloshenko K.Yu. Faktor eksklavnosti v obespechenii ekonomicheskoy bezopasnosti Kaliningradskoy oblasti v natsionalnykh interesakh Rossii [The role of exclave in ensuring the economic security of the Kaliningrad Region in Russia’s national interests], *Ekonomicheskaya bezopasnost*, 2024, no. 7(11), DOI: 10.18334/ecsec.7.11.122134. (In Russian)
- Voloshenko K.Yu., Lialina A.V. Attractiveness of the Kaliningrad region: pull factors and reasons for disappointments of migrants from Russian regions, *Baltic Region*, 2022, vol. 14, no. 3, p. 102—128, DOI: 10.5922/2079-8555-2022-3-6.
- Vorob’eva O.D., Aleshkovski I.A., Grebenyuk A.A. Transformatsiya rossiiskoi migratsii na rubezhe XX–XXI vv. [The transformation of Russian emigration at the turn of the XX–XXI centuries], *VEK GLOBALIZATSII*, 2017, no. 4(24), p. 100—111. (In Russian)
- Zotova M., Sebentsov A., Golovina E. Kaliningradsкая oblast’ v okruzhении Evropeiskogo Soyuza: prigranichnoye sotrudnichestvo i sotsial’no-ekonomicheskie kontrasty [Kaliningrad region in the EU surrounding: cross-border cooperation and socio-economic contrasts], *Vestnik Zabaikal’skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 3(118), p. 145—157. (In Russian)
- Web sources*
- Kamalov E., Sergeeva I. A Year and a Half in Exile: Progress and Obstacles in the Integration of Russian Migrants, URL: outrush.io/report_january_2024 (access date 01.08.2024).
- Emigratsionnye nastroyeniya rossiyan-2018 [Emigration sentiments of Russians-2018], VCIOM, 2018, URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/emigratsionnye-nastroyeniya-rossiyan-2018> (access date 30.07.2024).
- Emigratsionnye nastroyeniya: monitoring [Emigration sentiments: monitoring], VCIOM, 2022, URL: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/ehmigratsionnye-nastroyeniya-monitoring> (access date 30.07.2024).
- Emigratsiya i emigratsionnye nastroyeniya [Emigration and emigration sentiments], FOMnibus, 2022, URL: <https://fom.ru/Nastroyeniya/14712> (access date 30.07.2024).
- ICMPD Migration Outlook. International Center for Migration Policy Development, Vienna, URL: https://www.icmpd.org/file/download/59104/file/230215JCPMD_Migration_Outlook_EasternEuropeCentralAsia_2023_final.pdf (access date 15.08.2024).
- Russians have emigrated in huge numbers since the war in Ukraine. The Economist, 2023, URL: <https://www.economist.com/graphic-detail/2023/08/23/russians-have-emigrated-in-huge-numbers-since-the-war-in-ukraine> (access date 28.07.2024).
- Chervyakov D., Giucci R. Relocation of people from Russia to Armenia: results of 2nd survey and update of economic implications. Policy Study Armenia PS 02, 2023, URL: https://www.german-economic-team.com/wp-content/uploads/2023/04/GET_ARM_PS_02_2023_en.pdf (access date 30.07.2024).

Received 30.09.2024

Revised 15.11.2024

Accepted 21.01.2025

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ПРИГРАНИЧНЫХ СУБЪЕКТОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РФ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М.Ю. Демидионов

Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, факультет географии, НИЛ «Рационального природопользования», инж., канд. геогр. наук; e-mail: demidionovforwork@gmail.com

Возобновляемая энергетика является одной из важных тем в современном дискурсе. Однако, несмотря на большое количество недостатков, можно отметить активный рост как доли, так и суммарной выработки электроэнергии с использованием возобновляемых источников (ВИЭ) во многих странах и регионах мира. Российская Федерация не отличается высокими показателями в упомянутой сфере энергетики, особенно если речь идет о ветровых и солнечных электростанциях. В то же время ВИЭ могут стать важным подспорьем в реализации концепции энергетической безопасности РФ. Одним из регионов страны, где вопрос энергетики стоит особенно остро, является Дальний Восток. В особенности стоит отметить нарастающие проблемы с энергодефицитом региона, который может создать как проблемы с внутренним потреблением, так и затронуть экспортную составляющую. Кроме того, на Дальний Восток приходится более 60% выброса загрязняющих веществ с ТЭС от суммарных показателей страны. Вопрос о развитии ВИЭ в парадигме энергетической безопасности поднимается регулярно, к примеру существуют планы по использованию ВИЭ для последующего производства «зеленого» водорода. Одним из документов, отражающих подобные планы, является «Концепция развития водородной энергетики РФ», в которой, в свою очередь, заявлено создание как минимум трех кластеров по производству «зеленого» водорода. Одним из подобных кластеров является Восточный. Учитывая текущую геополитическую обстановку, а также постепенную переориентацию российской торговли на страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), именно Восточный кластер может сыграть ключевую роль в формировании энергетической безопасности страны в будущем. В данной статье предпринята попытка расчета потенциала территорий Дальневосточного федерального округа (ДФО) РФ к развитию солнечной энергетики, выраженная в поиске возможных локаций для внедрения соответствующих технологических решений. Основой для вычислений послужил метод анализа иерархий вкупе с использованием комплекса нечеткой и булевой логик. Отобраны необходимые критерии оценки, произведен расчет матрицы попарного сравнения. С использованием инструментария нечеткой логики произведен перевод абсолютных пространственных значений критериев в относительные. Учтены некоторые ограничительные факторы. Произведен статистический анализ с целью выявления административно-территориальных единиц (АТЕ), обладающих наиболее высокими показателями, рассчитанными согласно использованной методике. Произведена оценка площади территории, пригодной для внедрения соответствующих технологий.

Ключевые слова: солнечная энергетика, метод анализа иерархий, пространственное моделирование

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.4

ВВЕДЕНИЕ

Солнечная энергетика, наряду с ветровой, является одним из потенциальных флагманов нового энергоперехода [Yang et al., 2024]. По состоянию на 2023 г. некоторые субъекты РФ могут похвастаться относительно неплохими показателями, в частности Оренбургская и Астраханская области, а также Республики Крым, Калмыкия, Бурятия и Алтай [Суслов и др., 2023]. Однако в общемировом масштабе темпы развития страны в данном направлении невелики. Согласно данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, в 2023 г. РФ занимала 37-е место в мире по установленной мощности фотоэлектрических систем (PV)

с показателем 6179 МВт [АРВЭ, 2024]. При этом, возлагать всю ответственность на климатические особенности территории невозможно, на что указывает положение в данном рейтинге некоторых стран со схожими физико-географическими условиями: Швеция (3488 МВт), Дания (3529 МВт), Канада (5757 МВт), Нидерланды (23904 МВт).

Ключевой причиной относительно низких показателей энергетики, основанной на возобновляемых источниках (ВИЭ), заключается в больших объемах традиционных энергоресурсов [Суслов и др., 2023]. Данное утверждение характерно не только для России, но и для многих других стран, имеющих высокие показатели добычи углеводородов. К при-

меру, установленная мощность СЭС (солнечных электростанций) в Саудовской Аравии составляет 2235 МВт, при среднем приходе суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность (GHI) – 2266 КВтч/м² в год; в Катаре – 805 МВт, GHI – 1792 КВтч/м² в год; в Алжире – 425 МВт, GHI – 1868 КВтч/м² в год. Для России следует отметить еще два дополнительных фактора, оказывающих прямое влияние на текущую ситуацию с развитием ВИЭ, а именно поздний старт развития отрасли и прямую зависимость экономики от экспорта углеводородов в конце XX – начале XXI в. Если рассмотреть ретроспективу развития ВИЭ, то окажется, что большая часть текущих мировых лидеров в ветровой и солнечной энергетике начали свой путь к лидирующим позициям именно на рубеже веков. В тот период экономика России, несмотря на обширную территорию, обладающую внушительным потенциалом к развитию различных типов ВИЭ, не могла позволить развитие дорогостоящих технологий, что в том числе привело к существующему на данный момент отставанию от мировых лидеров в этой сфере.

Текущая стратегия с упором на углеводороды отвечает существующим потребностям энергетической безопасности, а именно позволяет бесперебойно обеспечивать энергией собственное население, а также занимать необходимую долю мирового рынка. Однако наметившийся энергопереход от традиционных источников энергии к возобновляемым диктует и новые требования к использованию ресурсов для обеспечения энергетической безопасности. В подобном контексте интересны исследования, касающиеся региональной оценки потенциала территории к использованию различных ВИЭ.

Данная тема активно развивается в научной литературе в последнее десятилетие. Из зарубежных работ можно отметить исследование по солнечной энергетике Бангладеш [Islam et al., 2024]. Авторы подчеркивают высокую пригодность территории исследования к развитию отрасли, выделяя южные и юго-восточные территории. Важно отметить, что авторами использован набор стандартных в случае с похожими исследованиями критериев (приход солнечной радиации; температура воздуха; уклон поверхности; экспозиция склона; расстояние до населенных пунктов, дорог, ЛЭП). В то же время такой критерий, как высота над уровнем моря, применяемый в подобных исследованиях, не был использован, что обуславливалось равнинным рельефом, характерным для большей части страны. Однако данная точка зрения не в полной мере верна, что отчасти подтверждается в чуть более раннем исследовании той же территории [Aghaloo et al., 2023], в котором подобный критерий фигурирует. Други-

ми примерами использования высоты над уровнем моря в расчетах являются работы [Ruiz et al., 2020] для территории Индонезии и [Zoghi et al., 2017] для провинции Эсфахан, Иран. Последняя территория рассматривается и в работе [Barzehkar et al., 2017], более того в ней производится оценка не только локаций для возможного размещения СЭС, но и ВЭС. С позиции выбора местоположения для установки ВЭС следует отметить исследование [Солиман и др., 2022], где подробно описан математический аппарат для проведения подобных исследований, особенно с позиции применения различных функций нечеткой логики. Отдельно хотелось бы отметить исследование [Amrani et al., 2024], в котором произведен выбор наиболее оптимальных локаций для внедрения солнечной энергетике в Марокко, при этом в данной работе присутствуют две весьма интересные детали. Во-первых, анализ производится как для PV-панелей, так и для систем концентрирующего типа (CSP). Во-вторых, в отличие от ряда вышеупомянутых работ, в этом исследовании производится разделение критерия «расстояние до дорог», на «расстояние до автомобильных дорог» и «расстояние до железных дорог», что можно считать более правильным в связи с меньшей стоимостью доставки грузов по железным дорогам, если речь идет о больших расстояниях. С позиции рассмотрения ограничительных критериев, т. е. тех, которые характеризуют территории, где хозяйственная деятельность нежелательна, выделяется работа [Rios, Duarte, 2021], посвященная солнечной энергетике Перу. В упомянутом исследовании выделено 33 ограничительных критерия, среди которых есть характерные только для стран с особым рельефом и климатом, к примеру ледники и ледниковые лагуны. В результате около 70% территории исследования оказались непригодными, в основном из-за особенностей высокогорья.

Из отечественных исследований стоит выделить работы по оценке потенциала Республики Крым [Горбунова, 2019], Мурманской области [Lazarev, Kuznetsov, 2024], Забайкальского края [Носкова, 2018], о. Сахалин [Демидионов, 2023]. Отдельно необходимо отметить активную деятельность НИИ возобновляемых источников энергии МГУ имени М.В. Ломоносова.

Однако, несмотря на солидную выборку работ по оценке потенциала гелиоэнергетики для территории РФ, комплексных исследований, затрагивающих ДФО РФ, насчитывается не так много, а тех, в которых вышеупомянутые территории рассматривались бы с учетом как физико-географических, так и экономико-географических факторов, еще меньше. Из исследований, затрагивающих вопрос использования солнечной энергетике в

ДФО, необходимо выделить работу по анализу некоторых факторов при использовании гелиопотенциала Республики Саха [Иванова и др., 2018], исследование по расчету количества солнечной радиации для юга Дальнего Востока [Аббасов, Гричкова, 2009], исследование по оценке возможности использования солнечной энергии в Амурской области [Мирошниченко, 2014].

В текущем исследовании было принято решение оценить потенциал субъектов Федерации в составе ДФО (Амурской и Сахалинской областей, Еврейской АО, Приморского и Хабаровского краев) к развитию солнечной энергетики. Само понятие «потенциал» оставляет достаточно широкую возможность его трактовки. В текущем исследовании под потенциалом подразумевается коэффициент, при расчете которого используются значения физико-географических (приход солнечной радиации, высота над уровнем моря и пр.) и экономико-географических (расстояние от точки пространства до объектов инфраструктуры) параметров территории.

Значимость подобных исследований в текущей энергетической парадигме региона диктуется существующими проблемами с потенциальным энергодефицитом Дальнего Востока. Согласно данным Минэнерго, к 2030 г. в регионе может сформироваться крупный дефицит электроэнергии, в том числе из-за высокого темпа роста ее потребления [Большов, 2023]. Безусловно, солнечная энергетика не покроет высоких потребностей региона, однако внести определенный вклад, хоть и небольшой, вполне сможет. Не следует считать, что энергодефицит региона повлияет только на внутренние проблемы. За первую половину 2024 г. экспорт электроэнергии в Китай, а конкретно в провинцию Хэйлунцзян, сократился на 76%, в том числе по причине недостаточного производства [Корочкина, 2024]. Стоит также отметить, что доля восточных регионов в общероссийской структуре выбросов загрязняющих веществ от ТЭС составляет 63% [Санеев и др., 2023], поэтому ввод большей доли ВИЭ в энергосистему региона может положительно сказаться и на экологической обстановке.

Однако по состоянию на 2024 г. исследуемая территория не обладает внушительным количеством установленной мощности СЭС, даже на фоне некоторых других регионов страны. Согласно данным ГИС ВИЭ, подавляющее большинство солнечных станций в пяти исследуемых регионах представляет собой небольшие установки для обеспечения электроэнергией навигационных знаков, маяков, систем придорожного освещения [ГИС ВИЭ, 2024]. Хотя количество приходящей солнечной радиации сравнимо с Забайкальским краем, где функционирует несколько крупных СЭС.

Практически не затронута и тема пространственного моделирования потенциала солнечной энергетики ДФО в совокупности с производством «зеленого» водорода. Последний пункт особенно важен в связи с планами по созданию Восточного кластера по производству «зеленого» водорода, упомянутого в «Концепции развития водородной энергетики РФ» [Распоряжение..., 2021]. Хотя, согласно планам Минпромторга РФ, в Забайкальском крае планируется строительство предприятия по производству «зеленого» водорода с использованием электроэнергии, полученной на СЭС. Вследствие чего возникает вопрос, почему подобных проектов нет, к примеру, для Приморского края, обладающего выходом к морю, что критически важно для торговли водородом. В качестве еще одного фактора выбора территории исследования явилось ее приграничное и/или приморское положение, позволяющее наладить возможный экспорт энергоресурсов в страны АТР, что в том числе отвечает потребностям энергетической безопасности страны, в особенности тех пунктов, которые касаются рыночных отношений [Доктрина..., 2019].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В современном научном дискурсе при проведении подобных исследований относительно практически всех типов ВИЭ зачастую используются методы, входящие в группу мультикритериального анализа. Среди наиболее часто используемых можно выделить следующие: метод выбора порядка предпочтения по сходству с идеальным решением (TOPSIS) [Hooshangi et al., 2023], метод «лучшего-худшего» (BWM) [Aghaloo et al., 2023], метод анализа иерархий (АНП) [Rios, Duarte, 2021; Islam et al., 2024].

В качестве основы для проведения расчетов в данном исследовании был использован метод анализа иерархий с применением нечеткой и булевой логики для унификации абсолютных значений критериев, а также введения зон ограничения хозяйственной деятельности. Данное сочетание позволяет более комплексно оценить каждую точку пространства, учитывая как значимость отдельных критериев, так и их пространственную дифференциацию.

Сам метод анализа иерархий позволяет вычислить вес критериев, т. е. степень их влияния на искомый потенциал. Для расчета весов экспертам в соответствующей области предлагается заполнить матрицы попарного сравнения критериев на основе шкалы относительной важности. Затем полученные матрицы усредняют для получения итоговой. Вопрос о том, каким методом необходимо производить усреднение, является дискуссионным. В текущем исследовании было принято решение использовать среднее геометрическое, так как оно позволяет сохранить в действии правило согласованности матрицы.

На основе полученной матрицы вычисляются веса отдельных критериев, однако возникает и необходимость проведения теста на согласованность матрицы для вычленения возможной чрезмерной дифференциации в мнении экспертов. Данный метод заключается в подсчете отношения согласованности матрицы – CR. Значение CR не должно превышать 0,1, в противном случае необходимо пересматривать составленные экспертами матрицы

$$CR = \frac{\left(\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}\right)}{RI}, \tag{1}$$

где $\lambda_{\max}$ – наибольшее собственное значение матрицы, n – размерность матрицы, RI – основанное на экспериментальных данных среднее значение индекса однородности.

Следующим этапом после получения весов критериев является их унификация. Необходимость в ней возникает в связи с различной степенью воздействия тех или иных факторов в зависимости от расстояния до объектов (в случае с инфраструктурой) и абсолютных значений (в случае, к приме-

ру, с приходящей солнечной радиацией). В рамках унификации физико-географических и экономико-географических критериев была использована нечеткая логика. Преимуществом использования данной методики является возможность учитывать нелинейное изменение влияния в пространстве того или иного критерия на итоговый результат. Для унификации абсолютных значений критериев были использованы четыре функции: линейная возрастающая (I), линейная убывающая (II), линейная убывающая 2-го типа (III), трапециевидная (IV). К каждому критерию были подобраны соответствующие параметры в зависимости от природоохранных требований и экономической эффективности.

Отбор критериев происходил в том числе на основе анализа предыдущих исследований на схожую тематику. Как отмечалось ранее, набор основных критериев практически не отличается от исследования к исследованию, а региональная специфика проявляется уже при унификации. Исследования, на основе которых производился отбор критериев, а также то, какие из выбранных критериев применяются в данных работах, приведены в таблице.

Таблица

Использование выбранных в текущем исследовании критериев в различных работах по выбору оптимальных локаций для расположения СЭС (номера критериев даны согласно текущему исследованию)

Статья	Критерий								
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9
[Al Garni, Awasthi, 2017]	+	+	+	+	+	+	+		
[Aghaloo et al., 2023]	+		+	+	+	+	+	+	+
[Amrani et al., 2024]	+		+		+	+	+	+	
[Barzehkar et al., 2017]	+				+	+	+		
[Hooshangi et al., 2023]		+	+	+		+			
[Islam, 2024]	+	+	+	+	+	+	+	+	
[Rios, Duarte, 2021]	+		+		+	+	+	+	
[Ruiz et al., 2020]	+	+	+	+	+	+	+	+	+
[Zoghi et al., 2017]	+		+	+	+	+	+	+	+

Важно отметить следующую деталь: фактически все использованные критерии не несут в себе никакой региональной специфики, т. е. используются практически во всех исследованиях в независимости от географического положения, что в том числе подтверждается данными, приведенными в таблице 1. Однако критерий «высота над уровнем моря» (K9) встречается только в трех из девяти приведенных исследованиях. Это объяснимо для территорий с небольшим перепадом высот, однако Дальний Восток как раз обратный пример. По этой

причине подобный критерий необходим в текущем исследовании.

При расчете потенциала исследуемой территории были отобраны критерии, оказывающие наибольшее влияние на локализацию производств. Важно отметить, что в данном исследовании производились расчеты относительно двух типов СЭС – фотоэлектрических панелей (PV) и солнечных систем концентрирующего типа (CSP). Сами критерии для обоих типов ЭС не отличаются, но дифференциация проявляется в параметрах унификации.

К1 – приход солнечной радиации. Данный критерий является основополагающим для расчета потенциала гелиоэнергетики. В случае с вычислениями относительно PV-панелей учитывается суммарная солнечная радиация (GHI), а для CSP-станций – прямая солнечная радиация на нормальную (перпендикулярную) к лучу поверхность (DNI), в связи с конструктивными особенностями станций. При унификации абсолютных значений GHI и DNI была использована линейная возрастающая функция (I). Подобный выбор объясняется тем, что, согласно экспериментальным данным [Vilanova et al., 2020], производительность солнечных электростанций линейно зависит от приходящей солнечной радиации.

В качестве максимальных показателей GHI и DNI, где функция достигает значения «1», принимались наивысшие значения из массива. Несмотря на тот факт, что средние значения прихода солнечной радиации на территории исследования (особенно в ее южной части) выше, чем в среднем по стране, при сравнении с более южными странами и регионами, относительно которых производились аналогичные расчеты, территории ДФО РФ уступают по обоим показателям. В качестве минимального значения DNI и GHI для расчета потенциала территории к размещению СЭС было принято значение 1000 кВтч/м² в год, согласно [Ruiz et al., 2020].

К2 – температура воздуха. Необходимость учитывать данный параметр вызвана его прямым влиянием на эффективность выработки электроэнергии на СЭС. Согласно экспериментальным данным, максимально близкие к расчетным показатели выработки электроэнергии наблюдаются при температуре воздуха около 25°C. Согласно [Huld, Amillo, 2015], при увеличении температуры выше данного значения наблюдаются потери эффективности выработки электроэнергии около 0,5 относительных процентов на каждый градус температуры. Базируясь на этой динамике, в основу унификации значений данного критерия была положена линейная убывающая функция (II): параметр a – минимальное значение из массива, параметр b – максимальное значение. При анализе учитывалось 12 массивов данных по среднемесячной температуре.

К3 – уклон поверхности. Данный критерий несет в себе экзистенциальный характер при планировании постройки СЭС. Во-первых, в случае с солнечными системами концентрирующего типа допустимый уклон поверхности соответствует 2,1° [Amrani et al., 2024], что будет отражено в критериях строгого ограничения соответствующей деятельности. Во-вторых, больший уклон поверхности ведет к издержкам при строительстве станции. На основании вышеупомянутого факта и параметров

подобных исследований для унификации была использована линейная убывающая функция с параметрами $a - 4^\circ$ и $b - 10^\circ$.

К4 – экспозиция склона. Важно отметить, что, учитывая крайне низкий допустимый уклон поверхности для CSP-станций, в случае с проведением расчетов для потенциала их размещения необходимость учитывать экспозицию практически отсутствует. Следовательно, при унификации данного параметра относительно CSP, всем точкам пространства было присвоено значение «1».

В случае с фотоэлектрическими панелями в Северном полушарии наиболее удачной экспозицией, согласно [Al Garni, Awasthi, 2017], является южная. Для того чтобы учесть данную особенность, при унификации была использована трапециевидная функция (IV) со следующими параметрами: $a - 0$, $b - 135$, $c - 225$, $d - 360^\circ$.

Расстояние до: **К5 – крупных населенных пунктов, К6 – автомобильных дорог, К7 – ЛЭП, К8 – железных дорог.** Данная группа критериев относится к экономико-географическим и объединена общим трендом: близость к соответствующей инфраструктуре положительно влияет на снижение стоимости постройки и обслуживания электростанций, в том числе и за счет упрощения логистики. В случае с расстоянием до крупных населенных пунктов положительным фактором является как близость к потребителю, так и к квалифицированным рабочим кадрам. Под крупными населенными пунктами понимались поселения, которые, согласно ГК РФ, относятся к категории «крупные сельские поселения» и больше (более 5000 человек). Безусловно, такие населенные пункты имеют источники энергоснабжения, но снижение нагрузки на ТЭС, к примеру, можно частично компенсировать солнечной энергетикой.

В то же время необходимо учитывать и ограничения на строительство крупных комплексов солнечных панелей на некоторой дистанции от объектов инфраструктуры. Для соблюдения всех вышеупомянутых пунктов при унификации абсолютных показателей критериев расстояния до населенных пунктов и дорог была использована линейная убывающая функция второго типа (III). В качестве минимально допустимого расстояния была выбрана отметка в 500 м (параметр a). Параметром b для автомобильных дорог соответствует значение в 30 000 м, а для железных – 25 000 м, в связи с чуть более высокой стоимостью строительства километра железнодорожного полотна.

В качестве еще одного критерия было выбрано расстояние до ЛЭП. Можно предположить, что в данном случае более уместно было бы использование расстояния до подстанции, однако здесь важно

учесть экономический аспект. Стоимость строительства относительно крупной подстанции, к примеру мощностью 16 000 кВт, колеблется от 10 до 15 млн руб. [Строительное оборудование, 2024], в то время как километр ЛЭП (в среднем по рынку) обойдется в 500 тыс. руб. Учитывая большие расстояния, характерные для региона исследования, в подавляющем большинстве случаев дешевле построить подстанцию рядом с ЛЭП, чем тянуть ЛЭП до находящейся в отдалении подстанции.

Вопрос выбора функции унификации для критерия расстояния до ЛЭП является дискуссионным. В ряде работ используется именно линейная убывающая функция второго типа. Однако более интересный подход предложен в исследовании [Zoghi et al., 2017], где была использована сигмоидальная симметричная функция. Подобный выбор обоснован тем, что стоимость километра постройки ЛЭП ниже, чем, к примеру, автомобильной или железной дороги, из чего следует, что на определенном промежутке можно пренебречь изменениями в относительных значениях при изменении функции. В текущем исследовании была применена схожая методика, выраженная в применении трапецевидной функции для унификации расстояния до ЛЭП. Точкам функции были присвоены следующие значения: a – 500, b – 1000, c – 15 000, d – 60 000.

К9 – высота над уровнем моря. Высота над уровнем моря оказывает существенное влияние сразу на ряд параметров, связанных с деятельностью СЭС. С увеличением высоты возрастает скорость ветра и понижается температура воздуха, что оказывает положительный эффект на охлаждение панелей. Также происходит и уменьшение плотности атмосферы, что ведет к увеличению прихода солнечной радиации. Вместе с тем стоит отметить, что большая высота ведет к повышению нормированной стоимости производства электроэнергии (LCOE) на СЭС в связи с подорожанием как строительства, так и обслуживания станции. Чтобы учесть положительные и отрицательные стороны, было принято решение использовать трапецевидную функцию (V), опираясь на ранее упомянутое исследование М. Зоги [Zoghi et al., 2017]. С опорой на региональные особенности рельефа были подобраны следующие параметры: a – минимальное значение высоты над уровнем моря (м), b – 1000 м, c – 2000 м, d – 3000 м.

Данные по количеству приходящего солнечного излучения (разрешение 250 м на пиксель) получены при помощи портала Global Solar Atlas [Global Solar Atlas, 2024]. Для анализа критериев, связанных с рельефом поверхности, в текущем исследовании используется модель рельефа SRTM с разрешением

30 м на пиксель. Данные по температуре были рассчитаны согласно значениям, полученным со 100 метеостанций, расположенных на территории исследования [Гидрометцентр России, 2023]. Данные по экономико-географическим критериям на ноябрь 2023 г. получены на портале NextGIS [NextGIS, 2023] и впоследствии переработаны (исключены изолированные дороги).

Следующим этапом после унифицирования значений критериев для объединения весов критериев и их относительных значений был применен метод взвешенной линейной комбинации

$$A_i^{WLC-score} = \sum_{i=1}^n x_i w_i, \quad (2)$$

где $A_i^{WLC-score}$ – искомый коэффициент потенциала, x_i – унифицированное значение критерия, w_i – вес критерия.

Для исключения из полученного массива непригодных для использования в рамках строительства СЭС территорий применялась булева логика, где точкам в пространстве были присвоены значения 0 (размещение электростанции запрещено) и 1 (размещение электростанции возможно). Для получения итогового искомого массива данных коэффициент по потенциалу производится умножение полученного ранее раstra потенциала на растр с критериями ограничения. Фактически итоговый массив представляет собой результат взвешенной линейной комбинации всех используемых критериев, из которого вычленены территории, где строительство СЭС нежелательно.

В качестве территорий, где соответствующая деятельность нежелательна, были выбраны населенные пункты, военные объекты, взлетно-посадочные полосы, ООПТ (буфер – 1000 м), водные объекты (буфер – 200 м), заболоченные территории, крупные лесные массивы, территории с различными характеристиками землепользования (сельскохозяйственные территории и проч.). Отдельно введен критерий расстояний от крупнейших рек региона – Амур, Зeya, Буря и Уссури (буфер 20 000 м) – в связи с риском затопления территорий. Соответствующий буфер равен максимальному значению, обнаруженному в научной литературе, указанному в учебном пособии [Соколов, 1952]. Алгоритм примененного метода отражен на рис. 1.

Для выделения АТЕ, имеющих наибольший потенциал для внедрения соответствующих технологий, был проведен статистический анализ полученных данных. Для каждой АТЕ, входящей в территорию исследования, были рассчитаны среднее арифметическое и 90-й процентиль по значениям итогового массива данных. Последний играет основополагающую роль при оценке потенциала,

так как при проведении подобных изысканий интерес вызывают наиболее энергоэффективные участки. Применение такого показателя, как 90-й процен-

тиль, позволяет вычлнить, выше какого значения потенциала расположены 10% наиболее эффективных территорий.

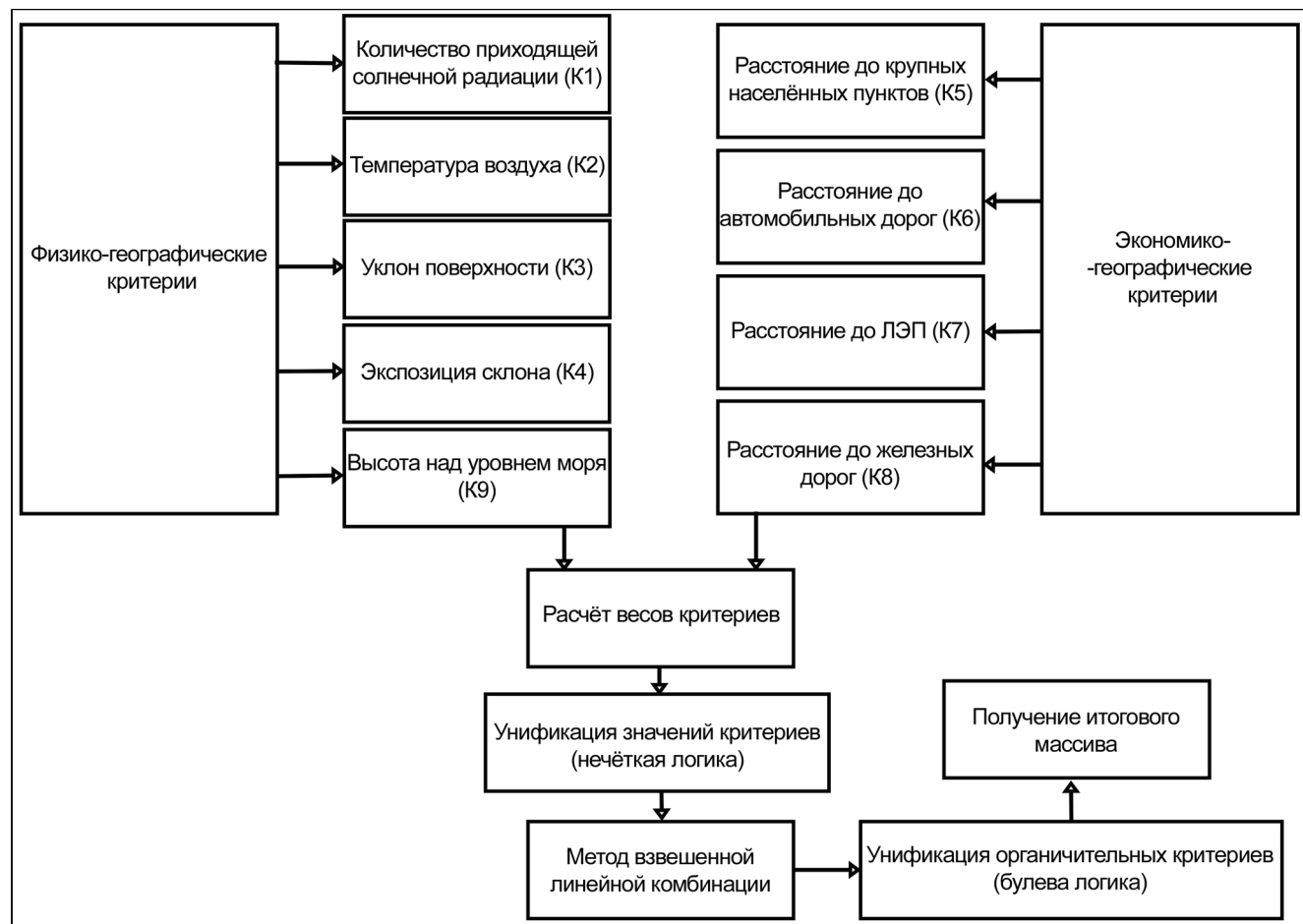


Рис. 1. Схема-алгоритм использованной методики. *Источник:* составлено автором

Fig. 1. Schematic diagram of the employed methodology. *Source:* compiled by the author

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При составлении матриц попарного сравнения были использованы матрицы, содержащиеся в исследованиях [Barzehkar et al., 2017; Islam et al., 2024; Rios, Duarte, 2021], также дополнительные матрицы были сформированы авторами исследования. Итоговая матрица и веса критериев представлена на рис. 2.

CR составил 0,068, из чего следует, что матрица прошла тест на согласованность. Учитывая строгую привязку любых объектов возобновляемой энергетики к соответствующему ВИЭ, согласно мнению всех экспертов, именно количество приходящего солнечного излучения является основополагающим фактором. Как следствие, вес данного критерия составил 0,383, что в 3 раза выше следующего за ним критерия «расстояние до ЛЭП» – 0,133. Другой физико-географический

критерий – «температура воздуха», также получил достаточно значимый вес – 0,104. В свою очередь критерий «высота над уровнем моря», напротив, имеет наименьший показатель из всех – 0,022. По итогам расчетов были сформированы два массива данных по потенциалу территории к размещению СЭС двух типов – PV (рис. 3) и CSP (рис. 4) с разрешением 250 м на пиксель.

Территории с наиболее высоким потенциалом в случае применения фотоэлектрических станций расположены вдоль Транссибирской магистрали, на что могло повлиять сразу несколько факторов. Во-первых, именно там находится одна из зон с наиболее высокими значениями GHI. Во-вторых, наличие более развитого инфраструктурного комплекса вдоль Транссиба внесло свой вклад в раздел экономико-географических критериев. С позиции высокого потенциала необходимо выделить юг и юго-

восток Амурской области, восток Еврейской АО и южные территории Приморского края. В случае с Сахалинской областью можно выделить полосу, протянувшуюся от юга Поронайского ГО до севера Тымовского района, однако в основном потенциал области не столь велик.

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	Вес
K1	1	4	5,422	5,769	6,804	6,192	4,527	6,192	9	0,383
K2	0,25	1	0,577	1,225	6	1,291	1	1,291	3	0,104
K3	0,184	1,732	1	1,494	0,941	0,946	0,731	0,946	7	0,093
K4	0,174	0,812	0,67	1	3,464	1,145	0,55	1,145	4	0,08
K5	0,15	1,667	1,063	0,289	1	0,794	0,362	0,794	2 ≈	0,046
K6	0,162	0,775	1,057	0,874	1,26	1	0,325	1	5	0,069
K7	0,221	1	1,368	1,817	2,759	3,08	1	3,08	6	0,133
K8	0,162	0,775	1,057	0,874	1,26	1	0,324	1	5	0,069
K9	0,111	0,333	0,143	0,25	0,5	0,2	0,167	0,2	1	0,022

Рис. 2. Попарная матрица и веса критериев для анализа потенциала территории к развитию гелиоэнергетики.
Источник: составлено автором

Fig. 2. A pairwise matrix and weighting of criteria for assessing the potential of a territory for solar energy development.
Source: compiled by the author

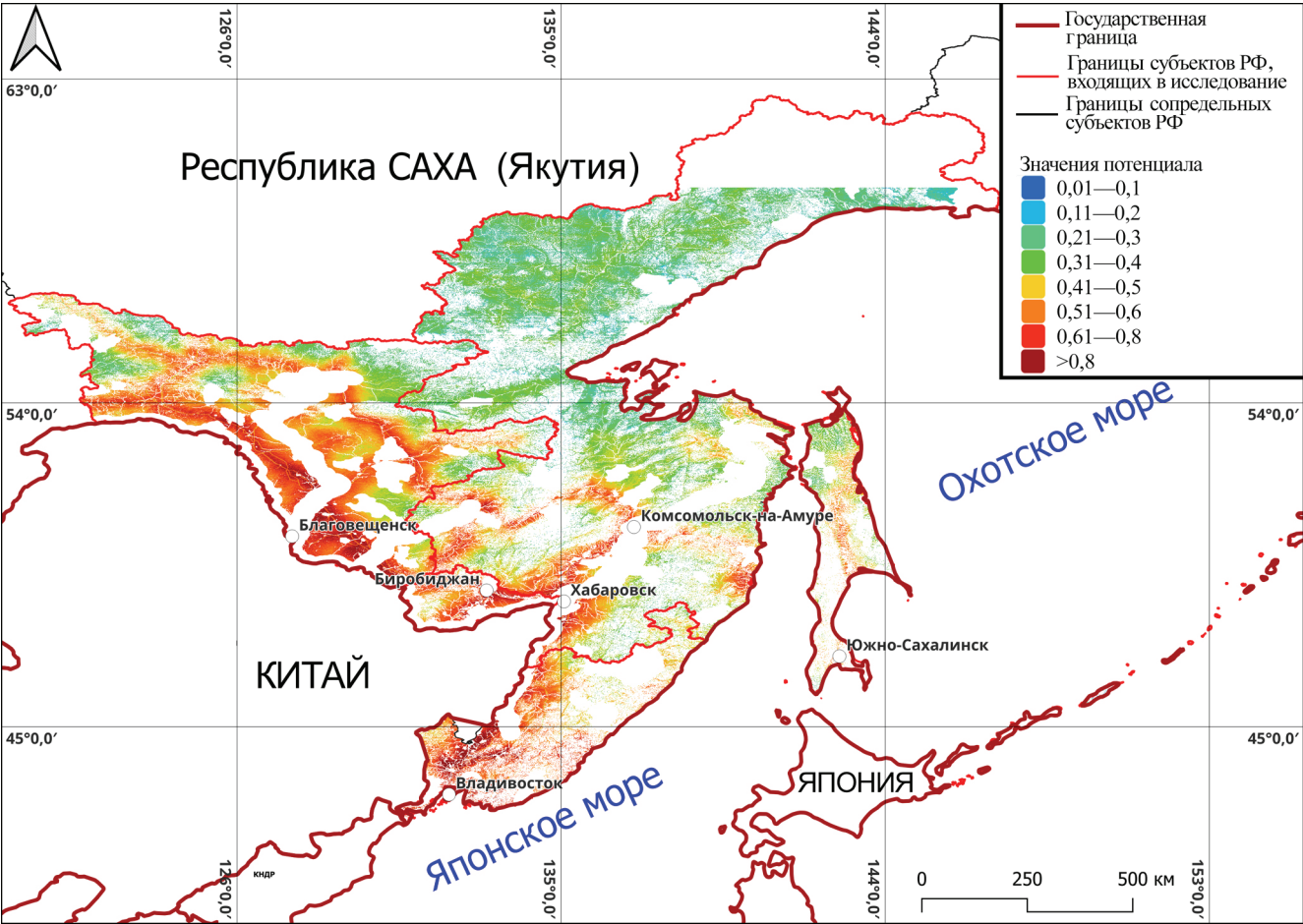


Рис. 3. Потенциал территории к размещению СЭС (PV). Источник: составлено автором

Fig. 3. The potential of the territory for the solar station (PV) placement. Source: compiled by the author

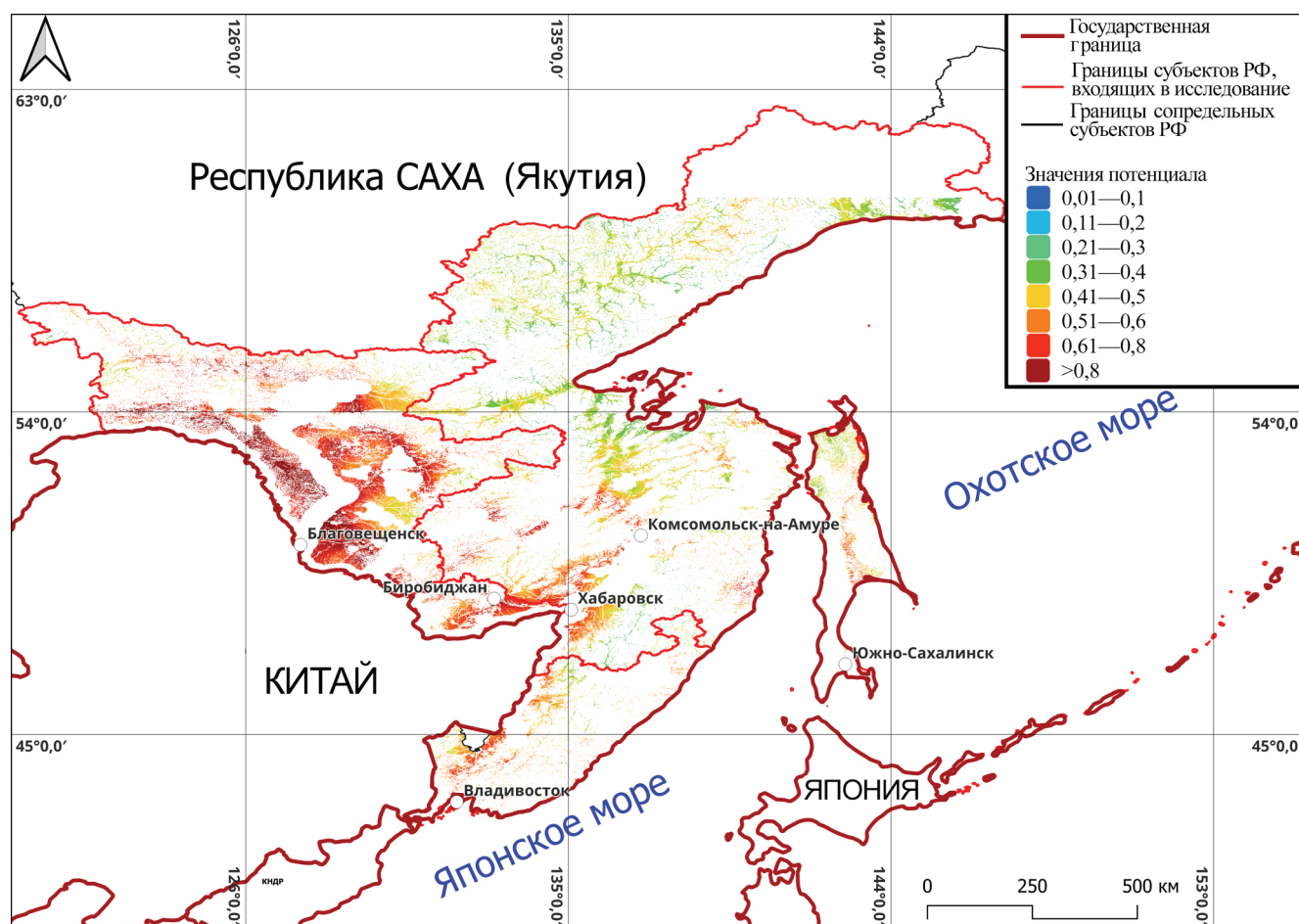


Рис. 4. Потенциал территории к размещению СЭС (CSP). *Источник:* составлено автором

Fig. 4. The potential of the territory for the solar station (CSP) placement. *Source:* compiled by the author

По средним значениям потенциала территории к внедрению энергетики, основанной на использовании PV-панелей, выделяются городские округа Белогорск и Райчихинск (Амурская обл.). Также стоит отметить Черниговский район (Приморский край) и Белогорский МО (Амурская обл.). При этом данные АТЕ обладают не только высоким потенциалом, но и большой площадью территорий, пригодных для строительства PV-станций, что повышает вариативность при выборе места точного размещения электростанции. Говоря о Черниговском районе, необходимо отметить и высокий показатель 90-го процентиля: около 102 км² его площади обладают потенциалом более 0,81. Можно выделить и высокие показатели Спасского района (Приморский край).

Суммируя вышесказанное, отметим, что наиболее энергоэффективные с точки зрения потенциала развития солнечной энергетики и применения PV-панелей территории расположены вдоль Транссибирской магистрали и границы с Китаем, а также на юге Приморского края.

Несмотря на то что для PV- и CSP-станций были приняты единые экономико-географические

критерии и параметры, при сравнении полученных массивов данных по потенциалу исследуемых территорий заметно, что в случае со станциями концентрирующего типа акцент сильно смещен в Амурскую область и частично в Еврейскую АО. На подобную пространственную дифференциацию между двумя типами СЭС повлияло несколько факторов. Во-первых, если некоторые из исследуемых территорий обладали схожими показателями GHI, то значения DNI на юге Амурской области и в Еврейской АО намного выше (приблизительно на 200–300 кВтч/м² в год). Во-вторых, Амурская область обладает более пологим рельефом в отличие от Приморского края, что критически важно в случае с CSP-станциями (допустимое значение уклона для строительства станции составляет 2,1°). Как следствие, подавляющее большинство территории Приморского края с относительно высоким потенциалом сосредоточены в более равнинной юго-западной части субъекта.

На основе статистического анализа для рассчитанного массива данных можно выделить несколько тезисов. С точки зрения средних значений по-

тенциала CSP выделяются городские округа (ГО) Белогорск и Шимановск (Амурская обл.). Но в то же время, несмотря на высокие средние значения потенциала, данные ГО имеют невысокие показатели площади территорий, на которых установка соответствующих электростанций допустима, относительно некоторых других АТЕ. К примеру, в ГО Белогорск подобное значение составляет около 15 км², что не дает возможности говорить о высокой степени вариативности локализации ЭС на территории округа. В свою очередь в ГО Шимановск данный показатель равняется всего 640 м², что в целом не позволяет говорить о высоком потенциале данной территории. Однако помимо городских округов, высокими значениями потенциала обладают и соответствующие муниципальные округа (МО) Белогорский и Шимановский. Отдельно необходимо выделить и некоторые западные АТЕ Амурской области – Сковородинский МО и Магдагачинский район. Последний обладает и высокими значениями 90-го процентиля. Большая часть упомянутых АТЕ расположены либо на приграничных территориях, либо в южной части области. Стоит отметить, что превосходство южных и юго-восточных АТЕ области в вопросе возможного размещения СЭС отмечается, к примеру, в работе Т.А. Мирошниченко [Мирошниченко, 2014]. Также автор отмечает немаловажную деталь, что экономически наиболее эффективно обеспечение электроэнергией, полученной на СЭС, именно удаленных поселений, а не более крупных городов. Данная позиция вполне обоснована, учитывая дороговизну соответствующих технологий, однако постепенное падение LCOE в случае с СЭС повышает экономическую рентабельность предприятия, что позволит расширить географию использования СЭС.

В целом, принимая во внимание показатели 90-го процентиля, помимо ранее отмеченных АТЕ выделяется Свободненский район. При этом, помимо высоких показателей искомого потенциала, в нем можно отметить и внушительное значение площади, которую занимают наиболее энергоемкие территории внутри района (около 263 км²). Также стоит рассмотреть Ванинский и Советско-Гаванский районы, расположенные на территории Хабаровского края. Для них характерны относительно высокие значения 90-го процентиля, но большинство участков с высоким потенциалом располагаются возле г. Советская Гавань. Кроме того, значения прямой солнечной радиации на данной территории относительно высоки (в среднем около 1580 кВтч/м² в год).

Суммируя все вышесказанное, необходимо еще раз подчеркнуть мысль о том, что наиболее эффективные территории с позиции потенциала развития солнечной энергетики с использованием станций

концентрирующего типа расположены в Амурской области. Как и в случае с потенциалом территории к размещению фотоэлектрических станций, Сахалинская область практически не обладает высокими искомыми значениями. В Приморском крае можно выделить Партизанский район и Партизанский ГО, однако в них не наблюдается сгруппированных территорий с высоким потенциалом, а скорее отдельные небольшие участки, что может говорить о возможности строительства локальных станций, однако критично для крупных энергокомплексов.

При проведении подобной оценки, несомненно, должен возникать вопрос экономической эффективности. Сразу же стоит заметить, что, несмотря на постепенное падение LCOE, солнечная энергетика в некоторых ситуациях остается нерентабельной. По данным аналитического агентства Lazard [Lazard, 2024] на 2024 г., LCOE (средний по миру) в случае с PV-панелями составляет 61\$ за МВт·ч – 2-е место по дешевизне после ветроэнергетических установок (50\$ за МВт·ч). При этом угольные ТЭС обладают LCOE в 2 раза дороже, чем PV-панели. Кроме того, можно отметить и серьезную динамику, характерную для фотоэлектрических панелей, ведь вышеупомянутый показатель снизился с 2009 г. в 6 раз. Однако фактически в случае с Дальним Востоком данная оценка не в полной мере справедлива, ведь расчет производится относительно новых станций. Продолжение эксплуатации существующих ТЭС на данный момент более рентабельно, что в том числе обуславливает медленные темпы развития ВИЭ. Кроме того, значительную часть стоимости занимает подготовка соответствующей инфраструктуры, к примеру ЛЭП (как было ранее отмечено, достаточно дорогостоящую), ведь использование существующей сети не всегда возможно, так как ВИЭ имеют свою географическую локализацию, не всегда совпадающую с расположением функционирующих ТЭС. В том числе по этой причине, как отмечалось в исследовании Т.А. Мирошниченко [Мирошниченко, 2014], наибольшей перспективой обладает локальное использование PV-панелей для устранения точечного энергодефицита. Однако, учитывая высокий износ ряда ТЭС Дальнего Востока, не лишено смысла при принятии решения о строительстве новых электростанций выделить определенную долю, пусть и небольшую, на СЭС. Учитывая дороговизну CSP-станций, с позиции экономической выгоды приоритет стоит отдавать именно PV-панелям. Кроме того, рельеф ряда регионов ДФО РФ не позволяет целиком использовать потенциал CSP-технологий. Серьезным подспорьем в достижении рентабельности соответствующих станций может стать их размещение рядом с существующей инфраструктурой по передаче электроэнергии. По этой же причине

приведенный ранее критерий оценки «расстояние до ЛЭП» носит важный характер, что подтверждается и его высоким весом относительно других экономико-географических критериев.

Если рассуждать о вопросе развития солнечной энергетики в регионе с позиции возможного использования полученной электроэнергии для производства «зеленого» водорода, то можно отметить, что идея использования солнечных систем концентрирующего типа, как и фотоэлектрических панелей в качестве единственного источника электроэнергии в исследуемом регионе спорна. Главным фактором для подобного умозаключения является то, что значения суммарной и прямой солнечной радиации практически на всей территории исследования не столь высоки.

Если рассматривать возможность производства «зеленого» водорода только за счет электроэнергии, полученной на СЭС, то выделяются именно южные территории Амурской области, Еврейской АО и Приморского края. В то же время вопрос, насколько при таких значениях возможно экономически эффективное производство «зеленого» водорода с учетом существующих технологий, является дискуссионным. Однако возможна реализация сценария использования станций комбинированного типа СЭС-ВЭС.

ВЫВОДЫ

В связи с активным развитием возобновляемой энергетики во многих странах и регионах мира, а также наметившимся энергопереходом, вопросы, касающиеся оценки потенциала территории являются актуальными, что подтверждается большим количеством исследований на данную тему. При этом в РФ подобные исследования должны вызывать наибольший интерес, так как на текущий момент данная отрасль энергетики страны только входит в стадию активного развития. Дальний Восток может стать одним из ведущих регионов в данном процессе, что в том числе подтверждается и планами Правительства РФ.

В связи с этим была проведена оценка потенциала территории пяти субъектов Федерации, входящих в состав ДФО РФ, к развитию в них солнечной энергетики с использованием двух типов СЭС. В основу расчетов лег метод анализа иерархий с использованием комплекса нечеткой и булевой логики. Отобраны ключевые критерии, подобраны

наиболее подходящие функции и параметры для преобразования значений абсолютных данных, внесены поправки относительно территорий, где подобная хозяйственная деятельность нежелательна. Примененный в данном исследовании метод в той или иной форме встречается во многих работах на подобную тематику. Географическая основа, выраженная в использовании подходов к пространственному анализу, позволяет более комплексно подойти к вопросу и учесть большее количество факторов. В результате было получено два массива данных, на основе которых был произведен статистический анализ для выявления АТЕ, где имеются более благоприятные условия для размещения СЭС.

Помимо оценки собственно потенциала территории проведен расчет площади, пригодной для внедрения соответствующих технологий. Важно отметить, что площадные показатели не столь важны как наличие потенциала в целом. Однако более высокие значения площади придают вариативность в точной локализации предприятия, что, в свою очередь, может сказаться на развитии отрасли в целом. Безусловно, в дальнейшем необходимы расчеты технического потенциала территорий с конкретными значениями потенциальной выработки, а также анализ экономических последствий, выраженный в том числе в подсчете нормированной стоимости производства электроэнергии (LCOE). Однако в связи с достаточно быстрым развитием соответствующих технологий, а также техническими характеристиками фотоэлектрических модулей данные исследования несут в себе более технический характер и в меньшей степени основываются на сугубо географических детерминантах.

В результате проведенного исследования можно утверждать, что для размещения фотоэлектрических СЭС наиболее подходящими территориями являются юг Приморского края и некоторые южные АТЕ Амурской области и Еврейской АО. По показателям потенциала территории к размещению СЭС типа CSP лидирует Амурская область. Развитие данной отрасли, как и любой другой подпадающей под понятие «возобновляемая энергетика», требует дополнительных инвестиций на всех уровнях от планирования до реализации и хочется верить, что в случае с Дальним Востоком подобное развитие будет активным, так как оно закладывает основы энергетической безопасности страны в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аббасов П.А., Гричковская Н.В. Расчет суммарной радиации на юге Дальнего Востока для энергосберегающего строительства // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 419–422.

Горбунова Т.Ю. Оценка ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем возобновляемой энергетики – солнечной и ветровой: дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. Юж. Фед. ун-т. Симферополь, 2019. 224 с.

- Демидионов М.Ю. Пространственное моделирование потенциала развития альтернативной энергетики на примере острова Сахалин // Тихоокеанская география. 2023. № 4(16). С. 82–92.
- Иванова И.Ю., Тузузова Т.Ф., Шакиров В.А. и др. К вопросу о необходимости учета различных факторов при обосновании использования гелиопотенциала для целей электроснабжения на примере Республики Саха (Якутии) // Известия РАН. Энергетика. 2018. № 2(1). С. 41–54.
- Носкова Е.В. Природный гелиоэнергетический потенциал Забайкальского края // Географический вестник. 2017. № 4(43). С. 105–112.
- Санеев Б.Г., Соколов А.Д., Иванова И.Ю. и др. Энергетика восточных регионов России: региональные особенности и декарбонизация // Регион: экономика и социология. 2023. № 4. С. 271–298.
- Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 287 с.
- Солиман Х., Бурлов В.Г., Украинцева Д.А. Использование нечеткой логики в среде ГИС для выбора местоположения ветряных электростанций на примере провинции Хомс, Сирия // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 11(125). С. 1–13.
- Aghaloo K., Ali T., Chiu Y.-R. et al. Optimal site selection for the solar-wind hybrid renewable energy systems in Bangladesh using an integrated GIS-based BWM-fuzzy logic method, *Energy Conversion and Management*, 2023, vol. 283, no. 116899, DOI: 10.1016/j.enconman.2023.116899.
- Al Garni H.Z., Awasthi A. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia, *Applied Energy*, 2017, vol. 205, p. 1225–1240, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.10.024.
- Amrani S., Merrouni A.A., Touili S. et al. An AHP-GIS combination for site suitability analysis of hydrogen production units from CSP & PV solar power plants in Morocco, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, vol. 56, p. 369–382, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.12.165.
- Barzehkar M., Parnell K.E., Dinan N.M. et al. Decision support tools for wind and solar farm site selection in Isfahan Province, Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 23, p. 1179–1195, DOI: 10.1007/s10098-020-01978-w.
- Hooshangi N., Gharakhanlou N.M., Razin S.R.G. Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS, *Journal of Cleaner Production*, 2023, vol. 215, no. 135481, DOI: 10.1016/j.renene.2023.118944.
- Huld T., Amillo A.M.G. Estimating PV Module Performance over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum, *Energies*, 2015, vol. 8(6), p. 5159–5181, DOI: 10.3390/en8065159.
- Islam M.R., Aziz M.T., Alauddin M. et al. Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach, *Renewable Energy*, 2024, vol. 220, no. 119595, DOI: 10.1016/j.renene.2023.119595.
- Lazarev N.I., Kuznetsov N.M. Solar energy for power supply of remote consumers in Murmansk Region, *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 2024, no. 40, p. 55–58, DOI: 10.26160/2474-5901-2024-40-55-58.
- Rios R., Duarte S. Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 149, no. 111310, DOI: 10.1016/j.rser.2021.111310.
- Ruiz H.S., Sunarso A., Ibrahim-Bathis K. et al. GIS-AHP Multi Criteria Decision Analysis for the optimal location of solar energy plants at Indonesia, *Energy Reports*, 2020, vol. 6, p. 3249–3263, DOI: 10.1016/j.egyr.2020.11.198.
- Vilanova A., Kim B.-Y., Kim C.K. et al. Linear-Gompertz Model-Based Regression of Photovoltaic Power Generation by Satellite Imagery-Based Solar Irradiance, *Energies*, 2020, vol. 13(4), no. 781, DOI: 10.3390/en13040781.
- Yang Y., Xia S., Huang P. et al. Energy transition: Connotations, mechanisms and effects, *Energy Strategy Reviews*, 2024, vol. 52, no. 101320, DOI: 10.1016/j.esr.2024.101320.
- Zoghi M., Ehsani A.H., Sadat M. et al. Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan, IRAN, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 68(2), p. 986–996, DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.014.
- Электронные ресурсы**
- АПБЭ. URL: <https://rreda.ru/products/yearly-reviews/review-2632> (дата обращения 16.12.2024).
- Большов А. Сергей Цивилев: цель по переориентации поставок энергоресурсов РФ на Восток достигнута // ТАСС. URL: <https://tass.ru/interviews/21798711> (дата обращения 21.09.2024).
- Гидрометцентр России. URL: <https://meteoinfo.ru> (дата обращения 20.12.2023).
- ГИС ВИА. URL: <https://gisre.ru/> (дата обращения 25.09.2024).
- Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации от 13.05.2019 № 216. URL: http://www.scrf.gov.ru/security/economic/energy_doc/ (дата обращения 23.11.2023).
- Корочкина А. Поставки электроэнергии из России в Китай упали до рекордно низких уровней // Forbes. URL: <https://www.forbes.ru/biznes/517891-postavki-elektroenergii-iz-rossii-v-kitaj-upali-do-rekordno-nizkih-urovnej> (дата обращения 20.11.2024).
- Мирошниченко Т.А. Возможности использования потенциала солнечной радиации на территории Амурской области // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2014. № 65. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ispolzovaniya-potentsiala-solnechnoy-radiatsii-na-territorii-amurskoy-oblasti/viewer> (дата обращения 01.12.2023).
- Распоряжение Правительства РФ: Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации от 05.08.2021 №136-ФЗ. URL: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsex1.pdf> (дата обращения 01.12.2023).
- Строительное оборудование. URL: https://www.stroi-oborudovanie.ru/goods/46107026-transformator_tdt_n_16000_100000_110_35_6_na_sklade (дата обращения 16.12.2024).
- Суслов К., Дорошин А., Кабанов В. и др. Анализ развития солнечной энергетики в России // Энергетическая политика. 2023. № 7(185). С. 26–45. URL: <https://energypolicy.ru/wp-content/uploads/2023/07/ep-%E2%84%967185-2023.pdf> (дата обращения 01.12.2023).

Global Solar Atlas, URL: <https://globalsolaratlas.info/> (дата обращения 01.11.2023).
 NextGIS, URL: <https://nextgis.ru/> (дата обращения 01.11.2023).
 Lazard, URL: <https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energyplus/> (дата обращения 21.11.2024).

Поступила в редакцию 24.06.2024

После доработки 16.11.2024

Принята к публикации 21.01.2025

ASSESSMENT OF THE SOLAR ENERGY POTENTIAL IN BORDER REGIONS OF THE FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT

M.Yu. Demidionov

Herzen State Pedagogical University of Russia, Faculty of Geography, Laboratory for Nature Management, Engineer, Ph.D. in Geography; e-mail: demidionovforwork@gmail.com

Renewable energy is a significant topic of the contemporary discourse. Despite the numerous challenges, there has been an increase in the share and the overall electricity generation from renewable sources in numerous countries and regions worldwide. The Russian Federation does not currently have strong performance in this energy sector, particularly in terms of wind and solar power generation. However, renewable energy could play a significant role in achieving the energy security in Russia. The Far East of Russia faces a particularly pressing issue in terms of energy supply. There are growing concerns about the energy deficit in the region, which could cause problems with domestic consumption and impact the export component. Also, the Far East accounts for over 60% of the total emissions of pollutants from thermal power plants in the country. The issue of renewable energy development has been regularly raised within the energy security framework, for instance, plans to utilize renewable energy for the future production of “green” hydrogen. These plans are reflected in the “Concept for the Development of Hydrogen Energy in the Russian Federation”, which in turn states the creation of at least three clusters for “green” hydrogen production, an Eastern one among them. Given the current geopolitical landscape, as well as the gradual reorientation of Russia’s trade towards the countries in the Asia-Pacific Region, it is the Eastern Cluster that could play a crucial role in ensuring the future energy security of the country. The paper aims to evaluate the potential of the territories within the Far Eastern Federal District of the Russian Federation for solar energy development, by identifying possible locations for implementing the appropriate technological solutions. The study utilizes a method of Analytic Hierarchy Process (AHP), combined with the application of Fuzzy and Boolean logic techniques. Relevant evaluation criteria were identified, and a pairwise comparison matrix was constructed. The absolute spatial values for the criteria were converted into relative values using fuzzy logic tools. Certain restrictive factors were also taken into consideration. A statistical analysis was conducted to identify administrative-territorial units with the highest scores based on the applied methodology. An assessment was made of the area suitable for implementing the relevant technologies.

Keywords: solar energy, method of hierarchy analysis, spatial modeling

REFERENCES

- Abbasov P.A., Grichkovskaya N.V. Raschet summarnoj radiacii na yuge Dal’nego Vostoka dlya energosberegayushchego stroitel’sstva [Calculation of total radiation in the southern Far East for the energy-saving construction], *Academia. Arhitektura i stroitel’sтво*, 2009, no. 5, p. 419–422. (In Russian).
- Aghaloo K., Ali T., Chiu Y.-R., Sharifi A. Optimal site selection for the solar-wind hybrid renewable energy systems in Bangladesh using an integrated GIS-based BWM-fuzzy logic method, *Energy Conversion and Management*, 2023, vol. 283, no. 116899, DOI 10.1016/j.enconman.2023.116899.
- Al Garni H.Z., Awasthi A. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia, *Applied Energy*, 2017, vol. 205, p. 1225–1240, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.10.024.
- Amrani S., Merrouni A.A., Touili S., Ouali H.A.L., et al. An AHP-GIS combination for site suitability analysis of hydrogen production units from CSP & PV solar power plants in Morocco, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2024, vol. 56, p. 369–382, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.12.165.
- Barzehkar M., Parnell K.E., Dinan N.M., Brodie G. Decision support tools for wind and solar farm site selection in Isfahan Province, Iran, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 23, p. 1179–1195, DOI 10.1007/s10098-020-01978-w.
- Demidionov M.Ju. Prostranstvennoe modelirovanie potentsiala razvitiya al’ternativnoj energetiki na primere ostrova Sahalin [Spatial modeling of the potential for alternative energy development on the example of the Sakhalin Island], *Tihookeanskaja geografiya*, 2023, no. 4 (16), p. 82–92. (In Russian)
- Gorbunova T.Ju. Ocenka landshaftnogo potentsiala Jugo-Vostochnogo Kryma dlja ispol’zovaniya sistem vozobnovljajemoj energetiki - solnechnoj i vetrovoj [Assessment of the landscape potential of the south-eastern Crimea for the application of renewable energy systems, solar and wind]: dis. ... kand. geogr. nauk: 25.00.36 / Gorbunova Tat’jana Jur’evna; Juzh. Feder. Un-t. Simferopol’, 2019, 224 p. (In Russian)

- Hooshangi N., Gharakhanlou N.M., Razin S.R.G. Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS, *Journal of Cleaner Production*, 2023, vol. 215, no. 135481, DOI: 10.1016/j.renene.2023.118944.
- Huld T., Amillo A.M.G. Estimating PV Module Performance over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum, *Energies*, 2015, vol. 8(6), p. 5159–5181, DOI: 10.3390/en8065159.
- Islam M.R., Aziz M.T., Alauddin M., Kader Z. Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach, *Renewable Energy*, 2024, vol. 220, no. 119595, DOI: 10.1016/j.renene.2023.119595.
- Ivanova I.Yu., Tuguzova T.F., Shakirov V.A., Khalgayeva N.A. K voprosu o neobходимosti ucheta razlichnykh faktorov pri obosnovanii ispol'zovaniya geliopotenciala dlja celej jelektrosnabzheniya na primere Respubliki Saha (Jakutii) [On the need to consider various factors to substantiate the use of solar potential for power supply on the example of Yakutia], *Izvestija RAN. Energetika*, 2018, no. 2(1), p. 41–54. (In Russian)
- Lazarev N.I., Kuznetsov N.M. Solar energy for power supply of remote consumers in Murmansk Region, *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 2024, no. 40, p. 55–58, DOI: 10.26160/2474-5901-2024-40-55-58.
- Noskova E.V. Prirodnyj gelioenergeticheskij potencial Zabajkal'skogo kraja [Natural solar energy potential of Zabaikalsky Krai], *Geograficheskij vestnik*, 2017, no. 4(43), p. 105–112. (In Russian)
- Rios R., Duarte S. Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, vol. 149, no. 111310, DOI: 10.1016/j.rser.2021.111310.
- Ruiz H.S., Sunarso A., Ibrahim-Bathis K. et al. GIS-AHP Multi Criteria Decision Analysis for the optimal location of solar energy plants at Indonesia, *Energy Reports*, 2020, vol. 6, p. 3249–3263, DOI: 10.1016/j.egyr.2020.11.198.
- Saneev B.G., Sokolov A.D., Ivanova I.Yu. et al. Energetika vostochnykh regionov Rossii: regional'nye osobennosti i dekarbonizaciya [Energy sector in Eastern Russia: regional features and decarbonization], *Region: ekonomika i sociologiya*, 2023, no. 4, p. 271–298. (In Russian)
- Sokolov A.A. *Gidrografija SSSR* [Hydrography of the USSR], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1952, 287 p. (In Russian)
- Soliman H., Burlov V.G., Ukraineva D.A. Ispol'zovanie nechetkoj logiki v srede GIS dlja vybora mestopolozheniya vetrjanykh jelektrostantsij na primere provincii Homs, Siriya [The application of fuzzy logic in a GIS environment for the selection of wind farm locations on the example of Homs province, Syria], *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2022, no. 11(125), 82, p. 1–13. (In Russian)
- Vilanova A., Kim B.-Y., Kim C.K., Kim H.-G. Linear-Gompertz Model-Based Regression of Photovoltaic Power Generation by Satellite Imagery-Based Solar Irradiance, *Energies*, 2020, vol. 13(4), no. 781, DOI: 10.3390/en13040781.
- Yang Y., Xia S., Huang P., Qian J. Energy transition: Connotations, mechanisms and effects, *Energy Strategy Reviews*, 2024, vol. 52, no. 101320, DOI: 10.1016/j.esr.2024.101320.
- Zoghi M., Ehsani A.H., Sadat M. et al. Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan, IRAN, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 68(2), p. 986–996, DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.014.
- Web sources*
- Bol'shov A. Sergej Civilev: cel' po pereorientacii postavok jenergoresursov RF na Vostok dostignuta, *TASS*, URL: <https://tass.ru/interviews/21798711> (access date 21.09.2024). (In Russian)
- Doktrina energeticheskoy bezopasnosti Rossijskoj Federacii ot 13.05.2019 №216. (In Russian), URL: http://www.scrf.gov.ru/security/economic/energy_doc/ (access date 23.11.2023).
- GIS RE, URL: <https://gisre.ru/> (access date 25.09.2024).
- Hydrometeorological Centre of Russia, URL: <https://meteo-info.ru> (access date 20.12.2023).
- IRENA, URL: <https://www.irena.org/Data> (access date 20.04.2024).
- Korochkina A. Postavki elektroenergii iz Rossii v Kitaj upali do rekordno nizkih urovnej [Elektronnyj resurs], *Forbes*, URL: <https://www.forbes.ru/biznes/517891-postavki-elektroenergii-iz-rossii-v-kitaj-upali-do-rekordno-nizkih-urovnej> (access date 20.11.2024).
- Lazard, URL: <https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energyplus/> (access date 21.11.2024).
- Miroshnichenko T.A. Vozmozhnosti ispolzovaniya potentsiala solnechnoy radiatsii na territorii Amurskoy oblasti [Possible use of solar radiation potential in the Amur region], *Vestnik Amurskogo gos. Un-ta, Seriya: Estestvennye i ekonomicheskie nauki*, 2014, no. 65, p. 197–204, URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-ispolzovaniya-potentsiala-solnechnoy-radiatsii-na-territorii-amurskoy-oblasti/viewer> (access date 01.12.2023). (In Russian)
- NextGIS, URL: <https://nextgis.ru/> (access date 01.11.2023).
- Rasporjazhenie Pravitel'stva RF: koncepcija razvitiya vodorodnoj jenergetiki v Rossijskoj Federacii ot 05.08.2021 no. 136-FZ, URL: <http://static.government.ru/media/file/s/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf> (access date 01.12.2023). (In Russian)
- RREDA, URL: <https://rreda.ru/products/yearly-reviews/review-2632> (access date 16.12.2024).
- Stroitel'noe oborudovanie, URL: https://www.stroi-oborudovanie.ru/goods/46107026-transformator_tdt_n_16000_100000_110_35_6_na_sklade (access date 16.12.2024).
- Suslov K., Doroshin A., Kabanov V., Pereverzev D. Analiz razvitiya solnechnoj energetiki v Rossii [Analysis of the development of solar energy in Russia], *Energeticheskaja politika*, 2023, no. 7(185), p. 26–45, URL: <https://energypolicy.ru/wp-content/uploads/2023/07/ep-%E2%84%967185-2023.pdf> (access date 01.12.2023). (In Russian)

Received 24.06.2024

Revised 16.11.2024

Accepted 21.01.2025

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК: 551.4/908 (470-25)

ГЕОМОРФОЛОГИЯ БОЛЬШОЙ МОСКВЫ: ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

С.И. Болысов¹, А.В. Бредихин², С.И. Антонов³, Ю.Н. Фузеина⁴, М.В. Власов⁵,
Е.А. Еременко⁶, В.А. Неходцев⁷, Ю.Р. Беляев⁸, С.В. Харченко⁹, А.А. Деркач¹⁰,
Е.Ю. Матлахова¹¹

^{1–6, 8–11} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра геоморфологии и палеогеографии

⁵ ФРЭКОМ, отдел инженерно-экологических изысканий и оценки современного состояния окружающей среды

⁷ Научный институт Вайцмана, кафедра наук о Земле и планетах

¹ Проф., д-р геогр. наук; e-mail: siboll1954@bk.ru

² Зав. кафедрой, проф., д-р геогр. наук; e-mail: avbredikhin@yandex.ru

³ Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: ser11131134@yandex.ru

⁴ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: donaldw@bk.ru

⁵ Гл. специалист, канд. геогр. наук; e-mail: vlasov-maxim@mail.ru

⁶ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: eremenkoeaig@gmail.com

⁷ Науч. сотр.; e-mail: baban.n@mail.ru

⁸ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: yrbel@mail.ru

⁹ Вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: xar4enkkoff@yandex.ru

¹⁰ Препод., канд. геогр. наук; e-mail: derkach1977@yandex.ru

¹¹ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: matlakhova_k@mail.ru

В статье предлагается исторический обзор исследований рельефа и геологического строения территории города Москвы с оценкой современного состояния их изученности. Выделены этапы этих исследований, которые коррелируют с этапами роста площади столицы. При этом каждый из выделяемых этапов являл собой не только расширение территории геолого-геоморфологических исследований, но и применение все более новых технологий для изучения все более широкого спектра вопросов строения и истории развития рельефа. В последние два десятилетия на этапе освоения территории Новой Москвы наибольший вклад в исследование рельефа и геоморфологических процессов вносят коллективы лаборатории геоморфологии Института географии РАН и кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Ключевые слова: рельеф, геологическое строение, Новая Москва, обзор изученности

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.5

ВВЕДЕНИЕ

Территория Большой Москвы, расположенная в центре Восточно-Европейской (Русской) равнины (рис. 1), относится к наиболее подробно изученной части этого природного региона. Начиная с середины XIX в. здесь проводились географические и геолого-геоморфологические исследования, во многом связанные с хозяйственным функционированием как самого города Москвы, так и прилегающих к нему районов. Масштабы и направления этой деятельности были во многом связаны с политико-административным положением и хозяйственным состоянием города. В связи с этим можно говорить о «до-столичном» и «столичном» периодах в истории московской агломерации,

а затем отмечать этапы ее разрастания, связанные с активным строительством и административными реформами городского хозяйства, а также об увеличении площади города в 1930-е, 1960-е и 2010-е гг. К этим временным этапам относятся различные по тематике и масштабу научные и проектно-изыскательские исследования, дававшие новый фактический материал о геолого-геоморфологическом строении сначала центральной части Москворецкого речного бассейна, а позднее – выходящие за его пределы.

Исходя из этих представлений и указанных возрастных рубежей, можно выделить три крупных этапа, отвечающие периодам относительно стабильного состояния размеров Московской агломерации:

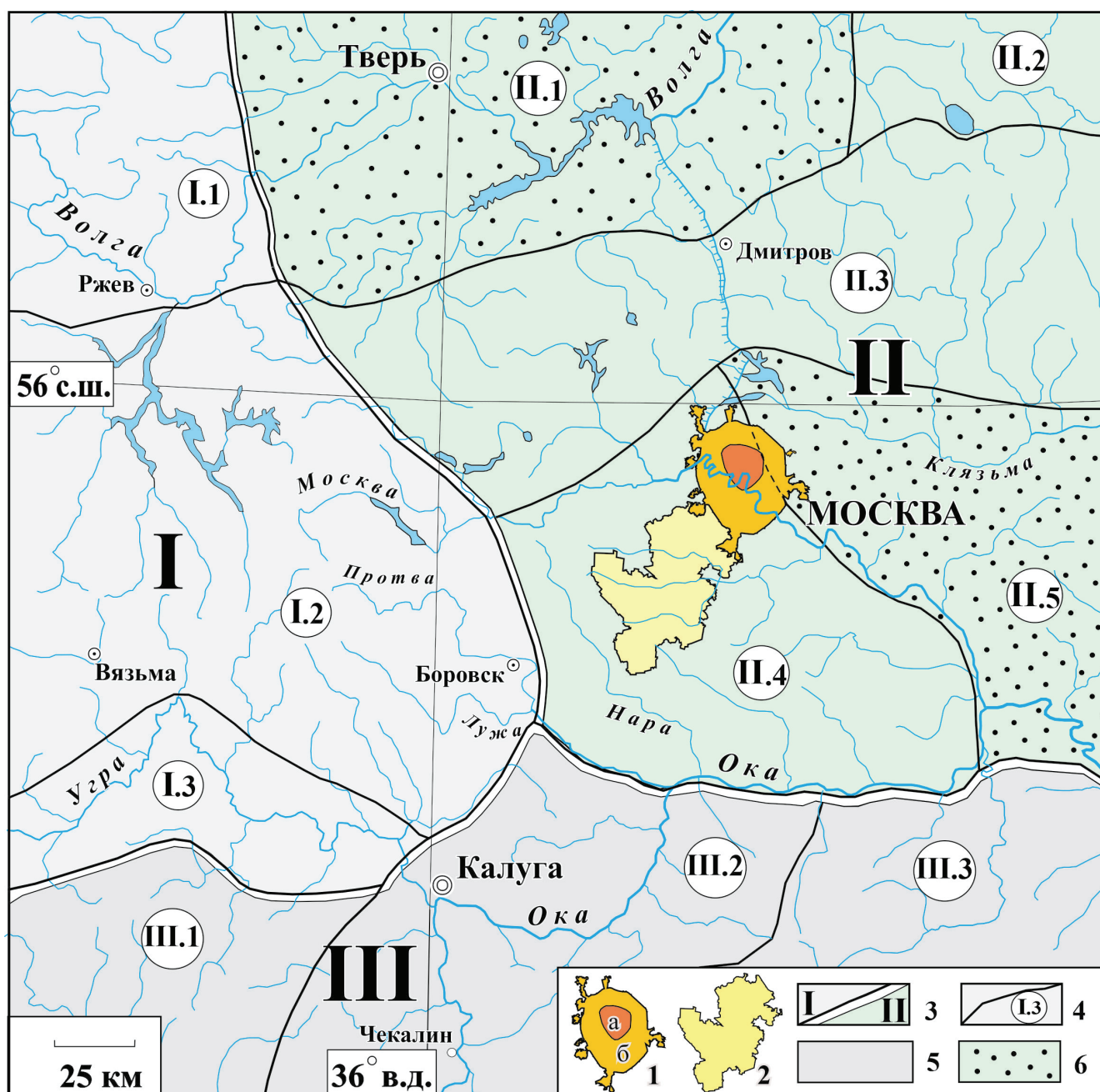


Рис. 1. Положение Большой Москвы на обзорной геоморфологической карте

Центрального Подмосковья [Судакова и др., 2008]:

- 1 – положение Старой Москвы: А – в пределах кольцевой железной дороги (до 1960 г.); Б – в пределах МКАД (до 2010 г.);
 2 – территория Новой Москвы; 3 – границы геоморфологических провинций (по [Судакова и др., 2008]); 4 – границы геоморфологических областей; 5 – возвышенные территории; 6 – низменности, низины. Цифрами обозначены:
 геоморфологические провинции: I – Карбоновое плато; II – Московская мезозойская равнина; III – Средне-Русская возвышенность; геоморфологические области: I.1 – Валдайская возвышенность; I.2 – Вяземско-Уваровское плато;
 I.3 – Угринская низина; II.1 – Верхне-Волжская низина; II.2 – Борисоглебская возвышенность; II.3 – Клинско-Дмитровская возвышенность; II.4 – Москворецко-Окская равнина; II.5 – Мещерская низина; III.1 – Спас-Деменская возвышенность;
 III.2 – Калужско-Чекалинское плато; III.3 – Тульско-Оскольская возвышенность

Fig. 1. The location of Big Moscow on the overview geomorphological map of Central Moscow Region [Sudakova et al., 2008]:

- 1 – the location of Old Moscow: A – within the ring railway (before 1960); B – within the Moscow Ring Road (before 2010);
 2 – the territory of New Moscow; 3 – the boundaries of geomorphological provinces [Sudakova et al., 2008]; 4 – the boundaries of geomorphological regions; 5 – uplands; 6 – lowlands. The numbers indicate: geomorphological provinces: I – Karbonovoye Plateau;
 II – Moscow Mesozoic Plain; III – Central Russian Upland; geomorphological regions: I.1 – Valdai Upland;
 I.2 – Vyazemsko-Uvarovskoye Plateau; I.3 – Ugrinskaya Lowland; II.1 – Upper Volga Lowland; II.2 – Borisoglebskaya Upland;
 II.3 – Klin-Dmitrov Upland; II.4 – Moskvoretsko-Okskaya Plain; II.5 – Meshcherskaya Lowland; III.1 – Spas-Demenskaya Upland;
 III.2 – Kaluga-Chekalinskoye Plateau; III.3 – Tula-Oskol Upland

- I. Москва в пределах кольцевой железной дороги;
- II. Москва в пределах МКАД;
- III. Новая Москва в границах 2012 г.

В пределах двух первых временных интервалов отмечаются по три подэтапа, связанных с изменениями в хозяйственном и политическом устройстве страны: Ia – Москва до 1917 г.; Ib – столица (1918–1941); Iv – Москва послевоенная (1946–1959). Исторический этап после увеличения размеров города в 1960 г. был условно разделен на три примерно равные части: IIa – 1960–1979 гг., IIб – 1980–1991 гг. и IIв – 1992–2011 гг. События после утверждения границ Новой Москвы пока составляют единый этап. Рост города сопровождался расширением и углублением представлений о геолого-геоморфологическом строении территории, спектре присущих естественных и антропогенно стимулированных опасных геоморфологических процессов. Число научных публикаций, монографий и карт, посвященных строению рельефа Московского региона, насчитывает в настоящее время порядка полутысячи. Целью представленного исследования являлись выделение основных этапов изучения рельефа территории Большой Москвы и обобщение имеющихся представлений. Этот материал в дальнейшем активно использовался при полевых геоморфологических работах в среднем и крупном масштабе (на территории Новой Москвы) в 2021–2023 гг., результаты которых планируется осветить в отдельной публикации.

История исследования рельефа столичного региона. Выделенные выше этапы расширения столицы характеризуются различной (возрастающей с течением времени) глубиной охвата рассматриваемой проблематики в научных публикациях. При этом в истории изучения рельефа столицы нашли отражение как общие тренды развития геоморфологической науки, так и частные аспекты, связанные с появлением новых направлений географических исследований. Перейдем к краткой характеристике отмеченных этапов геолого-геоморфологических исследований в столичном регионе.

Подэтап Ia (до 1917 г.). На данном этапе были созданы подробные геологические описания окрестностей Москвы [Щуровский, 1860] и первые геологические карты на центральные районы Европейской России [Никитин, 1890], были опубликованы описания геологических экскурсий по Москве и ее окрестностям для студентов Московского университета [Щуровский, 1860; Павлов, 1946]. Проведены гидрологические исследования и описания р. Москвы и ее притоков, гидрогеологические и инженерно-геологические исследования московского артезианского бассейна для целей городского водоснабжения и канализации [Андреев, 1850; Дельвиц,

1860; Астраков, 1879; Анучин, Борзов, 1948; Борзов, 1926, 1930; Забелин, 1905; Зимин, 1905, 1908; Орлов, 1905]. Выполнена закладка первых буровых скважин (1880-е гг.) для целей водоснабжения города. Проведено первое детальное исследование участков наиболее активных проявлений склоновых процессов – оползневых форм на бортах речных долин [Павлов, 1946].

Подэтап Ib (1918–1941). В первое послереволюционное десятилетие продолжились прежние направления исследований, а затем (с 1929 г.) усилилось внимание к поиску залежей строительных материалов в связи с реконструкцией Москвы, активизацией жилищного строительства (в частности, высотного домостроения), прокладкой Московского метрополитена и гидротехнических сооружений (канала Москва – Волга). Были созданы новые проектные, строительные, изыскательские и исследовательские организации, проведены широкомасштабные буровые работы на строительных объектах (число буровых скважин в городе превысило 10 тыс.). К этому же этапу относится период сооружения первых водохранилищ в Москворецком бассейне (в частности, Химкинского) для водоснабжения столицы. Полученные новые сведения о геолого-геоморфологическом строении столицы отразились в работах Д.Н. Анучина (1948), А.А. Борзова (1926, 1930), Б.М. Даньшина (1928, 1933, 1936, 1937, 1947 и др.) и проч., а также в создании серии крупномасштабных геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических карт Москвы, подробной геоморфологической карты Москворецкой долины.

Подэтап Iv (1946–1959). Работы, начатые во время предыдущего этапа (геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические и др.), были продолжены. К 800-летию Москвы (1947) и в последующие годы произведено издание важных обобщающих трудов по геоморфологии и палеогеографии Московского региона, сборников статей и пособий о природе Москвы и Подмосковья [Павлов, 1946; Дик и др., 1949; Карандеева, 1957; Казакова, 1957; Спиридонов, 1948; Шорыгина, 1947; Соколов, 1954]. Были дополнены и переизданы работы Д.Н. Анучина и А.А. Борзова (1948), Б.М. Даньшина (1947). К середине 1950-х гг. приурочено проектирование и начато строительство трех новых водохранилищ (Можайского, Рузского, Озернинского) в Москворецком бассейне для водоснабжения столицы. В это же время появляются научные публикации о наиболее заметных неблагоприятных и опасных природных процессах в городах (наводнения, подтопления, оползни, карст).

Подэтап IIa (1960–1979). Более чем двукратное увеличение площади Москвы в 1960–1961 гг.

(в пределах линии МКАД, введенной в 1962 г.) акцентировало обозначенные ранее городские проблемы – строительные, транспортные, гидро-технические. В этот период в Московском регионе проводится крупномасштабная геологическая съемка (1 : 50 000), детально реконструируется рельеф коренного основания рыхлой толщи, анализируются физические свойства дочетвертичных пород. Выходят первые книги многотомных изданий «Геология СССР», «Инженерная геология СССР», «Гидрогеология СССР», посвященные описанию центральных районов Русской равнины, а также обобщающие работы о полезных ископаемых Подмоскovie. Публикуется ряд трудов, характеризующих опорные разрезы четвертичных отложений региона [Москвитин, 1964, 1976; Шик, 1961; Спиридонов, 1964]. Высокая степень изученности Европейской России в рассматриваемый период позволила создать Атлас литолого-палеогеографических карт Восточно-Европейской платформы (1960–1961), подробно осветить вопросы палеогеографии региона, в частности – сопоставить современный и дочетвертичный рельеф Москвы и Подмоскovie, отметить проявление его унаследованности [Апродов, 1958; Апродов, Апродова, 1963; Шик, 1961; Петренко, Лихачева, 1979]. В 1978 г. выходит классическая монография А.И. Спиридонова «Геоморфология Европейской части СССР», в которой в мелком масштабе приводится характеристика истории развития и строения рельефа центра Восточно-Европейской равнины. По-прежнему большое внимание уделялось наиболее заметным геоморфологическим процессам в городах, в частности – карстовым просадкам [Гвоздецкий, 1972; Котлов, 1957, 1958, 1960, 1961а, 1961б, 1962, 1978; Котлов и др., 1967, 1976; Максимович, 1963, 1969; Матвеев, 1966; Яблоков, 1967; Чикишев, 1979; Парфенов, Кутателадзе, 1976; Парфенов, 1981], а также оползевым процессам на склонах долин [Кюнтцель, 1962, 1965; Парецкая, 1970; Парецкая, Пустыльник, 1974; Пустыльник, 1974; Турманина, 1964 и др.].

В указанный период акцентируется внимание на деятельности современных геоморфологических процессов, имеющих массовый характер, чьи невысокие скорости часто с лихвой компенсируются широтой их распространения и дают огромный суммарный эффект. Изучение эрозионных процессов в малых водотоках, процессов проседания грунта на месте засыпанных долин, суффозия и др. привлекают внимание исследователей и становятся объектами многолетних наблюдений [Снобкова, 1963]. В это же время В.Ф. Котловым (1967, 1978) была высказана важная идея о необходимости инженерно-геологических наблюдений не только под существующими сооружениями, но и в пределах

всего городского пространства. Только так можно своевременно выявлять и прогнозировать неблагоприятные последствия антропогенного воздействия на природную среду городов. Между тем, огромный и все более нарастающий объем геологической информации о территории столичного региона (число буровых скважин в Москве в 1970-х гг. превысило 600 тыс.) не всегда был доступен всем исследователям и не успевал быть до конца обработанным. На рубеже 1970–1980-х гг. исследователи городов все чаще стали обращаться к актуальным проблемам функционирования городской рекреации.

Подэтан IIб (1980–1991). Интенсивное жилищное строительство в Москве продолжилось, городские кварталы местами вышли за пределы МКАД. Публикуются как новые крупномасштабные материалы геологических работ (например, [Карта техногенных..., 1980; Московский ледниковый покров..., 1982]), так и обобщающие работы регионального значения. Систематизация представлений о рельефе Москвы приводится в монографии Э.А. Лихачевой «О семи холмах Москвы» (1990). Продолжаются работы по картографированию и мониторингу неблагоприятных и опасных геоморфологических процессов (оползневых, карстовых, суффозионных, эрозионных), в том числе на ранее обустроенных стационарах [Кочев и др., 1989; Матвеев, 1981, 1988; Болысов и др., 1985; Ажигиров и др., 1990]. Отмечается заметное увеличение (по сравнению с предыдущими годами) числа исследований, посвященных геоэкологическим, природоохранным и рекреационным проблемам в Москве и Подмоскovie [Лихачева и др., 1981, 1982; Лихачева, 1983 и др.; Кофф и др., 1989 и др.].

Подэтан IIв (1992–2011). Важные общественно-политические изменения, пришедшиеся на начало 1990-х гг., отразились в сокращении финансирования научных исследований и одновременно совпали с произошедшей в стране «информационной революцией» – широким внедрением в повседневный исследовательский труд компьютерной и прочей техники, автоматизировавшей процесс обработки данных, работы по созданию карт, издательскую деятельность. На определенном этапе были сняты ведомственные режимные ограничения на использование данных геологических исследований предшествующих лет, некоторых картографических материалов. Все это позволило обработать, осмыслить, обобщить накопленный в предшествующие годы фактический материал, создать удобные к применению многочисленные базы данных, описывающие строение и динамику природных и антропогенных объектов и процессов. А затем – опубликовать полученные результаты в отечественной и зарубежной печати. Своеобразный «издательский

бум 1990-х гг.» отмечен во многих отраслях российской науки и техники.

К рассматриваемому этапу относится выпуск нового поколения геологических карт (масштаб 1 : 500 000) на Центральные районы Русской равнины (с 1998 г.) [Осипов, 2011; Осипов и др., 2011], создание банка данных геохронологических определений по опорным разрезам четвертичных отложений Москвы и Подмоскovie [Рыжова и др., 2001], публикации Государственных докладов о состоянии окружающей среды Московской области (Мособлкомприрода, с 1996-го), издание десяти-томного Геологического атласа Москвы масштаба 1 : 10 000 (2010), нескольких важных обобщающих монографий [Геоэкология..., 2006; Москва..., 1997; История изучения..., 1997; Насимович, 1996; Кофф и др., 1997; Литвин, 2002; Лихачева, 2007 и др.]. Продолжались стационарные наблюдения и картографирование современных гидрологических и геоморфологических процессов, исследования геоморфологического строения и палеогеографии Московского региона, разномасштабное эколого-палеогеографическое районирование территории Москвы и Подмоскovie. Важным обобщением условий и динамики карстовых процессов на территории Москвы стали работы Е.А.Иксановой и А.А.Лукашова [Иксанова, Лукашов, 2000; Лукашов, Иксанова, 2005; Иксанова, 2005]. Ими выявлено участие процессов тропического карста в докайнозойское время в формировании коренных карбонатных карстующихся толщ и антропогенные причины современной активизации карстово-суффозионных процессов на западе столицы. Комплексное изучение геоэкологических проблем Москвы отразилось в работах исследовательских коллективов Института географии РАН [Лихачева и др., 1991, 1997, 1998а, 1998б, 2000, 2001, 2010а, 2010б; Белусов и др., 2000 и др.], географов МГУ [Алексеевский и др., 2001; Болысов, Рубина, 1994; Битюкова и др., 1998; Битюкова, 2003; Введенская и др., 2008; Спиридонов и др., 1994; Судакова и др., 1997, 2008; Panin et al., 2011 и др.].

Этап III (после 2011). В середине 2011 г. был впервые представлен правительственный проект значительного (в 2,4 раза) расширения площади Московской агломерации за счет присоединения прилегающих с юго-запада территорий Московской области. Через год, 1 июля 2012 г., это решение было официально утверждено. Присоединенная территория представляла собой приподнятую ледниково-эрозионную равнину с чехлом новейших отложений небольшой мощности, залегающим на каменноугольных известняках и морских мезозойских осадках. Рядом организаций был выполнен комплекс работ по картографическому и геолого-ге-

оморфологическому обеспечению новых городских территорий. Так, НПП «Георесурс» создал в 2012 г. комплект крупномасштабных (1 : 50 000) геологических карт территорий, присоединенных к городу Москве (гл. ред. А.В. Антипов). В том же году Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Московской области опубликовало информационный доклад о состоянии природы, ресурсов и об охранных мероприятиях на присоединяемых к Москве территориях. ФГБУ «ВСЕГЕИ», выпустило «московский» лист (№ 37) из Центрально-европейской серии третьего поколения геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 (2015).

Основное внимание в научно-исследовательских работах было сосредоточено на проблемах расширения площади столицы и вопросах рационального освоения присоединяемых территорий. Так, были рассмотрены условия и проблемы освоения Новой Москвы, дана оценка антропогенного морфогенеза, отмечены современные тенденции изменения поверхностных вод Московского региона, дана характеристика трансформации водосборных бассейнов центра Москвы в ходе градостроительства и конкретных последствий техногенного погребения рек в городах, проведены исследования морфологии и динамики субрельефа столицы [Лихачева, Некрасова, 2013; Аникина и др., 2013; Лихачева, Шварев, 2013; Лихачева и др., 2015, 2021; Маккавеев, Федорович, 2013; Маккавеев и др., 2013; Бронгулеев, Шварев, 2015; Шварев и др., 2017; Коронкевич, Мельник, 2015; Экологическая..., 2015; Болысов, Неходцев, 2016, 2017; Болысов и др., 2017; Неходцев, 2016, 2019, 2021 и др.; Неходцев, Гаршин, 2021; Неходцев и др., 2021 и др.], оценена геоморфологическая комфортность проживания москвичей [Болысов, Харченко, 2016]. Важным обобщением явилась монография «Ландшафтно-экологические исследования Москвы для обоснования территориального планирования города» [Низовцев и др., 2020]. Для понимания механизмов и оценки интенсивности геоморфологических процессов на территории столицы полезная информация содержится в недавних работах Н.С. Касимова с соавторами по оценке масштабов и источников загрязнения поверхности [Касимов и др., 2023], С.Р. Чалова с соавторами по специфике режима московских рек [Чалов и др., 2023]. Наряду с прикладными геоморфологическими исследованиями продолжалось решение и общих палеогеографических проблем центра Русской равнины, вопросов ледникового, флювиального, карстового морфолитогенеза, геоморфологического и эколого-палеогеографического районирования рассматриваемого региона [Панин, 2015; Рычагов и др., 2012; Судакова и др. 2016; Судакова, Антонов, 2021].

Подводя итог представленному обзору, можно отметить как непрерывность, так и скачкообразность в процессе расширения Московской городской агломерации и сопутствующих исследовательских работ. Характерно постоянное увеличение степени изученности городской среды, постепенное привлечение к участию в научном управлении городом специалистов все более широкого спектра знаний. Продолжающиеся исследования строения и динамики рельефа и субрельефа Большой Москвы и сопредельных территорий – неперенная составляющая гармоничного и рационального расширения городской среды, залог успешного планирования застройки и инфраструктуры, безопасного и комфортного проживания горожан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

История активного изучения геолого-геоморфологического строения территории г. Москвы насчитывает примерно полтора века. Основные этапы этого изучения коррелируют в первую очередь с моментами территориального приращения столичного города. При этом каждый из выделяемых этапов являл собой не только расширение территории гео-

лого-геоморфологических исследований, но и применение все более новых технологий для изучения все более широкого спектра вопросов строения и истории развития рельефа. К настоящему времени подобранная авторами библиография по рельефу и геологическому строению Большой Москвы насчитывает более 500 карт и публикаций. В последние два десятилетия на этапе освоения территории Новой Москвы наибольший вклад в исследование рельефа и геоморфологических процессов вносят коллективы Лаборатории геоморфологии Института географии РАН и кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Дальнейшее изучение рельефа и рельефообразования на территории Большой Москвы, очевидно, будет сосредоточено на детальных исследованиях участков Новой Москвы, с составлением соответствующих общих геоморфологических карт, карт современных процессов, специализированных геоморфологических карт и планов (инженерно-геоморфологических, рекреационно-геоморфологических и т. п.) в крупном и детальном масштабе соответственно.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках темы госзадания кафедры геоморфологии и палеогеографии МГУ имени М.В. Ломоносова «Эволюция природной среды в кайнозое, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования» (ГЗ 121040100323-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Гончаров А.В., Семаков В.А. Соотношение антропогенных нагрузок и экологическое соотношение рек Московской области // Руслведение и гидроэкология. 2001. Вып. 7. С. 37–45.
- Ажигиров А.А., Голосов В.Н., Литвин Л.Ф. Роль рельефа как фактора территориальной дифференциации поверхностной эрозии на европейской части СССР // Экзогенные процессы и окружающая среда. М.: Наука, 1990. С. 56–61.
- Андреев А.Н. История московского водопровода. М., 1850. 20 с.
- Аникина Н.В., Шварев С.В., Неходцев В.А. и др. Оценка природно-антропогенных геолого-геоморфологических условий Новой Москвы // Геоэкологические проблемы Новой Москвы / отв. ред. А.В. Кошкарёв, Э.А. Лихачева, А.А. Тишков. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 88–95.
- Астраков В.И. Гидрографический очерк Москвы-реки и ее притоков // Известия Московской городской думы. 1879. 98 с.
- Анучин Д.Н., Борзов А.А. Рельеф европейской части СССР. М.: Гос. изд-во географ. лит., 1948. 300 с.
- Апродов В.А. О тектонической трещиноватости каменноугольных и юрских пород в южных окрестностях Москвы // Науч. докл. высш. шк. геол.-геогр. науки. 1958. № 1. С. 208–214.
- Апродов В.А., Апродова А.А. Движения земной коры и геологическое прошлое Подмоскovie. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1963. 267 с.
- Атлас литолого-палеогеографических карт Русской платформы и ее геосинклинального обрамления. М.: Изд-во АН СССР, 1960–1961.
- Белоусов А.А., Маккавеев А.Н., Курбатова Л.С. Влияние геолого-геоморфологических факторов на возникновение чрезвычайных ситуаций в центральных районах г. Москвы // Геоморфология. 2000. № 4. С. 40–45.
- Битюкова В.Р., Глушкова В.Г., Ратанова М.П. Экология Москвы: прошлое, настоящее и будущее. М.: Наука, 1998. 154 с.
- Битюкова В.Р. Экологическая ситуация в Москве в конце XX в. // Известия РАН. Серия географическая. 2003. № 1. С. 80–89.
- Болысов С.И., Борсук О.А., Евтеев А.О. Стационарные наблюдения за овражной эрозией в Подмоскovie // Факторы и процессы ландшафтообразования. М.: МОИП, 1985. С. 59–63.
- Болысов С.И., Рубина Е.А. Современные геоморфологические процессы на территории Московской области // Геоморфология. 1994. № 3. С. 42–48.
- Болысов С.И., Харченко С.В. Городской рельеф как фактор комфортности проживания населения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 1. С. 21–28.

- Болысов С.И., Неходцев В.А.* Субрельеф и субтерральные процессы как фактор эколого-геоморфологической опасности в городах // Вестник Рязанского гос. ун-та им. С.А. Есенина. 2016. № 1 (50). С. 87–105.
- Болысов С.И., Неходцев В.А.* Потенциальные геоморфологические опасности территории Новой Москвы в связи с ее активной урбанизацией // Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. С. 47–56.
- Болысов С.И., Неходцев В.А., Харченко С.В.* Подземный рельеф Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 2. С. 59–73.
- Борзов А.А.* Краткая программа для описания рек и речных долин Московской губернии. М.: Общ. изучения Московской губернии, 1926. 96 с.
- Борзов А.А.* Очерк геоморфологии Московской губернии // Мат. по природе Московской обл. (Тр. Общ. изуч. Моск. обл.). 1930. Вып. 4. С. 5–25.
- Бронгулеев В.В., Шварев С.В.* Геолого-геоморфологические и ландшафтные характеристики территории Новой Москвы: корреляции, факторы, типология // Вопросы географии: Сб. 140: Современная геоморфология / Моск. филиал ГО СССР; Русское геогр. об-во / М.: Изд. дом «Кодекс», 2015. С. 396–416.
- Введенская А.И., Немцова Г.М., Судакова Н.Г.* Разрезы территории Москвы // Реконструкция палеогеографических событий среднего неоплейстоцена центра Русской равнины. М., 2008. С. 88–97.
- Гвоздецкий Н.А.* Проблемы изучения карста и практика. М.: Мысль, 1972. 392 с.
- Геологический атлас Москвы (в 10 томах с пояснительной запиской). Масштаб 1 : 10 000. М.: ГУП «Мосгоргеотрест», 2010.
- Геология СССР. Том 4. Центр европейской части СССР. Часть 1. Геологическое описание (Московская, Владимирская, Ивановская, Калининская, Калужская, Костромская, Рязанская, Тульская, Смоленская и Ярославская области). М.: Недра, 1971. 742 с.
- Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды / отв. ред. Г.Л. Кофф, Э.А. Лихачева, Д.А. Тимофеев. М.: Медиа-ПРЕСС, 2006. 200 с.
- Даньшин Б.М., Корован С.Л., Хецов И.Р., Хименков В.Г.* Артезианские воды г. Москвы, снабжение ими населения и промышленных предприятий. М.: Изд-во МКХ, 1928. 112 с.
- Даньшин Б.М.* Геологическое строение долины р. Москвы от Шелепи до Перервы // Изв. МГРТ. 1933. Т. 2. Вып. 1–2. С. 20–39.
- Даньшин Б.М.* Геологическое строение Московской области // Тр. ВИМСа и МГТ. Вып. 105(18). М.; Л.: ОНТИ, 1936. 58 с.
- Даньшин Б.М.* Геологическое строение Ленинских гор в связи с некоторыми вопросами стратиграфии отложений меловой системы и оползневыми явлениями на берегу р. Москвы // Изв. МГТ. Т. 4. 1937. С. 3–23.
- Даньшин Б.М.* Геологическое строение и полезные ископаемые Москвы и окрестностей. М.: Изд-во МОИП, 1947. 305 с.
- Дельвиц А.И.* Московские водопроводы в 1859 г. // Вести промышленности. 1860. № 8. С. 43–112.
- Дик Н.Е., Лебедев В.Г., Соловьев А.И., Спиридонов А.И.* Рельеф Москвы и Подмосковья. М.: Гос. изд-во геогр. литературы, 1949. 196 с.
- Забелин И.* История города Москвы. М.: Типолитография т-ва И.Н. Кушнерев и Ко, 1905. 688 с.
- Закон города Москвы от 11 апреля 2012 года № 10 «О внесении изменений в Закон города Москвы от 5 июля 1995 года № 13-47 “О территориальном делении города Москвы”». 2012.
- Зимин Н.П.* Описание сооружений нового Мытищинского водопровода, строительный сезон 1890–1893 гг. с атласом. М., 1905. 343 с.
- Зимин Н.П.* Описание сооружений нового Мытищинского водопровода, строительный период 1897–1906 гг. М.: Мосгордума, 1908. 143 с.
- Иксанова Е.А.* Вклад докайнозойского карбонатного карста в развитие современных просадочных процессов в г. Москве : автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2005. 24 с.
- Иксанова Е.А., Лукашов А.А.* Вклад докайнозойского карбонатного карста в развитие современных просадочных процессов в г. Москве // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5, Геогр. 2000. № 6. С. 48–51.
- История изучения, использования и охраны природных ресурсов Москвы и Московского региона / под ред. А.В. Постникова, В.К. Рахилина. М.: Янус-К, 1997. 254 с.
- Казакова М.М.* Основные черты рельефа Московской области // Тр. ИГАН СССР. 1957. Вып. 71. С. 5–15.
- Карандеева М.В.* Геоморфология европейской части СССР. М.: Изд-во МГУ, 1957. 314 с.
- Карта техногенных отложений территории г. Москвы, масштаб 1 : 25 000 / сост. И.К. Сипягина. М.: Центр геология, 1980.
- Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Поповичева О.Б. и др.* Загрязнение Московского мегаполиса: мониторинг химического состава микрочастиц в системе «атмосфера – снег – дорожная пыль – почвы – поверхностные воды» // Метеорология и гидрология. 2023. № 5. С. 5–19.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.: МАКС Пресс, 2015. 168 с.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Трансформация стока под влиянием ландшафтных изменений в бассейне реки Москвы и на территории города Москвы // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 2. С. 133–143.
- Котлов Ф.В.* Четвертичные карбонатные породы в Москве, их генезис, формирование и инженерно-геологическая характеристика // Тр. ЛГГП АН СССР. 1957. Т. 16. С. 30–42.
- Котлов Ф.В.* Инженерно-геологические особенности глинистых пород Москвы и Подмосковья в связи с их генезисом и условиями формирования // Иссл. и использование глин. 1958. С. 319–336.
- Котлов Ф.В.* К вопросу о влиянии деятельности человека на интенсивность карстового процесса в районе Москвы // Мат. комиссии по изуч. геологии и географии карста. Сб. 1. 1960. С. 93–102.
- Котлов Ф.В.* Антропогенные изменения рельефа (на примере г. Москвы) // Вопр. географии. 1961а. Сб. 52. С. 134–150.
- Котлов Ф.В.* Изменение подземных вод территории Москвы под влиянием деятельности человека // Тр. ЛГГП АН СССР. 1961б. Т. 36. С. 41–57.
- Котлов Ф.В.* Изменение природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека и их

- инженерно-геологическое значение. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 263 с.
- Котлов Ф.В., Братнина И.А., Сиягина И.К. Город и геологические процессы. М.: Наука, 1967. 226 с.
- Котлов Ф.В., Медведев О.П., Киселева З.Т., Кожевникова В.И. Антропогенная активизация карстово-суффозионных процессов // Тр. ПНИИИС Госстроя СССР. 1976. Вып. 43. С. 4–11.
- Котлов Ф.В. Изменения геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 264 с.
- Кочев А.Д., Чертков Л.Г., Зайонц И.Л., Афанасьев В.Ю. Методика и результаты комплексного изучения карстово-суффозионных процессов в г. Москве // Инженерная геология. 1989. № 6. С. 77–94.
- Кофф Г.Л., Котлов В.Ф., Шешеня Н.Л. Рекомендации по усовершенствованию инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства на территории г. Москвы и лесопарковой зоны в связи с охраной и рациональным использованием геологической среды. М.: Стройизыскания, 1989. 119 с.
- Кофф Г.Л., Петренко С.И., Лихачева Э.А., Котлов В.Ф. Очерки по геоэкологии и инженерной геологии Московского столичного региона / под ред. Н.А. Богданова, А.И. Шеко. М.: РЭФИА, 1997. 185 с.
- Кюнцель В.В. Эрозия берегов реки Москвы и ее влияние на оползневые процессы // Разведка и охрана недр. 1962. № 3. С. 41–45.
- Кюнцель В.В. О возрасте глубоких оползней Москвы и Подмосковья, связанных с юрскими глинистыми отложениями // Бюлл. Моск. общ. испытателей природы. Отд. геол. Вып. 40 (3), 1965. С. 93–100.
- Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственной зоны России. М.: Академкнига, 2002. 256 с.
- Лихачева Э.А., Зеугофер Ю.О., Краснов А.Ф. и др. Опыт оценки изменения рельефа городской территории (на примере г. Москвы) // Новейшие методы геоморфологических исследований. М.: МФГО СССР, 1981. С. 72–84.
- Лихачева Э.А., Зеугофер Ю.О., Панюкова М.П. Геоморфологический анализ территории города Москвы (оценка по степени благоприятности для строительства) // Рельеф и хозяйственная деятельность. 1982. М.: МФГО. С. 112–122.
- Лихачева Э.А. Морфодинамика антропогенного рельефа городской территории // Проблемы морфодинамики. 1983. С. 84–90.
- Лихачева Э.А. О семи холмах Москвы. М.: Наука, 1990. 144 с.
- Лихачева Э.А., Бахирева Л.В., Станковянски М., Урбанек Я. Оценка городской морфолитосистемы (на примере Москвы и Братиславы) // Геоморфология. 1991. № 1. С. 30–42.
- Лихачева Э.А., Насимович Ю.А., Александровский А.Л. Ландшафтно-геоморфологические особенности Москвы // Природа. 1997. № 9. С. 4–19.
- Лихачева Э.А., Курбатова Л.С., Махорина Е.И. Карта техногенных отложений и техногенно погребенной речной сети территории г. Москвы // Геоморфология. 1998а. № 1. С. 61–67.
- Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Тимофеев Д.А., и др. Геоморфология Москвы по материалам карты «Геоморфологические условия и инженерно-геологические процессы г. Москвы» // Геоморфология. 1998б. № 3. С. 41–51.
- Лихачева Э.А., Локишин Г.П., Просунцова Н.С., Тимофеев Д.А. Эколого-геоморфологическая оценка территории г. Москвы // Геоморфология. 2000. № 1. С. 48–55.
- Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Курбатова Л.С. Древние и современные процессы в долине реки Неглинной // Геоморфология. 2001. № 4. С. 58–66.
- Лихачева Э.А. Экологические хроники Москвы. М.: Медиа-Пресс, 2007. 304 с.
- Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Локишин Г.П. Концептуальная модель развития малых урбанизированных водосборных бассейнов (на примере г. Москвы) // Известия РАН. Серия географическая. 2010а. № 4. С. 134–142.
- Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Локишин Г.П. Этапы и стадии развития водосборных бассейнов малых рек на урбанизированных территориях (на примере г. Москвы) // Известия РАН. Серия географическая. 2010б. № 5. С. 103–111.
- Лихачева Э.А., Некрасова Л.А. Оценка антропогенного морфогенеза на территории Московской области // Геоэкологические проблемы Новой Москвы / отв. ред. А.В. Кошкарёв, Э.А. Лихачева, А.А. Тишков. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 76–82.
- Лихачева Э.А., Шварев С.В. Геоморфологические проблемы освоения территории Новой Москвы // Геоэкологические проблемы Новой Москвы / отв. ред. А.В. Кошкарёв, Э.А. Лихачева, А.А. Тишков. М.: Медиа-Пресс, 2013. С. 83–87.
- Лихачева Э.А., Шварев С.В., Аникина Н.В. Геоморфологическая оценка территориальных ресурсов Новой Москвы // Геоморфология. 2015. № 1. С. 77–88.
- Лихачева Э.А., Аникина Н.В., Маккавеев А.Н. Трансформация водосборных бассейнов центра Москвы под влиянием градостроительства // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 1. С. 136–145.
- Лукашов А.А., Иксанова Е.А. О возможности развития докайнозойского карбонатного тропического карста в Нечерноземье // Геоморфология. 2005. № 2. С. 52–57.
- Маккавеев А.Н., Федорович Д.В. Трансформация колебаний уровня грунтовых вод на городской территории (Москва) // Антропогенная геоморфология. М.; Киев: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 205–215.
- Маккавеев А.Н., Аникина Н.В., Волобой А.А. Структура эколого-геоморфологической оценки на примере строительства линейных сооружений в Москве // Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 242–250.
- Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т. 1. Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Пермское кн. изд., 1963. 444 с.
- Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т. 2. Вопросы гидрогеологии карста, реки и озера карстовых районов, карст мела, гидротермокарст. Пермь: Пермское кн. изд., 1969. 524 с.
- Матвеев Н.П. Карст Москворецко-Окского междуречья // Вопр. изуч. карста Русской равнины. 1966. С. 86–102.
- Матвеев Н.П. Влияние хозяйственной деятельности человека на рельеф пойм центра Русской равнины // Рельеф и хозяйственная деятельность. 1981. С. 51–60.
- Матвеев Н.П. Состояние пойм малых рек Московской области, их использование и охрана // Малые реки центра Русской равнины, их использование и охрана. М.: МФГО, 1988. С. 61–69.

- Москва. Геология и город / под ред. В.И. Осипова и О.П. Медведева; РАН, Институт геоэкологии; Мосгоргеотрест. М.: Московские учебники и Картолитография, 1997. 398 с.
- Москвитин А.И. Следы пяти оледенений и межледниковий в Москве // Бюлл. Моск. общ. испытателей природы. Отд. геол. 1964. Т. 34. Вып. 5. С. 101–111.
- Москвитин А.И. Опорные разрезы плейстоцена Русской равнины. М.: Изд-во АН СССР, 1976. 240 с.
- Московский ледниковый покров Восточной Европы / под ред. Г.И. Горещкого и др. М.: Наука, 1982. 237 с.
- Насимович Ю.А. Аннотированный список названий рек, ручьев и оврагов Москвы. М.: ВНИИ охраны природы Минприроды РФ, 1996. 114 с.
- Неходцев В.А. Геоэкологические опасности субрельефа городов // Спелеология и спелестология: сб. материалов конференции. 2016. № 7. С. 315–321.
- Неходцев В.А. Обзор травертиногенеза в подземных речах Москвы // Спелеология и спелестология: сб. материалов конференции. 2019. № 10. С. 296–303.
- Неходцев В.А., Гаршин Д.И. Голоценовый травертиногенез и туфовые пещеры у Дулебино (Московская область) // Спелеология и спелестология. 2021. № 2. С. 12–19.
- Неходцев В.А., Гаршин Д.И., Пожиданов А.М. Строение и история развития пещеры Подмосковной // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 109–123.
- Неходцев В.А. Последствия техногенного погребения рек в городах (на примере Москвы) // Известия РАН. Серия географическая. 2021. № 2. С. 238–247.
- Низовцев В.А., Кочуров Б.И., Эрман Н.М. и др. Ландшафтно-экологические исследования Москвы для обоснования территориального планирования города // М.: Прометей, 2020. 342 с.
- Никитин С.Н. Каменноугольные отложения Подмосковного края и артезианские воды под Москвою // Тр. Геол. Ком. 1890. Т. 5, № 5. С. 1–182.
- Орлов С.С. Грунтовая вода Москвы и ее кладбищ. Сравнительная оценка грунтовой воды в канализированных и в неканализированных владениях. М.: Изд. гигиенич. ин-та Моск. ун-та, 1905. 217 с.
- Осипов В.И. Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2011. № 3. С. 195–197.
- Осипов В.И., Бурова В.Н., Заиканов В.Г. Карта крупномасштабного (детального) инженерно-геологического районирования территории г. Москвы // Геоэкология. 2011. № 4. С. 306–318.
- Павлов А.П. Геологический очерк окрестностей Москвы: пособие для экскурсий и краеведов, 5-е изд. М.: Изд-во МОИП, 1946. 86 с.
- Панин А.В. Флювиальное рельефообразование на равнинах умеренного пояса Евразии в позднем плейстоцене – голоцене: дисс. ... д-ра геогр. наук. М., 2015. 457 с.
- Парецкая М.Н. Проявление ползучести юрских глинистых пород в условиях г. Москвы // Совр. методы исслед. в гидрогеологии и инж. геологии. 1970. С. 128–132.
- Парецкая М.Н., Пустыльник С.И. Оценка эффективности противоползневых мероприятий на оползневых участках г. Москвы // Природные ресурсы Москвы и Подмосковья. 1974. С. 35–47.
- Парфенов С.И., Кутателадзе И.Р. О поверхностных проявлениях карста в Москве // Тр. ВНИИ гидрогеологии и инж. геологии. Вып. 108. 1976. С. 70–73.
- Парфенов С.И. Карстово-суффозионные явления на Ходынском поднятии в г. Москве // Новые методы изучения инженерно-геологических условий. М.: Наука, 1981. С. 34–38.
- Петренко С.И., Лихачева Э.А. Некоторые результаты изучения палеодолин на территории г. Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1979. № 4. С. 96–99.
- Пустыльник С.И. К вопросу о роли оползней в денудации склонов речных долин на территории Москвы и Подмосковья // Природные ресурсы Москвы и Подмосковья. 1974. С. 9–11.
- Рыжова А.А., Рыжов А.Б., Балдаева О.А. и др. Создание банка данных по результатам биостратиграфических, археологических, геохронометрических, термолюминесцентных и палеомагнитных исследований опорных разрезов четвертичных образований на территории г. Москвы и Московской области. Отчет за 2000–2001 гг. М.: Минеральные ресурсы, 2001. 65 с.
- Рычагов Г.И., Судакова Н.Г., Антонов С.И. О ледниковой стратиграфии и палеогеографии центра Восточно-Европейской равнины // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2012. № 1. С. 36–44.
- Снобкова А.И. О некоторых инженерно-геологических закономерностях развития осадков территории Москвы, вызванных понижением уровня подземных вод и строительства метрополитена // Инженерно-геологические процессы и явления, их значение для строительства. 1963. С. 15–26.
- Соколов Н.Н. Особенности рельефа Московской области // Сб. работ музея почвоведения им. В.В. Докучаева. 1954. Вып. 1. С. 160–230.
- Спиридонов А.И. К вопросу о происхождении покровных суглинков Подмосковья // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1948. № 4. С. 87–96.
- Спиридонов А.И. Некоторые особенности древнего ледникового покрова на Русской равнине // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геогр. 1964. № 6. С. 24–30.
- Спиридонов А.И., Введенская А.И., Немцова Г.М., Судакова Н.Г. Комплексное палеогеографическое и геоморфологическое районирование Московской области // Геоморфология. 1994. № 3. С. 32–42.
- Судакова Н.Г., Введенская А.И., Немцова Г.М. Устойчивость литолого-палеогеографической основы природной среды (на примере Московского региона) // Известия РАН. Серия географическая. 1997. № 1. С. 43–53.
- Судакова Н.Г., Антонов С.И., Введенская А.И. и др. Реконструкция палеогеографических событий среднего неоплейстоцена Центра Русской равнины. М.: Издание Географического ф-та МГУ, 2008. 167 с.
- Судакова Н.Г., Антонов С.И., Введенская А.И. и др. Палеогеографическое районирование Русской равнины как основа геоэкологической оценки устойчивости геосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 4. С. 13–21.
- Судакова Н.Г., Антонов С.И. Региональные особенности геоморфологического строения древнеледниковой области в центре Русской равнины // Геоморфология. 2021. Т. 52, № 1. С. 100–108.
- Турманина В.И. Взаимодействие растительности с оползневыми процессами склонов, на примере Москвы и Подмосковья: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. М., 1964. 24 с.

- Чалов С.Р., Платонов В.С., Морейдо В.М. и др. Реакция водного стока малой городской реки на экстремальные дождевые осадки на территории Москвы в 2020 и 2021 гг. // Метеорология и гидрология. 2023. № 2. С. 69–79.
- Чикишев А.Г. Проблемы изучения карста Русской равнины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 304 с.
- Шварев С.В., Лихачева Э.А., Аникина Н.В., Некрасова Л.А. Организованность антропогенно-геоморфологических систем Новой Москвы: синтез экспертных и статистических оценок для региональных ресурсных исследований // Геоморфология. 2017. № 2. С. 25–37.
- Шик С.М. Доледниковая гидрографическая сеть юго-западного Подмоскovie и ее развитие в плейстоцене // Мат. совещ. по изучению четвертичного периода. 1961. Т. 2. С. 30–42.
- Шорыгина Л.Д. Основные этапы формирования рельефа Московской области // Тр. Ин-та геол. наук. Сер. геол. 1947. Вып. 88. № 26. С. 49–60.
- Щуровский Г.Е. Каменоломня г. Алексеевых в Москве // Вести Естественных наук. 1860. № 32. С. 1019–1028.
- Экологическая геоморфология: новые направления / под ред. С.И. Болысова. М.: Географический факультет МГУ, 2015. 220 с.
- Яблоков В.С. История изучения каменноугольных отложений и углей Подмоскovie бассейна (1722–1966 гг.). М.: Наука, 1967. 260 с.
- Panin A., Fuzeina Yu., Karevskaya I., Sheremetskaya E. Mid-Holocene gullying indicating extreme hydroclimatic events in the center of the Russian Plain, Geographia Polonica, 2011, no. 84, Spec. Iss. Pt. 1, p. 95–115.

Поступила в редакцию 10.12.2024

После доработки 15.01.2025

Принята к публикации 21.01.2025

GEOMORPHOLOGY OF GREAT MOSCOW: A HISTORICAL REVIEW

S.I. Bolysov¹, A.V. Bredikhin², S.I. Antonov³, Yu.N. Fuzeina⁴, M.V. Vlasov⁵, E.A. Eremenko⁶, V.A. Nekhodtsev⁷, Yu.R. Belyaev⁸, S.V. Kharchenko⁹, A.A. Derkach¹⁰, E.Yu. Matlakhova¹¹

^{1–6, 8–11} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography
⁵ FRECOM LLC, Department of Engineering and Environmental Surveys and Assessment of the Current State of the Environment
⁷ Weizmann Institute of Science, Department of Earth and Planetary Sciences

¹ Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: sibol1954@bk.ru

² Head of the Department, Prof., D.Sc. in Geography; e-mail: avbredikhin@yandex.ru

³ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ser11131134@yandex.ru

⁴ Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: donaldw@bk.ru

⁵ Chief Specialist, Ph.D. in Geography; e-mail: vlasov-maxim@mail.ru

⁶ Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: eremenkoeaig@gmail.com

⁷ Scientific Researcher; e-mail: baban.n@mail.ru

⁸ Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: yrbel@mail.ru

⁹ Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: xar4enkkoff@yandex.ru

¹⁰ Lecturer, Ph.D. in Geography; e-mail: derkach1977@yandex.ru

¹¹ Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: matlakhova_k@mail.ru

The article presents a historical review of studies of the topography and geological composition of the Greater Moscow territory and gives an assessment of the current level of knowledge of the region. We identified the stages of the studies, which correlate with the stages of growth of the capital's area. At the same time, each stage of the study represents not only the expansion of the territory of geological and geomorphologic research, but also the use of new technologies to study an increasingly wide range of issues related to the structure and the history of landforms. In the last two decades, during the development of the territory of New Moscow, the teams from Laboratory of Geomorphology (Institute of Geography, Russian Academy of Sciences) and Department of Geomorphology and Paleogeography (Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University) have contributed a lot to the study of topography and geomorphologic processes.

Keywords: topography, geological structure, New Moscow, review of the state of knowledge

Acknowledgements. The study was carried out under the State Task theme of the Lomonosov MSU Department of Geomorphology and Paleogeography Evolution of the environment during the Cenozoic, relief dynamics, geomorphologic hazards and nature management risks (N 121040100323-5).

REFERENCES

- Alekseevskij N.I., Goncharov A.V., Semakov V.A. Sootnoshenie antropogennyh nagruzok i ekologicheskoe sootnoshenie rek Moskovskoj oblasti [The ratio of anthropogenic loads and the ecological ratio of the rivers of the Moscow region], *Ruslovedenie i gidrojekologija*, 2001, vol. 7, p. 37–45. (In Russian)

- Andreev A.N. *Istorija moskovskogo vodoprovoda*. [History of Moscow water supply], Moscow, 1850, 20 p. (In Russian)
- Anikina N.V., Shvarev S.V., Nehodtsev V.A., Samojlova E.A. [Assessment of natural and anthropogenic geological and geomorphological conditions of New Moscow], *Geoekologicheskie problemy Novoj Moskvy* [Ecological problems of New Moscow], A.V. Koshkarev, E.A. Lihachjova, A.A. Tishkov (eds.), Moscow, Media-PRESS Publ., 2013, p. 88–95. (In Russian)
- Anuchin D.N., Borzov A.A. *Rel'ef Evropejskoj chasti SSSR* [Relief of the European part of the USSR], Moscow, Gos. izd-vo geogr. lit. Publ., 1948, 300 p. (In Russian)
- Aprodov V.A. O tektonicheskoj treshhinovatosti kamenno-ugol'nyh i jurskih porod v juznyh okrestnostyah Moskvy [On tectonic fracturing of Carboniferous and Jurassic rocks in the southern environs of Moscow], *Nauch. dokl. vyssh. shk. geol.-geogr. Nauki*, 1958, no. 1, p. 208–214. (In Russian)
- Aprodov V.A., Aprodova A.A. *Dvizhenija zemnoj kory i geologicheskoe proshloe Podmoskov'ja* [Crust movements and the geological past of the Moscow region], Moscow, Izd-vo Mosk. Un-ta, 1963, 267 p. (In Russian)
- Astrakov V.I. *Gidrograficheskij ocherk Moskvy-reki i yeyo pritokov* [Hydrographic essay on the Moscow River and its tributaries], *Izvestija Moskovskoj Gorodskoj dумы*, 1879, 98 p. (In Russian)
- Atlas litologo-paleogeograficheskikh kart Russkoj platformy i yeyo geosinklinal'nogo obramlenija. [Atlas of lithological and paleogeographic maps of the Russian platform and its geosynclinal framework], Moscow, Izd-vo AN SSSR Publ., 1960–1961. (In Russian)
- Azhigirov A.A., Golosov V.N., Litvin L.F. [The role of relief as a factor in territorial differentiation of surface erosion in the European part of the USSR], *Ekzogennye processy i okruzhajushhaja sreda* [Exogenic processes and the environment], Moscow, Nauka Publ., 1990, p. 56–61. (In Russian)
- Belousov A.A., Makkaveev A.N., Kurbatova L.S. Vlijanie geologo-geomorfologicheskikh faktorov na vzniknovenie chrezvychajnyh situacij v central'nyh rajonah g. Moskvy [The influence of geological and geomorphological factors on the occurrence of emergency situations in the central districts of Moscow], *Geomorfologija*, 2000, no. 4, p. 40–45. (In Russian)
- Bitjukova V.R. Ekologicheskaja situacija v Moskve v konce XX v. [The environmental situation in Moscow at the end of the 20th century], *Izvestija RAN, Serija geograficheskaja*, 2003, no. 1, p. 80–89. (In Russian)
- Bitjukova V.R., Glushkova V.G., Ratanova M.P. *Ekologija Moskvy: proshloe, nastojashhee i budushhee* [Ecology of Moscow: past, present and future], Moscow, Nauka Publ., 1998, 154 p. (In Russian)
- Bolysov S.I., Borsuk O.A., Evteev A.O. [Stationary observations of gully erosion in the Moscow region], *Faktory i processy landshaftoobrazovaniya* [Factors and processes of landscape formation], MOIP Publ., 1985, p. 59–63. (In Russian)
- Bolysov S.I., Kharchenko S.V. Gorodskoj rel'ef kak faktor komfortnosti prozhivaniya naselenija. [Urban topography as a factor of comfortable living of the population], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 1, p. 21–28. (In Russian)
- Bolysov S.I., Nehodtsev V.A. [Potential geomorphological hazards of the New Moscow territory in connection with its active urbanization], *Geomorfologija gorodskih territorij: konstruktivnye idei* [Geomorphology of urban territories: constructive ideas], Moscow, Media-PRESS Publ., 2017, p. 47–56. (In Russian)
- Bolysov S.I., Nehodtsev V.A. Subrel'ef i subterral'nye processy kak faktor jekologo-geomorfologicheskij opasnosti v gorodah. [Subrelief and subterrestrial processes as a factor of ecological and geomorphological danger in cities], *Vestnik Rjazanskogo gos. Un-ta im. S.A. Esenina*, 2016, no. 1(50), p. 87–105. (In Russian)
- Bolysov S.I., Nehodtsev V.A., Kharchenko S.V. Podzemnyj rel'ef Moskvy [Underground landforms of Moscow], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 2, p. 59–73. (In Russian)
- Bolysov S.I., Rubina E.A. Sovremennye geomorfologicheskie processy na territorii Moskovskoj oblasti [Modern geomorphological processes in the Moscow region], *Geomorfologija*, 1994, no. 3, p. 42–48. (In Russian)
- Borzov A.A. *Kratkaja programma dlja opisanija rek i rechnyh dolin Moskovskoj gubernii* [A brief program for describing the rivers and river valleys of the Moscow province], Moscow, Obshh. izuchenija Moskovskoj gubernii Publ., 1926, 96 p. (In Russian)
- Borzov A.A. [Essay on the Geomorphology of the Moscow Province], *Mat. po prirode Moskovskoj oblasti* [Materials on the nature of the Moscow oblast], Tr. Obshh. izuch. Mosk. obl., 1930, vyp. 4, p. 5–25. (In Russian)
- Brongulev V.V., Shvarev S.V. [Geological, geomorphological and landscape characteristics of the territory of New Moscow: correlations, factors, typology], *Voprosy geografii: Sb. 140: Sovremennaja geomorfologija* [Modern Geomorphology], Mosk. filial GO SSSR, Russkoe geogr. ob-vo, Moscow, Izd. dom "Kodeks" Publ., 2015, p. 396–416. (In Russian)
- Chalov S.R., Platonov V.S., Moreido V.M. et al. Small urban river runoff response to 2020 and 2021 extreme rainfalls on the territory of Moscow, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2023, no. 2, p. 138–146.
- Chikishev A.G. *Problemy izuchenija karsta Russkoj ravniny* [Problems of studying the karst of the Russian Plain], Moscow, Izd-vo Mosk. Un-ta Publ., 1979, 304 p. (In Russian)
- Dan'shin B.M. Geologicheskoe stroenie doliny r. Moskvy ot Shelepihi do Perervy [Geological structure of the Moskva River valley from Shelepikha to Pererva], *Izv. MGRT*, 1933, t. 2, no. 1–2, p. 20–39. (In Russian)
- Dan'shin B.M. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopajemye Moskvy i okrestnostej* [Geological structure and mineral resources of Moscow and its environs], Moscow, Izd-vo MOIP Publ., 1947, 305 p. (In Russian)
- Dan'shin B.M. Geologicheskoe stroenie Leninskih gor v svyazi s nekotorymi voprosami stratigrafii otlozhenij melovoj sistemy i opolznevymi javlenijami na beregu r. Moskvy [Geological structure of the Leninsky Gory in connection with some questions of stratigraphy of deposits of the Cretaceous system and landslide phenomena on the banks of the Moscow River], *Izv. MGT*, 1937, t. 4, p. 3–23. (In Russian)
- Dan'shin B.M. *Geologicheskoe stroenie Moskovskoj oblasti* [Geological structure of the Moscow region], Tr. VIMSa i MGT, vyp. 105(18), Moscow, Leningrad, ONTI Publ., 1936, 58 p. (In Russian)
- Del'vig A.I. Moskovskie vodoprovody v 1859 g. [Moscow water supply systems in 1859], *Vesti promyshlennosti*, 1860, no. 8, p. 43–112. (In Russian)
- Dik N.E., Lebedev V.G., Solov'ev A.I., Spiridonov A.I. *Rel'ef Moskvy i Podmoskov'ja* [Relief of Moscow and

- Moscow region], Moscow, Gos. izd-vo geograficheskoy literatury Publ., 1949, 196 p. (In Russian)
- Ekologicheskaya geomorfologiya: novye napravleniya* [Ecological Geomorphology: New Directions], S.I. Bolysov (ed.), Moscow, Geograficheskij fakul'tet MGU Publ., 2015, 220 p. (In Russian)
- Geoekologiya Moskvy: metodologiya i metody ocenki sostojaniya gorodskoj sredy* [Geocology of Moscow: Methodology and methods for assessing the state of the urban environment], G.L. Koff, E.A. Lihacheva, D.A. Timofeev (eds.), Moscow, Media-PRESS Publ., 2006, 200 p. (In Russian)
- Geologicheskij atlas Moskvy (v 10 tomah s poyasnitel'noj zapiskoj)* [Geological atlas of Moscow (in 10 volumes with an explanatory note)], Masshtab 1 : 10 000, Moscow, GUP Mosgorgeotrest Publ., 2010. (In Russian)
- Geologiya SSSR, t. 4, Centr Evropejskoj chasti SSSR, ch. 1, Geologicheskoe opisanie (Moskovskaja, Vladimirskaja, Ivanovskaja, Kalininskaja, Kaluzhskaja, Kostromskaja, Rjazanskaja, Tul'skaja, Smolenskaja i Jaroslavskaja oblasti)* [Geology of the USSR, vol. 4, Center of the European part of the USSR, pt 1, Geological description (Moscow, Vladimir, Ivanovo, Kalinin, Kaluga, Kostroma, Ryazan, Tula, Smolensk and Yaroslavl regions)], Moscow, Nedra Publ., 1971, 742 p. (In Russian)
- Gvozdeckij N.A. *Problemy izuchenija karsta i praktika* [Problems of karst studies and practice], Moscow, Mysl' Publ., 1972, 392 p. (In Russian)
- Iksanova E.A. *Vklad dokajnozojskogo karbonatnogo karsta v razvitiye sovremennykh prosadochnykh protsessov v g. Moskve* [The contribution of pre-Cenozoic carbonate karst to the development of modern subsidence processes in Moscow]: Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, Faculty of Geography, MSU, 2005, 24 p. (In Russian)
- Iksanova E.A., Lukashov A.A. *Vklad dokajnozojskogo karbonatnogo karsta v razvitiye sovremennykh prosadochnykh protsessov v g. Moskve* [The contribution of pre-Cenozoic carbonate karst to the development of modern subsidence processes in Moscow], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geog.*, 2000, no. 6, p. 48–51. (In Russian)
- Istorija izuchenija, ispol'zovaniya i ohrany prirodnih resursov Moskvy i Moskovskogo regiona* [History of the study, use and protection of natural resources of Moscow and the Moscow region], A.V. Postnikov, V.K. Rahilin (eds.). Moscow, Janus-K Publ., 1997, 254 p. (In Russian)
- Karandeeva M.V. *Geomorfologiya Evropejskoj chasti SSSR* [Geomorphology of the European part of the USSR], Moscow, Izd-vo MGU Publ., 1957, 314 p. (In Russian)
- Karta tekhnogennykh otlozhenij territorii g. Moskvy m-ba 1:25 000* [Map of technogenic deposits on the territory of Moscow, scale 1 : 25 000], sost. I.K. Sipyagina, Centr-geologiya Publ., 1980. (In Russian)
- Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Popovicheva O.B. et al. *Zagryazneniye Moskovskogo megapolisa: monitoring khimicheskogo sostava mikrochastits v sisteme "atmosfera – sneg – dorozhnaya pyl – pochvy – poverkhnostnyye vody"* [Moscow megacity pollution: monitoring of chemical composition of microparticles in the "atmosphere – snow – road dust – soils – surface waters" system], *Meteorologiya i gidrologiya*, 2023, no. 5, p. 5–19.
- Kazakova M.M. [Main features of the relief of the Moscow region], *Trudy IGAN SSSR* [Proceedings of the IG AN SSSR], 1957, vyp. 71, p. 5–15. (In Russian)
- Kjuntcel' V.V. *Erozija beregov reki Moskvy i ee vlijanie na opolznevye process* [Erosion of the banks of the Moscow River and its impact on landslide processes], *Razvedka i ohrana nedr*, 1962, no. 3, p. 41–45. (In Russian)
- Kjuntcel' V.V. *O vozraste glubokih opolznej Moskvy i Podmoskov'ja, svjazannyh s jurskimi glinistymi otlozhenijami* [About the age of deep landslides in Moscow and the Moscow region associated with Jurassic clay deposits], *Bjull. Mosk. obshh. ispytatelej prirody. Otd. geol.*, vol. 40(3), 1965, p. 93–100. (In Russian)
- Kochev A.D., Chertkov L.G., Zajonc I.L., Afanas'ev V.Ju. *Metodika i rezul'taty kompleksnogo izuchenija karstovo-suffuzionnyh processov v g. Moskve* [Methodology and results of a comprehensive study of karst-suffusion processes in Moscow], *Inzhenernaja geologija*, 1989, no. 6, p. 77–94. (In Russian)
- Koff G.L., Kotlov V.F., Sheshenja N.L. *Rekomendacii po usovershenstvovaniju inzhenerno-geologicheskikh izyskanij dlja promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva na territorii g. Moskvy i lesoparkovoj zony v svjazi s ohranoi i racional'nyim ispol'zovaniem geologicheskoy sredy* [Recommendations for improving engineering and geological surveys for industrial and civil construction in the territory of Moscow and the forest park zone in connection with the protection and rational use of the geological environment], Moscow, Strojizyskanija Publ., 1989, 119 p. (In Russian)
- Koff G.L., Petrenko S.I., Lihacheva Je.A., Kotlov V.F. *Oчерки по геоэкологии и инженерной геологии Московского столичного региона* [Essays on Geocology and Engineering Geology of the Moscow Capital Region], N.A. Bogdanov, A.I. Sheko (eds.), Moscow, RJeFIA Publ., 1997, 185 p. (In Russian)
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. *Antropogennye vozdeystvija na stok reki Moskvy* [Anthropogenic impacts on the Moscow River runoff], Moscow, Maks Press Publ., 2015, 168 p. (In Russian)
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. *Runoff transformation of runoff under the effect of landscape changes in the Moskva River basin and in the territory of Moscow city*, *Water Resources*, 2015, vol. 42, no. 2, p. 133–143.
- Kotlov F.V. *Antropogennye izmenenija rel'efa (na primere g. Moskvy)* [Anthropogenic changes in relief (using Moscow as an example)], *Vopr. Geografii*, 1961, sb. 52, p. 134–150. (In Russian)
- Kotlov F.V. *Chetvertichnye karbonatnye porody v Moskve, ih genezis, formirovanie i inzhenerno-geologicheskaja harakteristika* [Quaternary carbonate rocks in Moscow, their genesis, formation and engineering-geological characteristics], *Tr. LGGP AN SSSR*, 1957, vol. 16, p. 30–42. (In Russian)
- Kotlov F.V. [Engineering and geological features of clay rocks of Moscow and Moscow region in connection with their genesis and conditions of formation], *Issledovanie i ispol'zovanie glin* [Investigation and use of clays], 1958, p. 319–336. (In Russian)
- Kotlov F.V. *Izmenenie podzemnyh vod territorii Moskvy pod vlijaniem dejatel'nosti cheloveka*. [Changes in underground waters of the Moscow territory under the influence of human activity], *Tr. LGGP AN SSSR*, 1961, vol. 36, p. 41–57. (In Russian)
- Kotlov F.V. *Izmenenie prirodnih uslovij territorii Moskvy pod vlijaniem dejatel'nosti cheloveka i ih inzhenerno-geologicheskoe znachenie* [Changes in natural conditions of the Moscow territory under the influence of human activity and their engineering and geological significance], Moscow, Izd-vo AN SSSR Publ., 1962, 263 p. (In Russian)

- Kotlov F.V. *Izmenenija geologicheskoy sredy pod vlijaniem dejatel'nosti cheloveka* [Changes in the geological environment under the influence of human activity], Moscow, Nedra Publ., 1978, 264 p. (In Russian)
- Kotlov F.V. [On the issue of the influence of human activity on the intensity of the karst process in the Moscow region], *Mat. komissii po izuch. geologii i geografii karsta* [Materials of the Commission on the study of karst geology and geography], sb. 1, 1960, p. 93–102. (In Russian)
- Kotlov F.V., Bratnina I.A., Sipjagina I.K. *Gorod i geologicheskie processy* [The city and geological processes], Moscow, Nauka Publ., 196, 226 p. (In Russian)
- Kotlov F.V., Medvedev O.P., Kiseliova Z.T., Kozhevnikova V.I. Antropogennaya aktivizatsiya karstovo-suffuzionnykh protsessov [Anthropogenic intensification of karst and suffusion processes], *Tr. PNIIS Gosstroya SSSR*, 1976, vyp. 43, p. 4–11.
- Lihacheva E.A. *Ekologicheskie hroniki Moskvy* [Ecological Chronicles of Moscow], Moscow, Media-Press Publ., 2007, 304 p. (In Russian)
- Lihacheva E.A., Anikina N.V., Makkaveev A.N. Transformacija vodosbornykh bassejnov centra Moskvy pod vlijaniem gradostroitel'stva [Drainage basins transformation of Moscow center influenced by town planning], *Izvestija RAN. Serija geograficheskaja*, 2021, vol. 85, no. 1, p. 136–145. (In Russian)
- Lihacheva E.A., Lokshin G.P., Prosuncova N.S., Timofeev D.A. Ekologo-geomorfologicheskaja ocenka territorii g. Moskvy [Ecological and geomorphological assessment of the territory of Moscow], *Geomorfologija*, 2000, no. 1, p. 48–55. (In Russian)
- Lihacheva E.A., Makkaveev A.N., Kurbatova L.S. Drevnie i sovremennye processy v doline reki Neglinnoj [Ancient and modern processes in the Neglinnaya River valley], *Geomorfologija*, 2001, no. 4, p. 58–66. (In Russian)
- Lihacheva E.A., Makkaveev A.N., Lokshin G.P. Etapy i stadii razvitiya vodosbornykh bassejnov mal'nykh rek na urbanizirovannykh territorijah (na primere g. Moskvy) [Stages of development of drained areas of small rivers on urbanized territories (on example of Moscow)], *Izvestija RAN, Ser. geogr.*, 2010b, no. 5, p. 103–111. (In Russian)
- Lihacheva E.A., Shvarev S.V. [Geomorphological problems of development of the territory of New Moscow], *Geoekologicheskie problemy Novoj Moskvy* [Geoecological problems of New Moscow], A.V. Koshkarev, E.A. Lihachjova, A.A. Tishkov (eds.), Moscow, Media-Press Publ., 2013, p. 83–87. (In Russian)
- Lihachjova E.A. Morfodinamika antropogennogo rel'efa gorodskoj territorii [Morphodynamics of anthropogenic relief of urban territory], *Problemy morfodinamiki*, 1983, p. 84–90. (In Russian)
- Lihachjova E.A. *O semi holmah Moskvy* [About the Seven Hills of Moscow], Moscow, Nauka Publ., 1990, 144 p. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Bahireva L.V., Stankovjanski M., Urbanek Ja. Ocenka gorodskoj morfolitosistemy (na primere Moskvy i Bratislavy) [Assessment of the urban morpholithosystem (on the example of Moscow and Bratislava)], *Geomorfologija*, 1991, no. 1, p. 30–42. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Kurbatova L.S., Mahorina E.I. Karta tehnogennykh otlozhenij i tehnogenno pogrebennoj rechnoj seti territorii g. Moskvy [Map of technogenic deposits and man-made buried river network of the Moscow territory], *Geomorfologija*, 1998, no. 1, p. 61–67. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Makkaveev A.N., Lokshin G.P. Konceptual'naja model' razvitiya mal'nykh urbanizirovannykh vodosbornykh bassejnov (na primere g. Moskvy) [Conceptual model for the evolution of small urbanized watersheds (on the example of Moscow)], *Izvestija RAN, Ser. geogr.*, 2010a, no. 4, p. 134–142. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Makkaveev A.N., Timofeev D.A. et al. Geomorfologija Moskvy po materialam karty "Geomorfologicheskie uslovija i inzhenerno-geologicheskie processy g. Moskvy" [Geomorphology of Moscow based on the map "Geomorphological conditions and engineering-geological processes of Moscow"], *Geomorfologija*, 1998, no. 3, p. 41–51. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Nasimovich Ju.A., Aleksandrovskij A.L. Landshaftno-geomorfologicheskie osobennosti Moskvy [Landscape and geomorphological features of Moscow], *Priroda*, 1997, no. 9, p. 4–19. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Nekrasova L.A. [Assessment of anthropogenic morphogenesis in the Moscow region], *Geoekologicheskie problemy Novoj Moskvy* [Geoecological problems of New Moscow], A.V. Koshkarev, E.A. Lihachjova, A.A. Tishkov (eds.), Moscow, Media-Press Publ., 2013, p. 76–82. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Shvarev S.V., Anikina N.V. Geomorfologicheskaja ocenka territorial'nykh resursov Novoj Moskvy [Geomorphological assessment of territorial resources of New Moscow], *Geomorfologija*, 2015, no. 1, p. 77–88. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Zeegofer Ju.O., Krasnov A.F. et al. [Experience of assessing changes in the relief of an urban area (using the city of Moscow as an example)], *Novejshe metody geomorfologicheskikh issledovanij* [Modern methods of geomorphologic investigations], Moscow, MFGO SSSR Publ., 1981, p. 72–84. (In Russian)
- Lihachjova E.A., Zeegofer Ju.O., Panjukova M.P. [Geomorphological analysis of the territory of the city of Moscow (assessment of the degree of easiness for construction)], *Rel'ef i hozjajstvennaja dejatel'nost'* [Relief and economic activities], 1982, Moscow, MFGO Publ., p. 112–122. (In Russian)
- Litvin L.F. *Geografija jerozii pochv sel'skohozjajstvennoj zony Rossii* [Geography of soil erosion in the agricultural zone of Russia], Moscow, NKC kademkniga Publ., 2002, 256 p. (In Russian)
- Lukashov A.A., Iksanova E.A. O vozmozhnosti razvitiya dokaynozoysskogo karbonatnogo tropicheskogo karsta v Nechernozemye [On the possibility of development of pre-Cenozoic carbonate tropical karst in the Non-Black Earth Region], *Geomorfologiya*, 2005, no. 2, p. 52–57 (In Russian)
- Makkaveev A.N., Anikina N.V., Voloboj A.A. [The structure of ecological-geomorphologic assessment on the example of construction of linear structures in Moscow], *Antropogennaja geomorfologija* [Anthropogenic geomorphology], Moscow, Media-PRESS Publ., 2013, p. 242–250. (In Russian)
- Makkaveev A.N., Fedorovich D.V. [Transformation of groundwater level fluctuations in urban areas (Moscow)], *Antropogennaja geomorfologija* [Anthropogenic geomorphology], Moscow, Media-PRESS Publ., 2013, p. 205–215. (In Russian)
- Maksimovich G.A. *Osnovy karstovedeniya, t. 1, Voprosy morfologii karsta, speleologii i gidrogeologii karsta* [Fundamentals of karstology, vol. 1, Issues of karst morphology, speleology and hydrogeology of karst], Perm', Permskoe kn. izd. Publ., 1963, 444 p. (In Russian)

- Maksimovich G.A. *Osnovy karstovedenija, t. 2, Voprosy gidrogeologii karsta, reki i ozera karstovyh rajonov, karst mela, gidrotermokarst* [Fundamentals of Karstology, vol. 2, Issues of Karst Hydrogeology, Rivers and Lakes of Karst Regions, Cretaceous Karst, Hydrothermokarst], Perm', Permskoe kn. izd. Publ., 1969, 524 p. (In Russian)
- Matveev N.P. [Karst of the Moskvoretsko-Oka interfluvium, *Vopr. izuch. karsta Russkoj ravniny* [Issues of studying karst of the Russian Plain], 1966, p. 86–102.
- Matveev N.P. [The state of floodplains of small rivers in the Moscow region, their use and protection], *Malye reki centra Russkoj ravniny, ih ispol'zovanie i ohrana* [Small rivers of the central Russian Plain, their use and protection], Moscow, MFGO Publ., 1988, p. 61–69.
- Matveev N.P. [The impact of human economic activity on the relief of the floodplains of the central Russian Plain], *Rel'ef i hozjajstvennaja dejatel'nost'* [Relief and economic activities], 1981, Moscow, MFGO Publ., p. 51–60.
- Moskovskij lednikovyy pokrov Vostochnoj Evropy [Moscow Ice Sheet of Eastern Europe], G.I. Goreckij et al. (eds.), Moscow, Nauka Publ., 1982, 237 p.
- Moskva. *Geologija i gorod* [Moscow. Geology and the City], V.I. Osipov, O.P. Medvedev (eds.), Moscow, Moskovskie učebniki i Kartolitografija Publ., 1997, 398 p.
- Moskvitin A.I. *Opornye razrezy plejstocena Russkoj ravniny* [Key sections of the Pleistocene of the Russian Plain], Moscow, Izd-vo AN SSSR Publ., 1976, 240 p.
- Moskvitin A.I. Sledy pjati oledenienij i mezhljedniovij v Moskve [Signs of five glaciations and interglacials in Moscow], *Bjull. Mosk. obshh. ispytatelej prirody. Otd. geol.*, 1964, vol. 34, vyp. 5, p. 101–111.
- Nasimovich Ju.A. *Annotirovannyj spisok nazvanij rek, ruch'jov i ovragov Moskvy* [Annotated list of names of rivers, streams and ravines of Moscow], Moscow, VNIi ohrany prirody Minprirody RF Publ., 1996, 114 p. (In Russian)
- Nehodtsev V.A. [Geocological hazards of the urban sub-relief], *Speleologija i spelestologija* [Speleology and speleotology], sb. materialov konferencii, 2016, no. 7, p. 315–321. (In Russian)
- Nehodtsev V.A. [Review of travertine formation in underground rivers of Moscow], *Speleologija i spelestologija* [Speleology and speleotology], sb. materialov konferencii, 2019, no. 10, p. 296–303. (In Russian)
- Nehodtsev V.A. Posledstviya tehnogennogo pogrebenija rek v gorodah (na primere Moskvy) [Consequences of man-made burial of rivers in cities (using Moscow as an example)], *Izvestija RAN, Serija geograficheskaja*, 2021, no. 2, p. 238–247. (In Russian)
- Nehodtsev V.A., Garshin D.I. Golocenovyj travertinogenez i tufovyje peshhery u Dulebino (Moskovskaja oblast') [Holocene travertine formation and tuff caves near Dulebino (Moscow region)], *Speleologija i spelestologija*, 2021, no. 2, p. 12–19. (In Russian)
- Nehodtsev V.A., Garshin D.I., Pozhidaev A.M. Stroenie i istorija razvitiya peshhery Podmoskovnoj [The structure and the evolution of the Podmoskovnaya cave], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 5, p. 109–123. (In Russian)
- Nikitin S.N. Kamennougol'nye otlozhenija Podmoskovnogo kraja i artezijskie vody pod Moskvou [Carboniferous deposits of the Moscow region and artesian waters near Moscow], *Tr. Geol. Kom.*, 1890, t. 5, no. 5, p. 1–182. (In Russian)
- Nizovtsev V.A., Kochurov B.I., Erman N.M. et al. *Landshaftno-ecologicheskie issledovaniya Moskvy dlya obosnovaniya territorialnogo planirovaniya goroda* [Landscape and ecological studies of Moscow for justification of territorial planning of the city], Moscow, Prometey Publ., 2020, 342 p.
- Orlov S.S. *Gruntovaja voda Moskvy i ee kladbishh. Sravnitel'naja ocenka gruntovoj vody v kanalizirovannyh i v nekanalizirovannyh vladenijah* [Groundwater of Moscow and its cemeteries. Comparative assessment of groundwater in sewered and non-sewered properties.], Moscow, Izd. gi-gienich. in-ta Mosk. un-ta Publ., 1905, 217 p. (In Russian)
- Osipov V.I. Krupnomasshtabnoe geologicheskoe kartirovanie territorii g. Moskvy [Large-scale geological mapping of the Moscow area], *Geojekologija, Inzhenernaja geologija, Gidrogeologija, Geokriologija*, 2011, no. 3, p. 195–197. (In Russian)
- Osipov V.I., Burova V.N., Zaikanov V.G. Karta krupnomasshtabnogo (detal'nogo) inzhenerno-geologicheskogo rajonirovaniya territorii g. Moskvy [Map of large-scale (detailed) engineering-geological zoning of the territory of Moscow], *Geojekologija*, 2011, no. 4, p. 306–318. (In Russian)
- Panin A.V. *Flyuvial'noe rel'efoobrazovanie na ravninah umernennogo pojasa Evrazii v pozdnem plejstocene – golocene* [Fluvial relief formation on the plains of the temperate zone of Eurasia in the late Pleistocene – Holocene], diss. ... d-ra geogr. nauk, Moscow, 2015, 457 p. (In Russian)
- Panin A., Fuzaina Yu., Karevskaya I., Sheremetskaya E. Mid-Holocene gullying indicating extreme hydroclimatic events in the center of the Russian Plain, *Geographia Polonica*, 2011, no. 84, Spec. iss., pt 1, p. 95–115.
- Parackaja M.N. [Manifestation of creep of Jurassic clay rocks in the conditions of Moscow], *Sovr. metody issled. v gidrogeologii i inzh. geologii* [Modern methods of investigations in hydrogeology and engineering geology], 1970, p. 128–132. (In Russian)
- Parackaja M.N., Pustyl'nik S.I. [Evaluation of the effectiveness of anti-landslide measures in landslide areas of Moscow], *Prirodnye resursy Moskvy i Podmoskov'ja* [Natural resources of Moscow and the Moscow region], 1974, p. 35–47. (In Russian)
- Parfenov S.I. [Karst-suffusion phenomena on the Khodynka uplift in Moscow], *Novye metody izuchenija inzhenerno-geologicheskikh uslovij* [New methods of studying engineering-geological conditions], Moscow, Nauka Publ., 1981, p. 34–38. (In Russian)
- Parfenov S.I., Kutateladze I.R. [On the surface manifestations of karst in Moscow], *Tr. VNII gidrogeologii i inzh. geologii* [Proceedings of VNIi of Hydrogeology and Engineering Geology], vol. 108, 1976, p. 70–73. (In Russian)
- Pavlov A.P. *Geologicheskij ocherk okrestnostej Moskvy: posobie dlja jekskursij i kraevedov, izd. Pjatoe*, [Geological outline of the environs of Moscow: a manual for excursions and local historians, fifth edition], Moscow, Izd-vo MOIP Publ., 1946, 86 p. (In Russian)
- Petrenko S.I., Lihachjova E.A. Nekotorye rezul'taty izuchenija paleodolin na territorii g. Moskvy [Some results of the study of paleovalleys in the territory of Moscow], *Vestn. MGU, Ser. 4, Geologija*, 1979, no. 4, p. 96–99. (In Russian)
- Pustyl'nik S.I. [About the role of landslides in the denudation of river valley slopes in Moscow and the Moscow region], *Prirodnye resursy Moskvy i Podmoskov'ja* [Natural resources of Moscow and the Moscow region], 1974, p. 9–11. (In Russian)
- Rychagov G.I., Sudakova N.G., Antonov S.I. O lednikovoj stratigrafii i paleogeografii centra Vostochno-Evropejskoj

- ravniny [About Ice-Age stratigraphy and paleogeography of the central part of the East European Plain], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2012, no. 1, p. 36–44. (In Russian)
- Ryzhova A.A., Ryzhov A.B., Baldaeva O.A. et al. *Sozdanie banka dannyh po rezul'tatam biostratigraficheskikh, arheologicheskikh, geohronometricheskikh, termoluminescentnyh i paleomagnitnyh issledovanij opornykh razrezov chetvertichnykh obrazovanij na territorii g. Moskvy i Moskovskoj oblasti* [Creation of a data bank based on the results of biostratigraphic, archaeological, geochronometric, thermoluminescent and paleomagnetic studies of reference sections of Quaternary formations within the territory of Moscow and the Moscow region], *Otchet za 2000–2001 gg.*, Moscow, Mineral'nye resursy Publ., 2001, 65 p. (In Russian)
- Schurovskij G.E. Kamenolomnija g. Alekseevyh v Moskve [Alekseev's quarry in Moscow], *Vesti Estestvennykh nauk*, 1860, no. 32, p. 1019–1028. (In Russian)
- Shik S.M. Dolednikovaja gidrograficheskaja set' jugo-zapadnogo Podmoskov'ja i ee razvitie v plejstocene [Preglacial hydrographic network of the southwestern Moscow region and its development in the Pleistocene], *Mat. soveshh. po izucheniju chetvertichnogo perioda*, 1961, vol. 2, p. 30–42. (In Russian)
- Shorygina L.D. Osnovnye etapy formirovaniya rel'efa Moskovskoj oblasti [The main stages of formation of the relief of the Moscow region], *Tr. In ta geol. Nauk, Ser. geol.*, 1947, vol. 88, no. 26, p. 49–60. (In Russian)
- Shvarev S.V., Lihachjova Je.A., Anikina N.V., Nekrasova L.A. Organizovannost' antropogenno-geomorfologicheskikh sistem Novoj Moskvy: sintez jekspertnyh i statisticheskikh ocenok dlja regional'nykh resursnykh issledovanij [Organization of anthropogenic-geomorphological systems of New Moscow: synthesis of expert and statistical assessments for regional resource studies], *Geomorfologija*, 2017, no. 2, p. 25–37. (In Russian)
- Snobkova A.I. [About some engineering-geological patterns of development of subsidence of the territory of Moscow caused by lowering of the level of underground waters and construction of the subway], *Inzhenerno-geologicheskie processy i javlenija, ih znachenie dlja stroitel'stva* [Engineering-geological processes and phenomena, their importance for construction], 1963, p. 15–26. (In Russian)
- Sokolov N.N. Osobennosti rel'efa Moskovskoj oblasti [Features of the relief of the Moscow region], *Sb. rabot muzeja pochvovedenija im. V.V. Dokuchaeva*, 1954, vyp. 1, p. 160–230. (In Russian)
- Spiridonov A.I. K voprosu o proishozhdenii pokrovnykh suglinkov Podmoskov'ja [On the origin of the cover loams of the Moscow region], *Vestn. MGU, Ser. 5, Geogr.*, 1948, no. 4, p. 87–96. (In Russian)
- Spiridonov A.I. Nekotorye osobennosti drevnego lednikovogo pokrova na Russkoj ravnine. [Some features of the ancient ice sheet on the Russian Plain], *Vestn. MGU, Ser. 5, Geogr.*, 1964, no. 6, p. 24–30. (In Russian)
- Spiridonov A.I., Vvedenskaja A.I., Nemcova G.M., Sudakova N.G. Kompleksnoe paleogeograficheskoe i geomorfologicheskoe rajonirovanie Moskovskoj oblasti [Complex paleogeographic and geomorphological zoning of the Moscow region], *Geomorfologija*, 1994, no. 3, p. 32–42. (In Russian)
- Sudakova N.G., Antonov S.I. Regional'nye osobennosti geomorfologicheskogo stroenija drevnelednikovoj oblasti v centre Russkoj ravniny [Regional features of the geomorphological structure of the ancient glacial region in the center of the Russian Plain], *Geomorfologija*, 2021, vol. 52, no. 1, p. 100–108. (In Russian)
- Sudakova N.G., Antonov S.I., Vvedenskaja A.I. et al. *Rekonstrukcija paleogeograficheskikh sobytij srednego neoplejstocena Centra Russkoj ravniny* [Reconstruction of paleogeographic events of the Middle Neopleistocene of the Central Russian Plain], Moscow, Izd. Geograficheskogo f-ta MGU Publ., 2008, 167 p. (In Russian)
- Sudakova N.G., Antonov S.I., Vvedenskaja A.I. et al. Paleogeograficheskoe rajonirovanie Russkoj ravniny kak osnova geojekologicheskoi ocenki ustojchivosti geosistem [Paleogeographic zoning of the East European Plain as a basis for the geoeological assessment of geosystems' stability], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 4, p. 13–21. (In Russian)
- Sudakova N.G., Vvedenskaja A.I., Nemcova G.M. Ustojchivost' litologo-paleogeograficheskoi osnovy prirodnoj sredy (na primere Moskovskogo regiona), [Stability of the lithological and paleogeographic basis of the natural environment (on the example of the Moscow region)], *Izvestija RAN, Serija geograficheskaja*, 1997, no. 1, p. 43–53. (In Russian)
- Turmanina V.I. *Vzaimodejstvie rastitel'nosti s opolznevymi processami sklonov, na primere Moskvy i Podmoskov'ja* [Interaction of vegetation with landslide processes of slopes, on the example of Moscow and the Moscow region], avtoref. diss. ... kand. geogr. Nauk, Moscow, 1964, 24 p. (In Russian)
- Vvedenskaja A.I., Nemcova G.M., Sudakova N.G. [Sections of the Moscow territory], *Rekonstrukcija paleogeograficheskikh sobytij srednego neoplejstocena centra Russkoj ravniny* [Reconstruction of paleogeographic events of the middle Neopleistocene of the central Russian Plain], Moscow, 2008, p. 88–97. (In Russian)
- Yablokov V.S. *Istorija izuchenija kamennougol'nykh otlozhenij i uglej Podmoskovnogo bassejna (1722–1966 gg.)* [History of the study of Carboniferous period deposits and coals of the Moscow Basin (1722–1966)], Moscow, Nauka Publ., 1967, 260 p. (In Russian)
- Zabelin I. *Istorija goroda Moskvy* [The history of Moscow], Moscow, Tipolitografija t-va I.N. Kushnerev i Ko Publ., 1905, 688 p. (In Russian)
- Zakon goroda Moskvy ot 11 aprelja 2012 goda no. 10 "O vnesenii izmenenij v Zakon goroda Moskvy ot 5 ijunja 1995 goda N 13-47 'O territorial'nom delenii goroda Moskvy'" [Law of the City of Moscow dated April 11, 2012 no. 10 "On Amendments to the Law of the City of Moscow dated July 5, 1995 No. 13-47 'On the Territorial Division of the City of Moscow'"]. 2012. (In Russian).
- Zimin N.P. *Opisanie sooruzhenij novogo Mytishhinskogo vodoprovoda, stroitel'nyj sezon 1890–1893 gg. s atlasom* [Description of the structures of the new Mytishchi water supply system, construction season 1890–1893 with an atlas], Moscow, 1905, 343 p. (In Russian)
- Zimin N.P. *Opisanie sooruzhenij novogo Mytishhinskogo vodoprovoda, stroitel'nyj period 1897–1906 gg.* [Description of the structures of the new Mytishchi water supply system, construction period 1897–1906], Moscow, Mosgorduma Publ., 1908, 143 p. (In Russian)

Received 10.12.2024

Revised 15.01.2025

Accepted 21.01.2025

ОСЕННЯЯ МИГРАЦИЯ ВОРОБЬЕОБРАЗНЫХ (PASSERIFORMES) НА ПЛАТО ПУТОРАНА

А.А. Романов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кафедра биогеографии,
проф., д-р биол. наук; e-mail: putorana05@mail.ru

Проанализированы эколого-географическая дифференциация и динамика осенней миграции воробьеобразных на плато Путорана. Обследованы восемь пунктов в западной и центрально-осевой частях региона. Использован метод маршрутного учета. Все зарегистрированные виды ($n = 42$) летят по узкой прибрежно-опушечной полосе вдоль берегов крупных рек или озер в южном, юго-западном и западном направлениях. Плотность населения птиц 239–643, в среднем ($n = 8$) – 440 ос./км². Максимальна она на юге Путорана, меньше в срединной части региона и минимальна на севере плато. В пунктах многодневных наблюдений в дни наиболее интенсивного пролета плотность населения составляла 420–796, в среднем ($n = 2$) – 608 ос./км². У большинства видов средняя продолжительность всего осеннего пролета 20–26 сут., основного – 7–12 сут. Конфигурация осеннего пролета представляет собой комбинацию четырех волн с четырьмя хорошо выраженными максимумами. Наиболее мощные всплески миграционной активности сопряжены с понижением температуры воздуха. Основная часть особей разных видов одного рода или семейства обычно пролетает в разные дни. Среди мигрантов численно доминируют пеночка-таловка, чечетка, овсянка-крошка.

Ключевые слова: динамика населения, волны пролета, видовое разнообразие, обилие

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.6

ВВЕДЕНИЕ

Эколого-географическая дифференциация, структура и динамика населения воробьеобразных (Passeriformes) в осенний миграционный период на плато Путорана до сих пор изучены неудовлетворительно. Разрозненные данные о пролете птиц рассредоточены по немногочисленным монографиям и статьям [Кречмар, 1966; Морозов, 1984; Романов, 1996, 2003; Рупасов, Журавлев, 2006]. Целенаправленно исследованы лишь сезонные миграции водно-околоводных видов [Кречмар, 1963; Романов, 2023]. Часть сведений о миграциях более широкого спектра экологических и таксономических групп птиц в азиатской части России слишком генерализована [Остапенко, 1992; Савченко и др., 2011]. Анализ пространственно-временных параметров осенней миграции воробьеобразных на плато Путорана не проводили. Между тем общеизвестна актуальность определения обилия мигрантов, сроков и динамики интенсивности пролета, закономерностей формирования скоплений представителей этой группы птиц в местах миграционных остановок [Рыжановский, 1997, 2005; Носков, Рымкевич, 2008; Чернецов, 2010; Абрамова, Гайдук, 2013; Ковалевский, 2015].

Цель работы – выявление пространственно-временной организации населения воробьеобразных плато Путорана в период осенних кочевок и миграции. Основные задачи – установление широтной

дифференциации основных параметров населения мигрирующих птиц (видовое богатство, плотность, доминирующие по обилию виды); определение и сравнительный анализ сроков, продолжительности, динамики, направлений осенней миграции в разных частях региона; выявление суточной активности птиц и интенсивности миграции в различных биотопах и метеоусловиях; сравнительный анализ динамики осеннего пролета у родственных видов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в пределах горно-таежного пояса плато Путорана, занимающего нижние части горных склонов и днища межгорных долин. Здесь распространены северо-таежные леса из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), местами с примесью березы (*Betula pendula* Roth) и ели (*Picea obovata* Ledeb.). Сомкнутость крон в пойменно-устьевых лесах – 0,4–0,6, в разреженных лесах на плоских приозерных и речных террасах – 0,2–0,3. В 1988–2004 гг. учеты птиц проведены в восьми пунктах, в двух из которых прослежена ежедневная динамика обилия видов (табл. 1). Протяженность пеших учетных маршрутов, проведенных на высотах 64–470 м над уровнем моря по методике Ю.С. Равкина [1967], составила 995 км: 408 км – в период послегнездовых кочевок, 587 км – в миграционный период. Названия рек и озер приведены

по топографической карте масштабом 1:500 000. Авифауны сравнивались по коэффициенту фаунистической общности Серенсена [Песенко, 1982], население птиц – по коэффициенту сходства населения [Наумов, 1964]. Доминантами считали виды, доля которых в общей плотности населения более 10%, субдоминантами – 1–10%. Многочисленными

считались виды с обилием более 10 ос./км², обычными – 1–9 ос./км². В номенклатуре мы следовали Е.А. Коблику, В.Ю. Архипову [2014]. В качестве сопутствующей информации использованы опросные данные и опубликованные сведения других исследователей [Кречмар, 1963, 1966; Морозов, 1984; Рупасов, Журавлев, 2006].

Таблица 1

Пункты изучения осенней миграции воробьеобразных на плато Путорана

Пункт исследований	Период наблюдений	Ежедневные наблюдения на модельном маршруте в течение всего пролета	Часть плато Путорана	Высота местности, м над ур. м.
Р. Аян, устье р. Хукэлчэ*	20.07.1989–14.09.1989	–	С	150
Оз. Лама, устье р. Микчангда [Рупасов, Журавлев, 2006]	15.07.2004–29.08.2004	–	С	52
Оз. Капчук, устье р. Никита-Юрях [Морозов, 1984]	Май – сентябрь 1980	–	С	64
Зал. Капчуг оз. Аян*	20.07.1988–25.08.1988	–	Ср	470
Оз. Собачье, восток оз. Глубокое*	16.07.1999–05.09.1999	+	Ср	69
Оз. Кета, исток р. Рыбная [Кречмар, 1966, 1963]	Май – октябрь 1958, 1959, 1964	–	Ср	85
Оз. Кутарамакан*	20.07.1990–26.08.1990	–	Ср	117
Оз. Дюпкун Курейский*	20.07.2001–17.08.2001	–	Ср	109
Оз. Някшингда*	20.07.1991–29.08.1991	+	Ю	272
Р. Северная*	22.07.2003–10.08.2003	–	Ю	168

Примечание: * – данные автора. Применены сокращения: С – северная; Ср – срединная; Ю – южная.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фауна воробьеобразных в осенний миграционный период насчитывает 42 вида, что составляет 57% всего видового состава этой группы птиц ($n = 74$) плато Путорана. Все зарегистрированные виды, за исключением кедровки (*Nucifraga caryocatactes* (L.)), встречаются не только в период послегнездовых кочевок и пролета, но и гнездятся в регионе исследований. Визуально проследить пролет удалось у 18 видов (табл. 2).

Видовой состав воробьеобразных осеннего миграционного периода плато Путорана соответствует зональным и ландшафтным особенностям рассматриваемой части Северной Азии, а его ядро сохраняется на всем протяжении 400 км от р. Аян на севере до р. Северная на юго-западе. Установлено, что в обследованных пунктах ($n = 8$) плато Путорана локальные авифауны насчитывают 19–31, в среднем 25 видов (см. табл. 2). В пункте многодневных наблюдений у оз. Някшингда в 1991 г. за сутки регистрировали 6–16, в среднем ($n = 26$) – 12 видов, у оз. Собачье в 1999 г. – 4–20, в среднем ($n = 25$) – 13 видов.

Коэффициенты общности локальных фаун воробьеобразных обследованных пунктов Путорана ($n = 8$) – 65–88%. В подавляющем большинстве случаев (20 из 28) значение превышает 80%. Показатель представленности фауны воробьеобразных осеннего миграционного периода плато Путорана ($n = 42$) в отдельных его пунктах ($n = 8$) – 44–76%. Почти повсеместно ($n = 7$) он выше или близок к 50%.

Одновременно во всех или почти всех районах ($n = 7–8$) на осеннем пролете встречены 16 видов, составляющих 38% местной фауны воробьеобразных миграционного периода: берингийская желтая (*Motacilla tschutschensis* J.F. Gmelin), горная (*Motacilla cinerea* Tunstall) и белая (*Motacilla alba* L.) трясогузки, кукушка (*Perisoreus infaustus* (L.)), ворон (*Corvus corax* L.), сибирская завирушка (*Prunella montanella* (Pallas)), пеночка-таловка (*Phylloscopus borealis* (J.H. Blasius)), пеночка-зарничка (*Phylloscopus inornatus* (Blyth)), малая мухоловка (*Ficedula parva* (Bechstein)), варакушка (*Luscinia svecica* (L.)), бурый дрозд (*Turdus eunomus* Temminck), сероголовая гаичка (*Parus cinctus* Boddaert), вьюрок (*Fringilla montifringilla* L.), че-

четка (*Acanthis flammea* (L.)), белокрылый клест (*Loxia leucoptera* J.F. Gmelin), овсянка-крошка (*Ocyris pusillus* (Pallas)). Лишь в 1–3 пунктах плато Путорана, обследованных в период осеннего пролета, зарегистрировано 17 видов птиц: береговушка (*Riparia riparia* (L.)), краснозобый конек (*Anthus cervinus* (Pallas)), камышевка-барсучок (*Acrocephalus schoenobaenus* (L.)), пеночка-теньковка (*Phylloscopus collybita* (Vieillot)), серая мухоловка (*Muscicapa striata* (Pallas)), азиатский черноголовый чекан (*Saxicola taurus* (Pallas)), кедровка, сибирская чечевица (*Carpodacus roseus* (Pallas)),

белошапочная овсянка (*Emberiza leucocephalos* S.G. Gmelin), лапландский подорожник (*Calcarius lapponicus* (L.)) и др. (см. табл. 2). Вероятно, кочевки и миграции указанных видов не ограничиваются единичными пунктами на плато Путорана, где они зарегистрированы в разные годы, и могут случаться и в других районах обсуждаемого региона или сопредельных частях севера Среднесибирского плоскогорья. Например, кочующие кедровки были повсеместно обычны 1–10 августа 2003 г. в среднем и нижнем течении р. Северной у юго-западных предгорий плато Путорана.

Таблица 2

Население воробьеобразных плато Путорана в период осенней миграции (ос./км²)

Вид	Оз. Лама, устье р. Микчангда, [Рупасов, Журавлев, 2006]	Р. Аян, устье р. Хукэлчэ*	Зал. Капчуг оз. Аян*	Оз. Кутарамакан*	Оз. Собачье, восток оз. Глубокое*	Оз. Дюпкун Курейский*	Оз. Някшингда*	Р. Северная*	В среднем по региону*
Береговушка	–	–	–	–	2,0	–	0,1	5,0	0,9
Воронок**	0,5	1,0	–	–	0,4	–	2,0	7,0	1,4
Краснозобый конек	0,2	–	–	–	–	–	–	–	0,02
Гольцовый конек**	2,5	–	–	–	6,0	–	7,0	3,0	2,3
Берингийская желтая трясогузка**	13,0	2,0	4,0	8,0	4,0	–	22,0	52,0	7,6
Желтоголовая трясогузка**	–	–	–	–	35,0	39,0	6,0	–	10,0
Горная трясогузка**	37,0	6,0	0,2	9,8	19,0	18,0	20,0	18,0	16,0
Белая трясогузка**	9,0	4,0	8,0	6,0	32,0	17,0	56,0	39,0	21,4
Сибирский жулан	–	–	1,2	1,6	–	–	8,4	1,0	1,5
Серый сорокопут	1,5	–	2,0	–	1,6	–	1,0	0,5	0,8
Кукша	0,7	8,0	10,0	5,0	6,4	2,0	0,6	8,0	5,1
Кедровка	–	–	–	–	–	+	–	6,0	0,7
Черная ворона	–	–	0,05	–	–	–	–	–	0,01
Серая ворона	0,1	–	–	–	0,1	–	–	1,0	0,1
Ворон	0,8	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,01	0,1	0,2
Свиристель	6,0	1,0	9,0	–	4,3	0,5	–	17,0	4,7
Сибирская завирушка**	9,3	6,0	1,0	28,0	42,0	40,0	32,0	12,0	21,3
Камышевка-барсучок	–	–	–	–	0,1	–	–	–	0,01
Пеночка-весничка**	7,0	8,0	–	0,6	8,0	–	18,0	41,0	10,3
Пеночка-теньковка	–	0,1	–	–	–	–	1,2	1,0	0,3
Пеночка-таловка**	18,0	64,0	24,0	152,0	136,0	79,0	102,0	57,0	80,0
Пеночка-зарничка**	17,0	20,0	10,0	54,0	22,0	6,0	36,0	51,0	28,0
Малая мухоловка**	1,4	1,2	1,0	6,6	14,0	17,0	4,8	16,0	7,7
Серая мухоловка	–	–	–	–	–	–	3,4	–	0,4
Азиатский черноголовый чекан	–	–	–	–	–	–	5,0	0,5	0,7

Окончание таблицы 2

Вид	Оз. Лама, устье р. Микчангда, [Рупасов, Журавлев, 2006]	Р. Аян, устье р. Хукэлчэ*	Зал. Капчуг оз. Аян*	Оз. Кутарамакан*	Оз. Собацье, восток оз. Глубокое*	Оз. Дюпкун Курейский*	Оз. Някшингда*	Р. Северная*	В среднем по региону*
Каменка	0,6	—	2,0	—	0,6	—	—	1,0	0,5
Варакушка**	2,3	2,0	—	1,4	3,2	23,0	28,0	2,0	7,7
Синехвостка	—	0,1	—	0,5	7,6	0,5	—	—	1,1
Бурый дрозд**	38,0	11,0	31,0	52,0	25,0	26,0	29,0	14,0	29,2
Белобровик	1,3	—	—	—	0,2	—	—	3,0	0,6
Сероголовая гаичка**	6,0	20,0	4,0	86,0	19,0	6,0	38,0	5,0	24,0
Поползень	—	—	0,1	—	—	—	0,1	3,0	0,4
Вьюрок**	12,0	1,2	2,0	10,0	15,0	20,0	30,0	36,0	15,8
Чечетка**	34,0	3,0	198,0	46,0	26,0	36,0	22,0	79,0	56,5
Чечевица	—	—	—	—	—	—	4,4	3,0	0,9
Сибирская чечевица	—	—	—	—	—	—	0,8	—	0,1
Щур	—	1,2	2,7	—	—	—	—	—	0,5
Белокрылый клест	—	0,4	46,0	6,6	2,0	1,0	2,0	47,0	13,1
Белошапочная овсянка	—	—	—	0,1	—	—	0,1	—	0,02
Полярная овсянка**	—	—	—	5,0	18,0	—	5,8	—	3,6
Овсянка-крошка**	22,0	79,0	68,0	34,0	49,0	36,0	158,0	65,0	64,9
Лапландский подорожник	—	0,4	—	—	—	—	—	—	0,05
Всего	240	239	424	514	499	367	643	594	440

Примечание: * — данные автора; ** — виды, у которых был хорошо выражен пролет (активное направленное перемещение); + — пребывание подтверждается опросными данными.

В течение интервала времени, в целом охватывающего гнездовой, послегнездовой переходный и осенний миграционный периоды, обилие птиц изменяется по четырем вариантам. Постепенно сокращалось обилие пеночки-зарнички (в 5 из 7 сезонов), варакушки (в 3 из 7 сезонов), вьюрка (в 5 из 7 сезонов). Постепенно увеличивалось обилие берингийской желтой трясогузки (в 4 из 7 сезонов), сероголовой гаички (во всех 7 сезонах), сибирской завирушки (в 4 из 7 сезонов), пеночки-таловки (в 2 из 7 сезонов). При сходных уровнях в гнездовой и миграционный периоды обилие существенно возрастало в послегнездовой переходный период у горной трясогузки (в 5 из 7 сезонов), белой трясогузки (в 4 из 7 сезонов), пеночки-веснички (*Phylloscopus trochilus* (L.)) (в 2 из 7 сезонов), бурого дрозда (в 4 из 7 сезонов), овсянки-крошки (в 5 из 7 сезонов). Обилие в послегнездовой переходный период было значительно ниже, чем в гнездовой и миграционный периоды, у сибирской завирушки (в 2 из 7

сезонов), пеночки-веснички (в 2 из 7 сезонов), пеночки-таловки (в 2 из 7 сезонов), чечетки (в 4 из 7 сезонов). Иногда обилие некоторых видов в течение гнездового, переходного и миграционного периодов оставалось почти неизменным, например, у пеночки-таловки и малой мухоловки в котловине оз. Аян в 1988 г., чечевицы (*Carpodacus erythrinus* (Pallas)) и полярной овсянки (*Schoeniclus pallasi* (Cabanis)) в котловине оз. Някшингда в 1991 г., пеночки-веснички и белобровика (*Turdus iliacus* L.) в котловине оз. Собацьего в 1999 г.

Плотность населения воробьеобразных в осенний миграционный период 239–643, в среднем ($n = 8$) – 440 ос./км² (см. табл. 2). В пунктах многодневных наблюдений в дни наиболее интенсивного пролета плотность населения составляла 420–796, в среднем ($n = 2$) – 608 ос./км², а в дни, когда пролет затухал, не превышала 98–122, в среднем ($n = 2$) – 110 ос./км².

Уровень сходства населения птиц обследованных пунктов ($n = 8$) Путорана – 20–55%, в большинстве

случаев (20 из 28) выше 30%. Максимально сходное население птиц (55%) формируется в экологически сходных условиях прибрежно-опушечных местообитаний запада региона: у озер Собачье и Дюпкун Курейский.

В период осеннего пролета в населении воробьеобразных обследованных пунктов ($n = 8$) среди доминантов или наиболее многочисленных субдоминантов 17 видов, в т. ч. сибирская завирушка, пеночка-таловка, пеночка-зарничка, бурый дрозд, сероголовая гаичка, чечетка, овсянка-крошка – одновременно в 5–8 пунктах, берингийская желтая, желтоголовая, горная, белая трясогузки, пеночка-весничка, малая мухоловка, варакушка, выюрок, белокрылый клест, полярная овсянка – в 1–3 пунктах. По усредненным данным в миграционный период численно преобладают пеночка-таловка, чечетка, овсянка-крошка.

В осенний миграционный период выявлена дифференциация населения воробьеобразных птиц в меридиональном направлении. Плотность населения сокращается с юга на север почти втрое: от максимальных показателей в котловине оз. Някшингда и долине р. Северной на юге плато (594–643 ос./км²), к более низким – в срединной его части у озер Аян, Кутарамакан, Собачье, Глубокое, Дюпкун Курейский (367–514 ос./км²), и вплоть до минимальных показателей на севере региона в долинах рек Аян и Микчангда (239–240 ос./км²). Сокращение плотности населения птиц в северном направлении соответствует постепенному понижению бонитета лиственных лесов в этом же направлении. Участки парковых лиственных лесов в долинах рек Аян и Микчангда местами больше напоминают предтундровые редколесья, чем северную тайгу.

Повышенная плотность населения у оз. Някшингда и р. Северной обусловлена высоким разнообразием экологических условий и весьма широким спектром местообитаний для самых разных видов. Здесь мозаично чередуются опушки разнообразных лесных биотопов, которые в качестве кормовых местообитаний привлекают намного больше мигрирующих птиц, чем однообразные ландшафты лиственничной тайги. Для полноценных северотаежных березово-елово-лиственничных лесов котловины оз. Някшингда и долины р. Северной характерно сочетание самых различных показателей высоты деревьев, сомкнутости крон, обилия и густоты подлеска. Здесь широко представлены высокоствольные леса с хорошо развитым подлеском, имеющие несколько более «южный» облик, чем северотаежные леса в целом, а также – различные кустарниковые, луговые и болотные биотопы. Весьма важно также, что многие активно перемещающиеся воробьеобразные находят оптимальные кормовые и защитные местообитания на широких отлогих галечно-песчаных берегах оз. Някшингда и р. Северной, местами задернованных, покрытых мхами (*Bryophyta*), хвощом (*Equisetum*), осокой (*Carex*), разнотравьем, густыми зарослями низких и средневысотных ивняков (*Salix*).

В течение достаточно продолжительного периода всего пролета воробьеобразных обычно всегда прослеживается заметно более скоротечный период основного пролета, когда пролетает около 70–80% особей. Основная часть пролета короче общей продолжительности всего пролета втрое у воронка, желтоголовой и горной трясогузок, варакушки, вдвое – у сибирской завирушки, пеночки-веснички, пеночки-таловки, бурого дрозда, выюрка (табл. 3).

Таблица 3

Параметры осенней миграции воробьеобразных на плато Путорана

Вид	Сроки всего пролета	Сроки основного пролета	Даты основных волн пролета	Длительность всего пролета, (min–max, в среднем), сут.	Длительность основного пролета (min–max, в среднем), сут.	Даты регистрации последних особей
Воронка	10–24.08.2004	12–14.08.2004	08.08.1991, 29.08.1999	15	3	12.08.1989, 24.08.2004
Гольцовый конек	15–25.08.1990, 15–31.08.1999	–	18.08.1990, 16–21, 28.08.1999	11–17, в среднем ($n = 2$) 14	–	01.09.1989
Берингийская желтая трясогузка	08–17.08.1988, 04–25.08.1990, 07–29.08.1991	07–20.08.1990	25.08.1989, 18, 23.08.1999, 29.08.2004	10–23, в среднем ($n = 3$) 18	14	31.08.1959 [Кречмар, 1963], 28.08.1989

Продолжение таблицы 3

Вид	Сроки всего пролета	Сроки основного пролета	Даты основных волн пролета	Длительность всего пролета, в (min-max, в среднем), сут.	Длительность основного пролета (min-max, в среднем), сут.	Даты регистрации последних особей
Желтоголовая трясогузка	08–29.08.1991, 08.08.1999–01.09.1999, 24.07.2001–13.08.2001	16–22.08.1991, 08–18.08.1999, 07–11.08.2001	21.08.1991, 08–10, 16.08.1999	21–25, в среднем (n = 3) 23	7–11, в среднем (n = 3) 8	01.09.1999
Горная трясогузка	22.08.1989–11.09.1989, 03–18.08.1990, 31.07.1991–29.08.1991, 08–29.08.1999, 04–12.08.2001, 07–29.08.2004	03–05.08.1990, 31.07.1991– 06.08.1991, 08–17.08.1999	25–26.08.1989, 3, 5, 29.08.1991, 12.08.1999, 12.08.2001, 16–17.08.2004	9–30, в среднем (n = 6) 20	3–10, в среднем (n = 3) 7	01.09.1980 [Морозов, 1984], 11.09.1989
Белая трясогузка	06–20.08.1988, 19.08.1989–12.09.1989, 01–26.08.1990, 04–29.08.1991, 19–29.08.2004	–	16–17.08.1988, 25–26.08.1989, 10, 14, 18–19.08.1990, 24, 28.08.2004	11–26, в среднем (n = 5) 20	–	14.09.1959 [Кречмар, 1963], 12.09.1989
Сибирская завирушка	18.08.1999–11.09.1989, 01–21.08.1990, 08–29.08.1991, 08.08.1999–02.09.1999, 01–17.08.2001, 03–28.08.2004	21–29.08.1991, 10–25.08.1999, 07–12.08.2001, 20–28.08.2004	27.08.1989 и 10.09.1989, 06.08.1990, 28–29.08.1991, 10, 14, 18, 31.08.1999, 24, 28.08.2004	16–26, в среднем (n = 6) 22	6–16, в среднем (n = 4) 10	11.09.1989
Пеночка-весничка	03–11.09.1989, 29.07.1990–20.08.1990, 11–29.08.1991, 26.07.1999–02.09.1999, 05–28.08.2004	29.07.1990– 06.08.1990, 17–29.08.1991	14.08.1991, 25.08.1999	8–39, в среднем (n = 5) 23	9–13, в среднем (n = 2) 11	11.09.1989
Пеночка-таловка	23.08.1989–03.09.1989, 07–20.08.1990, 05–29.08.1991, 03–31.08.1999, 01–17.08.2001, 06–29.08.2004	25–27.08.1989, 10–12.08.1990, 05–17.08.1991, 03–23.08.1999, 01–10.08.2001, 06–22.08.2004	5, 9, 14, 16.08.1991, 5, 12, 14, 16.08.1999	12–28, в среднем (n = 6) 20	3–21, в среднем (n = 6) 11	04.09.1959 [Кречмар, 1963], 03.09.1989
Пеночка-зарничка	01–06.08.1988, 22.08.1989–12.09.1989, 01–25.08.1990, 29.07.1991–29.08.1991, 26.07.1999–28.08.1999, 23.07.2001–15.08.2001, 31.07.2004–29.08.2004	29.07.1991– 01.08.1991 и 21– 29.08.1991, 26.07.1999– 16.08.1999, 23.07.2001– 01.08.2001, 08–20.08.2004	25–27.08.1989 и 12.09.1989, 10, 14, 21.08.1990, 31.07.1991 и 25.08.1991, 05.08.1999, 24.07.2001, 15.08.2004	6–34, в среднем (n = 7) 25	10–22, в среднем (n = 4) 14	01.09.1980 [Морозов, 1984], 12.09.1989
Малая мухоловка	07–29.08.1991, 05–23.08.1999, 06–14.08.2001	–	10, 17.08.1999, 12.08.2001, 29.08.2004	9–23, в среднем (n = 3) 17	–	29.08.1991, 29.08.2004
Варакушка	08–19.08.1990, 29.07.1991–29.08.1991, 26.07.1999–30.08.1999, 03–15.08.2001	29.07.1991– 05.08.1991, 26.07.1999– 03.08.1999	18–19.08.1990, 29.07.1991 и 05.08.1991	12–36, в среднем (n = 4) 23	8–9, в среднем (n = 2) 8	31.08.1959 [Кречмар, 1963], 11.09.1989

Окончание таблицы 3

Вид	Сроки всего пролета	Сроки основного пролета	Даты основных волн пролета	Длительность всего пролета, (min–max, в среднем), сут.	Длительность основного пролета (min–max, в среднем), сут.	Даты регистрации последних особей
Бурый дрозд	03–25.08.1990, 29.07.1991–29.08.1991, 26.07.1999–05.09.1999, 30.07.2001–17.08.2001, 14–29.08.2004	26.07.1999– 17.08.1999, 19–22.08.2004	13–14.08.1990 и 18–19.08.1990, 29, 31.07.1991 и 5, 9, 11, 21, 29.08.1991, 14.08.1999, 1, 7, 12.08.2001	16–42, в среднем ($n = 5$) 26	4–23, в среднем ($n = 2$) 13	01.10.1959 [Кречмар, 1963], 05.09.1999
Сероголовая гаичка	06–29.08.1991, 26.07.1999–01.09.1999	16–29.08.1991, 12–17.08.1999	26.08.1991, 12, 16.08.1999	24–38, в среднем ($n = 2$) 31	7–14, в среднем ($n = 2$) 10	–
Вьюрок	01–12.08.1989, 01–21.08.1990, 30.07.1991–29.08.1991, 26.07.1999–01.09.1999, 26.07.2001–15.08.2001 02–28.08.2004	14–21.08.1990, 31.07.1991– 10.08.1991, 26.07.1999– 14.08.1999, 13–23.08.2004	18–19.08.1990, 31.07.1991, 29.07.2001, 15, 19.08.2004	12–38, в среднем ($n = 6$) 25	8–20, в среднем ($n = 4$) 12	29.08.1959 [Кречмар, 1963], 01.09.1980 [Морозов, 1984], 01.09.1999
Чечетка	27.07.1988–25.08.1988, 06–14.08.1990, 29.07.1991–29.08.1991, 26.07.1999–01.09.1999, 01–29.08.2004	27.08.1989– 02.09.1989, 29.07.1991– 07.08.1991, 15–20.08.2004	26.07.1999 и 28.08.1999, 15, 17.08.2004	9–38, в среднем ($n = 5$) 28	7–10, в среднем ($n = 3$) 8	02.09.1989
Полярная овсянка	29.07.1990–19.08.1990, 04–28.08.1991, 14.08.1999–01.09.1999	21–28.08.1991, 17–26.08.1999	26.08.1991, 23.08.1999	19–25, в среднем ($n = 3$) 22	8–10, в среднем ($n = 2$) 9	01.09.1999
Овсянка-крошка	29.07.1991–29.08.1991, 26.07.1999–28.08.1999, 20.07.2001–17.08.2001, 30.07.2004–29.08.2004	31.07.1991– 14.08.1991, 26.07.1999– 11.08.1999, 20.07.2001– 02.08.2001, 25–28.08.2004	05, 29.08.1991, 03.08.1999, 27.08.2004	29–34, в среднем ($n = 4$) 31	4–17, в среднем ($n = 4$) 12	04.09.1959 [Кречмар, 1963], 03.09.1989

Средняя продолжительность всего пролета у различных видов воробьеобразных, у которых визуально прослежен пролет ($n = 18$), составляет 14–31 сутки, у большинства ($n = 11$) – 20–26 суток. Средняя продолжительность основного пролета у различных видов воробьеобразных, у которых выражен основной пролет ($n = 15$), составляет 3–14 суток, у большинства ($n = 11$) – 7–12 суток (см. табл. 3).

Хронологически как весь, так и основной пролет воробьеобразных в разные годы проходит в единый интервал времени: с конца июля по первую декаду сентября. Наиболее ранние даты начала как всего, так и основного пролета – 20 июля (у желтоголовой трясогузки и овсянки-крошки). Наиболее поздние даты завершения всего пролета – 12 сентября (у белой трясогузки), основного – 2 сентября (у чечетки) (см. табл. 3).

Наиболее длительный период осеннего пролета у сероголовой гаички и овсянки-крошки. Весь видимый пролет сероголовой гаички на плато Путорана проходит с 26 июля по 1 сентября и обычно занимает 24–38 дней, в среднем ($n = 2$) – 31 сутки. Весь видимый пролет овсянки-крошки на плато Путорана проходит с 20 июля по 29 августа и обычно занимает 29–34 дня, в среднем ($n = 4$) – 31 сутки. Наиболее короткий период осеннего пролета у воронки (*Delichon urbicum* (L.)), гольцового конька (*Anthus rubescens* (Tunstall)), малой мухоловки. Весь видимый пролет воронки на плато Путорана проходит с 10 по 24 августа и обычно занимает 15 суток. Весь видимый пролет гольцового конька на плато Путорана проходит с 15 по 31 августа и обычно занимает 11–17 дней, в среднем ($n = 2$) – 14 суток. Весь видимый пролет малой мухоловки на плато Путора-

на проходит с 5 по 29 августа и обычно занимает 9–23 дня, в среднем ($n = 3$) – 17 суток (см. табл. 3).

Наиболее длительный период основной части осеннего пролета прослежен у берингийской желтой трясогузки и пеночки-зарнички. Основной пролет берингийской желтой трясогузки на плато Путорана проходит с 7 по 20 августа и занимает 14 суток. Основной пролет пеночки-зарнички проходит здесь с 23 июля по 29 августа и занимает 10–22 дня, в среднем ($n = 4$) – 14 суток. Наиболее короткий период основной части осеннего пролета у воронки и горной трясогузки. Основной пролет воронки на плато Путорана проходит с 12 по 14 августа и обычно занимает 3 суток, а у горной трясогузки проходит с 31 июля по 17 августа и обычно занимает 3–10 дней, в среднем ($n = 3$) – 7 суток (см. табл. 3).

Для абсолютного большинства перелетных воробьеобразных осенняя миграция завершается в конце августа. При этом «отставшие» от основного миграционного потока редкие стаи или одиночные особи ряда видов формируют своеобразный постмиграционный шлейф. Они окончательно завершают осенний пролет. Например, в 1989 г. последние особи лапландского подорожника зарегистрированы 6 сентября, краснозобого конька, горной и белой трясогузок, сибирской завирушки, пеночки-веснички, пеночки-зарнички, варакушки – 10–12 сентября, спустя несколько дней после завершения видимого пролета. В 1999 г. последние особи серого сорокопута отмечены 2 сентября. Аналогичные данные приводит А.В. Кречмар [1963], отмечавший в 1959 г. последних белых трясогузок 14 сентября, бурых дроздов 1 октября (см. табл. 3).

В некоторых пунктах на осеннем пролете встречены виды, не отмечавшиеся здесь в гнездовой период. Например, у оз. Кета 20 сентября 1959 г. отмечен серый сорокопут (*Lanius excubitor* L.) [Кречмар, 1963], у оз. Аян 1 августа 1988 г. – поползень (*Sitta europaea* L.), в долине р. Аян 1 сентября 1989 г. – синехвостка (*Tarsiger cyanurus* (Pallas)) и 8 сентября 1989 г. – пеночка-теньковка, у оз. Кутарамакан 18 августа 1990 г. – белошапочная овсянка, у оз. Дюпкун Курейский в сентябре 1995–2000 гг. – кедровка [Романов, 1996, 2003].

В период осеннего миграционного периода все воробьеобразные обычно концентрируются в прибрежно-опушечной полосе у крупных рек или озер, где кормятся на лесных опушках, в приопушечных зарослях кустарников (ивняк, ольховник (*Alnus*)), на песчано-илистых или задернованных галечных берегах, покрытых разнотравно-злаково-осоковыми луговинами. Изредка осенняя миграция идет широким фронтом в глубине лесов на значительном удалении от прибрежных опушек у горной трясо-

гузки, бурого дрозда, сибирской завирушки, чечетки, овсянки-крошки.

В большинстве обследованных пунктов ($n = 7$) абсолютное большинство особей всех мигрантов (54–82, в среднем – 74%) делают остановки и кормятся в устьях рек и ручьев, где высокоствольные леса имеют густой подлесок, а их опушки изобилуют кустарниковыми зарослями и разнотравными луговинами. В разреженных лиственничниках на внеустьевых участках плоских приозерных и надпойменных террас отмечается 18–46, в среднем ($n = 6$) – 26% особей всех мигрантов. Птицы в этих местообитаниях надолго не задерживаются и покидают их очень быстро.

В период осеннего миграционного периода воробьеобразные перемещаются вдоль берегов крупных рек или озер, в зависимости от ориентации долины (или котловины) – в южном, юго-западном, западном направлениях. В том числе подобным образом был ориентирован пролет у гольцового конька в 1990 г., воронки в 1991 г., берингийской желтой и белой трясогузок, сибирской завирушки, вьюрка в 1990, 1991, 2004 гг., желтоголовой трясогузки (*Motacilla citreola* Pallas) в 1999 и 2001 гг., горной трясогузки, свиристеля (*Bombycilla garrulus* (L.)), пеночки-веснички, сибирской завирушки, бурого дрозда в 2004 г., чечетки в 1988, 1990 гг. Известны лишь единичные случаи «реверсивного» направления перемещения небольшой части особей отдельных видов: чечетки на восток вдоль залива Капчуг оз. Аян в 1988 г., сибирской завирушки вдоль р. Аян на северо-восток в 1989 г., желтоголовой трясогузки на север вдоль оз. Дюпкун Курейский в 2001 г., 30% пролетных берингийских желтых трясогузок на восток вдоль оз. Лама в 2004 г.

Воробьеобразные отличаются максимальной миграционной активностью в определенное время суток. В дни без существенных осадков интенсивное перемещение большинства видов обычно идет лишь с 08 до 12 часов. Утренний пролет был особенно четко выражен, например, у берингийской желтой трясогузки в 1989 г., пеночки-зарнички, варакушки, вьюрка, полярной овсянки в 1990 г., сибирской завирушки в 1990 и 2001 гг., желтоголовой трясогузки в 2001 г. Плотность миграционного потока в часы максимальной подвижности птиц невелика: в пятидесятиметровой полосе прибрежного леса с одной точки отмечается не более 80 перемещающихся особей различных видов за 1 час наблюдений.

В период осенней миграции подавляющее большинство особей всех мигрирующих видов объединены в стаи. Моновидовые стаи численностью 3–10 особей формируют пеночка-весничка, малая мухоловка, варакушка, полярная овсянка, стаи чис-

ленностью 3–30 особей – воронок, гольцовый конек, берингийская желтая, желтоголовая и горная трясогузки, сибирская завирушка, пеночка-таловка, пеночка-зарничка, вьюрок, чечетка. В пунктах остановок самые крупные моновидовые объединения численностью 40–50 особей образуют белая трясогузка и бурый дрозд. Поливидовые смешанные миграционные скопления в прибрежно-опушечных местообитаниях иногда образуют пеночка-весничка, пеночка-таловка, пеночка-зарничка или берингийская желтая, горная и белая трясогузки. К группам пеночек изредка присоединяется сероголовая гаичка, а к группам трясогузок – варакушка. Каменка (*Oenanthe oenanthe* (L.)) и белошапочная овсянка иногда присоединяются к стаям гольцового конька, сибирской завирушки, овсянки-крошки, а белобровик к стаям бурого дрозда. Изредка при поисках корма в пунктах остановок объединяются в смешанные поливидовые скопления гольцовый конек и варакушка. Овсянка-крошка иногда образует смешанные кормовые скопления с белой трясогузкой, сибирской завирушкой, варакушкой.

Выявлен высокий уровень пространственно-временной динамики обилия мигрирующих видов. Это подтверждено учетами на ежедневно повторявшихся маршрутах (длиной 5 км) по прибрежно-опушечным местообитаниям у озер Някшингда в 1991 г. и Собачье в 1999 г. С 29 июля по 29 августа 1991 г. обилие сибирской завирушки, пеночки-таловки, варакушки, бурого дрозда, вьюрка, овсянки-крошки в разные дни варьировало в пределах соответственно 6–110, 2–108, 1–70, 4–103, 3–132, 8–235 ос./км². С 26 июля по 2 сентября 1999 г. обилие желтоголовой трясогузки, пеночки-веснички, пеночки-таловки, бурого дрозда, полярной овсянки, овсянки-крошки изменялось в диапазоне соответственно 5–46, 4–51, 6–122, 2–128, 2–68, 5–96 ос./км².

Конфигурация графика многодневной динамики всего населения птиц в двух пунктах, где проведены ежедневные наблюдения, в целом представляла собой комбинацию четырех волн с четырьмя хорошо выраженными максимумами. Наиболее мощные всплески общей миграционной активности всех кочующих и пролетных птиц проявились 31 июля, 5, 21, 25 августа 1991 г. и 5, 17, 23, 31 августа 1999 г. Все значимые всплески общей миграционной активности в 1991 и 1999 гг. совпали с понижением температуры воздуха с 10–13 до 3–5°C. У гольцового конька активизация полета по всему высотному профилю стимулируется интенсивными снегопадами в гольцовом поясе, которые к концу августа приобретают регулярный характер. В целом большинство общих пролетных максимумов пришлось на дни без осадков, когда было либо полное безветрие, либо дули западные, юго-западные и южные ветры.

В разные годы основные волны полета у каждого из большинства видов ($n = 15$), как правило, приурочены к разным календарным датам. Приуроченность полета основной массы особей к определенным временным отрезкам миграционного периода удалось установить лишь для пяти видов. На начальном его этапе (до 15 августа) почти во всех обследованных пунктах ($n = 7$) плато Путорана пролетает абсолютное большинство гольцового конька, вьюрка и овсянки-крошки, а на заключительном (после 15 августа) – полярной овсянки и сибирской завирушки.

Основная масса особей разных видов одного рода или семейства пролетает, как правило, в разные дни: имеет место несовпадение максимумов и минимумов полета у близкородственных видов. Обычно пролетные максимумы и минимумы этих видов прямо противоположны, и тогда это несовпадение выражено весьма отчетливо. Также часто отмечены небольшие смещения максимумов во времени, когда основной пролет одного вида, как бы запаздывая, несколько смещен во времени, и обычно идет на 1–2 дня позднее, чем у родственного ему вида. Совпадение дней максимального полета у родственных видов – явление редкое, а его полная синхронизация, когда совпадают дата и уровень численности летающих особей отмечалась лишь в единичных случаях.

ВЫВОДЫ

Осенний пролет воробьеобразных отчетливо выражен на всей территории плато Путорана. Мигранты экологически связаны с озерно-речной системой региона – интразональным компонентом северотажных ландшафтов. Птицы перемещаются по узкой прибрежно-опушечной полосе (шириной 20–30 м) вдоль берегов крупных рек или озер, в зависимости от ориентации долины (или котловины) – в южном, юго-западном или западном направлениях.

Локальные фауны осеннего миграционного периода насчитывают 19–31, в среднем 25 видов. Показатель представленности фауны воробьеобразных осеннего миграционного периода плато Путорана в отдельных его пунктах – 44–76%, и он почти повсеместно выше или близок к 50%.

Фауна воробьеобразных осеннего миграционного периода плато Путорана соответствует зональным и ландшафтным особенностям рассматриваемой части Северной Азии, а ее ядро в целом сохраняется на всем пространстве от р. Аян на севере до р. Северной на юго-западе.

Средняя продолжительность всего осеннего полета у различных видов воробьеобразных составляет 14–31 день, у большинства – 20–26 суток, средняя продолжительность основного полета –

3–14 дней, у большинства – 7–12 суток. Активные послегнездовые кочевки, плавно переходящие в пролет, начинаются в третьей декаде июля. Завершается осенняя миграция у абсолютного большинства перелетных воробьеобразных в конце августа. Подавляющее большинство особей почти всех мигрирующих видов объединены в моновидовые или поливидовые стаи.

Выявлена существенная амплитуда ежедневных показателей обилия видов, обусловленная высокой подвижностью значительной части всего населения птиц в период активных послегнездовых кочевок и осеннего пролета.

Конфигурация хода осеннего пролета в двух пунктах, где в течении августа проведены ежедневные наблюдения, представляет собой комбинацию четырех волн с четырьмя хорошо выраженными максимумами. Наиболее мощные всплески миграционной активности оказались сопряжены с понижением температуры воздуха, отсутствием атмосферных осадков, полным безветрием, либо западным, юго-западным и южным ветрами. Максимальная миграционная активность многих видов воробьеобразных отмечается лишь с 8 до 12 часов.

Синхронизации волн максимального пролета у родственных видов не происходит. Установлено несовпадение максимумов и минимумов пролета у родственных видов: основная масса особей разных

видов одного рода или одного семейства пролетает в разные дни.

Плотность населения воробьеобразных плато Путорана в осенний миграционный период 239–643, в среднем – 440 ос./км². В пунктах многодневных наблюдений в дни наиболее интенсивного пролета плотность населения составляла 420–796, в среднем – 608 ос./км². В обследованных пунктах плато Путорана уровень сходства населения птиц (20–55%) ниже, чем уровень сходства локальных фаун (65–88%).

Установлено, что в период осеннего пролета плотность населения воробьеобразных максимальна в котловине оз. Някшингда и долине р. Северной на юге плато Путорана. Эти показатели меньше у озер Аян, Кутарамакан, Собачье, Глубокое, Дюпкун Курейский в срединной части региона и минимальны в долинах рек Аян и Микчангда на севере плато.

В период осеннего пролета в населении воробьеобразных в числе доминантов или наиболее многочисленных субдоминантов 17 видов: берингийская желтая, желтоголовая, горная, белая трясогузка, сибирская завирушка, пеночка-весничка, пеночка-таловка, пеночка-зарничка, малая мухоловка, варакушка, бурый дрозд, сероголовая гаичка, вьюрок, белокрылый клест, чечетка, полярная овсянка, овсянка-крошка.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамова И.В., Гайдук В.Е. Биоритмы миграций воробьинообразных птиц (Passeriformes) в юго-западной Беларуси // Вестник Брестского государственного университета. Серия 5. Химия. Биология. Науки о Земле. 2013. № 2. С. 5–13.
- Коблик Е.А., Архипов В.Ю. Фауна птиц стран Северной Евразии в границах бывшего СССР: списки видов // Зоологические исследования. 2014. № 14. 171 с.
- Ковалевский А.В. Миграция воробьинообразных птиц Кузнецкой котловины в летне-осенний период: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Томск: Национальный исследовательский Томский гос. ун-т, 2015. 24 с.
- Кречмар А.В. О сезонных явлениях в жизни птиц района Норильских озер // Орнитология. 1963. Вып. 6. С. 37–48.
- Кречмар А.В. Птицы Западного Таймыра // Биология птиц. М.; Л., 1966. С. 185–312.
- Морозов В.В. Орнитофауна окрестностей оз. Капчук, плато Путорана // Орнитология. 1984. Вып. 19. С. 30–40.
- Наумов Р.Л. Птицы в очагах клещевого энцефалита Красноярского края: автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: Институт медицинской паразитологии и тропической медицины им. Е.И. Марциновского, 1964. 19 с.
- Носков Г.А., Рымкевич Т.А. Миграционная активность в годовом цикле воробьиных птиц и формы ее проявления // Зоологический журнал. 2008. Т. 87. № 4. С. 446–457.
- Остапенко В.А. Эколого-географические закономерности сезонного размещения птиц Восточной Азии: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М.: Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А.Н. Северцова РАН, 1992. 48 с.
- Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
- Равкин Ю.С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск, 1967. С. 66–75.
- Романов А.А. Птицы плато Путорана. М.: Тип. Россельхозакадемии, 1996. 297 с.
- Романов А.А. Орнитофауна озерных котловин запада плато Путорана. М., 2003. 144 с.
- Романов А.А. Весенняя миграция водно-околоводных птиц на плато Путорана // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 5. С. 79–88.

- Рупасов С.В., Журавлев Е.А. Орнитофауна долины р. Микчангда и прилегающих территорий // Изучение и охрана животных сообществ плато Путорана. М., 2006. С. 122–154.
- Рыжановский В.Н. Экология послегнездового периода жизни воробьиных птиц Субарктики. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 1997. 288 с.
- Рыжановский В.Н. Сроки и продолжительность сезонных явлений годового цикла жизни воробьиных Субарктики на примере птиц Нижнего Приобья // Сибирский экологический журнал. 2005. № 3. С. 475–487.
- Савченко А.П., Карпова Н.В., Евтихова А.Н. О формировании миграционных путей птиц Центральной Сибири // Вестник Красноярского гос. аграрного ун-та. Экология. 2011. № 10. С. 112–118.
- Чернецов Н.С. Миграция воробьиных птиц: остановки и полет. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 173 с.

Поступила в редакцию 14.11.2024

После доработки 10.12.2024

Принята к публикации 21.01.2025

AUTUMN MIGRATION OF PASSERINE (PASSERIFORMES) ON THE PUTORANA PLATEAU

A.A. Romanov

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography,
Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: putorana05@mail.ru*

The eco-geographical differentiation and dynamics of autumn migration of passerines of the Putorana Plateau are analyzed. Eight points in the western and central-axial parts of the region were surveyed using the route census method. All registered species ($n = 42$) fly along a narrow coastal-edge strip along the banks of large rivers or lakes in the southern, southwestern and western directions. The population density of birds is 239 to 643, on average ($n = 8$) – 440 individuals/km². It is maximum in the south of the area, less in the middle part of the region, and minimum in the north of the plateau. During the most intensive flight, the population density at the points of multi-day observations was 420 to 796, on average ($n = 2$) – 608 individuals/km². For most species, the average duration of the entire autumn flight is 20 to 26 days, with the main one lasting for 7 to 12 days. The autumn migration configuration is a combination of four waves with four well-defined maxima. The most pronounced rises in migration activity are associated with a decrease in air temperature. The majority of individuals of different species of the same genus or family usually fly on different days. The population is dominated numerically by the Arctic Warbler, the Common Redpoll, and the Little Bunting.

Keywords: population dynamics, waves of flight, species diversity, abundance

Acknowledgements. The study was carried out under the Program of the Interdisciplinary Research and Education School of the Lomonosov Moscow State University Future of the Planet and the Global Environmental Changes

REFERENCES

- Abramova I.V., Gajduk V.E. Bioritmy migracij vorob'inoobraznyh ptic (Passeriformes) v jugo-zapadnoj Belarusi [Biorhythms of Passeriformes migrations in southwestern Belarus], *Vesnik Brestskogo gos. Un-ta, Ser. 5, Himija. Biologija. Nauki o Zemle*, 2013, no. 2., p. 5–13. (In Russian)
- Chernecov N.S. *Migracija vorob'inyh ptic: ostanovki i polet* [Migration of passerine birds: stops and flights], Moscow, Tovarišhestvo nauchnyh izdanij KMK Publ., 2010, 173 p. (In Russian)
- Koblik E.A., Arkhipov V.Yu. *Fauna ptits stran Severnoi Evrazii v granitsakh byvshego SSSR: spiski vidov* [The fauna of birds in the countries of Northern Eurasia within the borders of the former USSR: lists of species], Moscow, Tovarišchestvo nauchnyh izdanij KMK Publ., 2014, 171 p. (In Russian)
- Kovalevskij A.V. *Migracija vorob'inoobraznyh ptic Kuzneckoj kotloviny v letne-osennij period*: Abstract Ph.D. in Biology [Migration of passerine birds of the Kuznetsk Basin in the summer-autumn period], Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij gos. Un-t Publ., 2015, 24 p. (In Russian)
- Krechmar A.V. [Birds of Western Taimyr], *Biologiya ptic* [Birds Biology], Moscow, Leningrad, 1966, p. 185–312. (In Russian)
- Krechmar A.V. O sezonnyh javlenijah v zhizni ptic rajona Noril'skih ozer [On seasonal phenomena in the life of birds in the Norilsk lakes region], *Ornitologija*, iss. 6, Moscow, 1963, p. 37–48. (In Russian)
- Morozov V.V. Ornitofauna okrestnostej oz. Kapchuk, plato Putorana [The avifauna in the vicinity of the Kapchuk Lake, the Putorana Plateau], *Ornitologija*, iss. 19, 1984, p. 30–40. (In Russian)

- Naumov R.L. *Ptitsy v ochagakh kleshchevogo entsefalita Krasnoyarskogo kraja*: Abstract Ph.D. in Biology [Birds in the centers of tick-borne encephalitis of the Krasnoyarsk Territory], Moscow, E.I. Martsinovskiy In-te of Medical Parasitology and Tropical Medicine Publ., 1964, 19 p. (In Russian)
- Noskov G.A., Rymkevich T.A. Migracionnaya aktivnost' v godovom cikle vorob'inyh ptic i formy ee projavleniya [Migration activity in the annual cycle of passerine birds and its manifestations], *Zoologicheskij zhurnal*, 2008, vol. 87, no. 4, p. 446–457. (In Russian)
- Ostapenko V.A. *Ekologo-geograficheskie zakonomernosti sezonnogo razmeshheniya ptic Vostochnoj Azii*: Abstract D.Sc. in Biology [Ecological and geographical patterns of seasonal distribution of birds in Eastern Asia], Moscow, Rossijskaja akademija nauk, Institut evoljucionnoj morfologii i ekologii zhivotnyh Publ., 1992, 48 p. (In Russian)
- Pesenko Yu.A. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* [Principles and methods of quantitative analysis in faunal studies], Moscow, Nauka Publ., 1982, 287 p. (In Russian)
- Ravkin Ju.S. [Towards a methodology for accounting birds in forest landscapes], *Priroda ochagov kleshhevogo entsefalita na Altae*, Novosibirsk, 1967, p. 66–75. (In Russian)
- Romanov A.A. *Ornitofauna ozernyh kotlovin zapada plato Putorana* [Avifauna of the lake basins of the western Putorana Plateau], Moscow, 2003, 144 p. (In Russian)
- Romanov A.A. *Pticy plato Putorana* [Birds of the Putorana Plateau], Moscow, tip. Rossel'hozakademii Publ., 1996, 297 p. (In Russian)
- Romanov A.A. Vesennjaja migracija vodno-okolovodnyh ptic na plato Putorana [Spring migration of waterfowl on the Putorana Plateau], *Lomonosov Geography Journal*, 2023, vol. 78, no. 5, p. 79–88. (In Russian)
- Rupasov S.V., Zhuravlev E.A. [Avifauna of the Mikchangda River Valley and Adjacent Territories], *Izuchenie i ohrana zhivotnyh soobshhestv plato Putorana* [Study and conservation of animal cenoses on the Putorana Plateau], Sb. nauchnyh trudov, Moscow, 2006, p. 122–154. (In Russian)
- Ryzhanovskij V.N. *Ekologija poslegnezhdovogo perioda zhizni vorob'inyh ptic Subarktiki* [Ecology of the post-nesting period of passerine birds of the Subarctic], Ekaterinburg, Izd-vo Ural'skogo un-ta Publ., 1997, 288 p. (In Russian)
- Ryzhanovskij V.N. Sroki i prodolzhitel'nost' sezonnyh javlenij godovogo cikla zhizni vorob'inyh Subarktiki na primere ptic Nizhnego Priob'ja [Timing and duration of seasonal phenomena of the annual life cycle of passerines in the Subarctic region using the example of birds from the Lower Ob region], *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2005, no. 3, p. 475–487. (In Russian)
- Savchenko A.P., Karpova N.V., Evtihova A.N. O formirovanii migracionnyh putej ptic Central'noj Sibiri [On the formation of migration routes of birds in Central Siberia], *Vestnik Krasnojarskogo gos. agrarnogo un-ta, Ekologija*, Krasnojarsk, 2011, no. 10, p. 112–118. (In Russian)

Received 14.11.2024

Revised 10.12.2024

Accepted 21.01.2025

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПЕРИОДА С ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

И.И. Леонов¹, Н.Н. Соколихина², В.И. Ильин³

^{1–3} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет*

¹ *Кафедра метеорологии и климатологии, мл. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: leonov@geogr.msu.ru*

² *Кафедра метеорологии и климатологии, доц., канд. геогр. наук; e-mail: natalia.sokolikhina@gmail.com*

³ *Кафедра океанологии, студент; e-mail: vsevolod_ilin@mail.ru*

В статье рассматриваются характеристики гололедно-изморозевых отложений на территории Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), полученные по данным основных срочных наблюдений на 109 метеорологических станциях за период с 1966 по 2022 г. Показано, что чаще всего на территории АЗРФ наблюдается кристаллическая изморозь. Наибольшая повторяемость гололеда отмечается на побережьях северных и дальневосточных морей, а мокрого снега – на европейской части АЗРФ. В среднем по АЗРФ наблюдается отрицательный тренд числа дней с явлениями погоды, потенциально приводящими к опасным гололедно-изморозевым отложениям. При этом в атлантической области арктического пояса величина тренда составляет –3,51 дней за 10 лет, в атлантико-арктической области умеренного пояса 0,68 дней за 10 лет. Наибольшая средняя годовая продолжительность периода с образованием гололедно-изморозевых отложений отмечается у мокрого снега (149 суток) и кристаллической изморози (172 суток). Во внутриарктической климатической области средняя продолжительность периода с гололедом достигает 86 дней в год, а максимальная – 248 дней. В период с 1966 по 2022 г. наблюдалась значимая тенденция уменьшения продолжительности периода с образованием гололеда и кристаллической изморози, в некоторых климатических областях более чем на 20 дней за 10 лет. Средняя годовая продолжительность периода с образованием зернистой изморози увеличивалась на всей территории АЗРФ в среднем на 9 дней за 10 лет.

Ключевые слова: опасные явления погоды, атмосферное обледенение, гололед, изморозь, мокрый снег

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.7

ВВЕДЕНИЕ

В марте 2022 г. в докладе [Изменение климата..., 2022] была представлена информация о современном и прогнозируемом изменении климата, о его основных природных и социально-экономических последствиях для России. В частности, в этом докладе отмечается, что последствия изменения климата в нашей стране неоднозначны, например, сокращение на 13% минимальной площади льдов в Арктике улучшает условия навигации по Северному морскому пути. В то же время изменения климата приводят и к изменению повторяемости и продолжительности образования опасных явлений погоды в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) [Третий оценочный доклад..., 2022].

К опасным явлениям погоды относятся сильные гололедно-изморозевые отложения, которые ежегодно наблюдаются на территории АЗРФ [Доклад..., 2023]. Влияние изменений климата на повторяемость замерзающих дождей в Европе оценивалось в рамках эксперимента EURO-CORDEX. Согласно исследованию, при реализации сценария RCP8.5 к 2100 г.

частота выпадения замерзающих дождей увеличится в северной части Скандинавского полуострова более чем на 50%. В западной части Кольского полуострова ожидается увеличение ежегодного количества замерзающих дождей на 20–30%. В то же время на востоке Кольского полуострова и на побережьях Баренцева и Белого морей ожидается уменьшение повторяемости замерзающих дождей на 20–50% [Kämäräinen et al., 2018]. В связи с ожидаемыми изменениями становится актуальным изучение характеристик гололедно-изморозевых отложений в условиях современного климата.

На поверхности суши обледенение обусловлено различными атмосферными процессами. Первый процесс связан с выпадением осадков (precipitation icing) в виде замерзающего дождя и замерзающей мороси, а также с выпадением снега при околонулевой температуре воздуха. В результате этого процесса образуется гололед и отложения мокрого снега. Осадки, выпадающие в условиях околонулевой температуры воздуха, сложно измеряются и прогнозируются [Stewart et al., 2015]. Второй процесс –

обледенение в тумане, приводящее к образованию зернистой и кристаллической изморози (in-cloud icing). Наибольшую опасность представляют гололед, зернистая изморозь, а также отложения в виде мокрого снега [Шакина и др., 2012].

В настоящее время опубликован ряд работ, посвященных исследованию гололедно-изморозевых отложений на территории России. Для оценки их текущего состояния рассчитаны характеристики (суммарное число случаев, суммарная продолжительность отдельных случаев и средний вес отложений) и их тренды для каждого вида обледенения [Bulygina et al., 2015; Аржанова, Коршунова, 2019, 2023]. Опубликованы региональные исследования, посвященные гололедно-изморозевым отложениям. В этих работах рассмотрены особенности повторяемости гололеда на севере европейской территории России и гололедно-изморозевых отложений всех видов в районе Обской губы [Суркова и др., 2023; Соколихина, Леонов, 2023]. В англоязычной литературе представлены исследования климатологии замерзающих осадков на территории Северной Америки и Северной Евразии [Groisman et al., 2016]. Согласно исследованиям, на северо-востоке США, юго-востоке Канады, над южной и юго-западными частями Восточно-Европейской равнины замерзающие осадки наблюдаются в среднем от 3 до 8 дней в год.

Наиболее подробно климатология выпадения замерзающих осадков изучена для США и Канады. Опубликованы оценки количества часов с замерзающими осадками на территории США за период с 1928 по 2001 г.; получено распределение продолжительности отдельных случаев выпадения замерзающих дождей и оценки метеорологических условий их выпадения [Houston, Changnon, 2006]. Исследованы региональные особенности распространения повторяемости замерзающих осадков на территории США [Bernstein, 2000]. Для территории канадской провинции Квебек были рассчитаны даты самого раннего и самого позднего наблюдения гололеда [Laflamme, Périard, 1998]. Подобное исследование было проведено и для территории США [Changnon, Karl, 2003].

Вопрос, связанный с исследованием продолжительности периода с гололедно-изморозевыми отложениями на территории России, остается недостаточно изученным. Под продолжительностью периода с гололедно-изморозевыми отложениями понимается промежуток времени между датой первого и датой последнего в году наблюдения обледенения определенного вида гололедно-изморозевого отложения.

Целью данной работы было изучение пространственно-временных изменений характеристик го-

лоледно-изморозевых отложений на территории АЗРФ. Для каждой климатической области АЗРФ рассчитывались количественные характеристики: среднее число дней с гололедом, зернистой изморозью, кристаллической изморозью и мокрым снегом. Впервые получено среднее годовое число дней с представляющими особую опасность атмосферными явлениями. Так же впервые определялась средняя годовая и максимальная продолжительность периодов атмосферного обледенения отдельно для каждого вида гололедно-изморозевых отложений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Используемые в работе данные были получены из архива ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» – Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» [meteo.ru].

Использовались данные основных срочных наблюдений и данные наблюдений за атмосферными явлениями. В электронных архивах содержатся данные 521 станции для периода наблюдений с 1966 по 2023 г. Перечень станций составлен на основании списка Росгидромета, включенных в Глобальную сеть наблюдений за климатом. В ходе исследования были отобраны 109 метеорологических станций, расположенных в Арктической зоне Российской Федерации, четыре из которых расположены в сельских поселениях, включенных в Арктическую зону (Тутончаны, Тура, Кислокан, Ессей).

Для изучения преобладающих видов гололедно-изморозевых отложений и продолжительности периода атмосферного обледенения, использовались данные наблюдений за атмосферными явлениями [Булыгина и др., 2015]. В этом архиве одна запись относится к одному случаю наблюдаемого явления и содержит время начала и окончания явления, а также его интенсивности. В настоящей работе подсчитывалось среднее годовое число дней с явлениями атмосферного обледенения – гололеда, кристаллической и зернистой изморози и мокрого снега.

При расчете среднего годового количества дней с явлениями обледенения отбирались уникальные случаи явлений, которым соответствует собственный шифр (12 – гололед, 13 – кристаллическая изморозь, 14 – зернистая изморозь, 72 и 73 – мокрый снег). Для каждой метеорологической станции было получено среднее годовое количество дней с атмосферными явлениями, которые могут приводить к формированию гололедно-изморозевых отложений различных видов. Днем с такими явлениями считались сутки, в течение которых явление наблюдалось хотя бы один раз.

Продолжительность периода с наблюдением различных атмосферных явлений, приводящих к образованию гололедно-изморозевых отложений различных видов, определялась также по данным визуальных наблюдений. Каждому зарегистрированному случаю атмосферного явления присваивался номер дня в году. Для явлений холодного полугодия суммировалась продолжительность периода с наблюдением явления в начале (зимой–весной) и конце года (осенью–зимой). Для явлений, наблюдающихся в теплое время года (например гололеда, образующегося в наиболее холодных климатических областях), продолжительность периода определялась как разница между первым и последним днем в году с образованием отложений конкретного вида. Для явлений, наблюдающихся в переходные сезоны, годовая продолжительность рассчитывалась как сумма продолжительности образования гололедно-изморозевых отложений весной и осенью. Для отложений каждого вида (гололед, кристаллическая изморозь, зернистая изморозь и мокрый снег) рассчитывалась средняя годовая и максимальная продолжительность периода с обледенением.

Для исследования повторяемости атмосферных явлений, потенциально приводящих к опасным гололедно-изморозевым отложениям, использовались данные основных срочных наблюдений [Булыгина и др., 2014]. В прошлых работах была применена методика, позволяющая выделять потенциально опасные явления погоды, приводящие к образованию сильных гололедно-изморозевых отложений [Соколихина, Леонов, 2023]. На основании расчетов, полученных путем обработки инструментальных наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями, были получены температурно-ветровые диапазоны, благоприятные для формирования опасных отложений каждого вида. В данной работе применялась схожая методика фильтрации опасных явлений.

За случаи гололеда принимались сроки, в которые наблюдатель фиксировал замерзающие осадки (коды КН-01 24, 56, 57, 66 и 67). Гололед обладает высокой плотностью и прочностью, поэтому потенциально опасными считались все случаи наблюдения замерзающего дождя и замерзающей мороси.

В коде КН-01 отсутствует разделение изморози на два вида. Поэтому для анализа использовались сроки, соответствующие туману с отложением изморози (коды КН-01 48 и 49). С целью отсеивания слабоинтенсивных отложений кристаллической изморози были отобраны только те случаи изморози, которые наблюдались в диапазоне температуры воздуха от $-10,3$ до $-0,7^{\circ}\text{C}$ и скорости ветра 2 м/с и более. Такая фильтрация данных позволяет убрать из выборки большую часть отложений в виде кристал-

лической изморози, которая образуется при температуре воздуха менее -10°C и в среднем составляет более 90% всех явлений изморози.

Фильтрация выборок производилась и для выявления сроков с мокрым снегом, для которого в коде КН-01 не предусмотрено отдельного кода. Для выявления мокрого снега отбирались сроки, в которые наблюдались умеренные непрерывные, сильные и ливневые осадки твердой и смешанной фазы (коды КН-01 73, 74, 75, 85 и 86), выпадающие при температуре воздуха от 0 до $0,6^{\circ}\text{C}$. Такой диапазон ранее был обоснован авторами работы как наиболее благоприятный для образования опасных отложений мокрого снега [Леонов, Аржанова, 2023].

Для всех полученных в работе характеристик с использованием метода наименьших квадратов рассчитывались значения многолетних линейных трендов для периода с 1966 по 2022 г. Полученные линейные тренды проверялись на достоверность с использованием критерия Манна–Кендалла [Mann, 1945; Kendall, 1975]. Значимыми считались тренды, достоверные на 5% уровне значимости. Данный критерий использовался ранее другими авторами для оценки тенденций характеристик гололедно-изморозевых отложений по данным инструментальных наблюдений на территории России за период с 1984 по 2018 г. [Bulygina et al., 2015; Groisman et al., 2016].

Полученные характеристики осреднялись по территории квазиоднородных климатических областей в соответствии с классификацией Б.П. Алисова: 1) внутриарктической; 2) атлантической; 3) сибирской; 4) тихоокеанской области арктического климатического пояса; 5) атлантической; 6) сибирской; 7) тихоокеанской области субарктического климатического пояса; 8) атлантико-арктической; 9) континентальной западно-сибирской северной; 10) континентальной восточно-сибирской области умеренного климатического пояса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным архива об атмосферных явлениях было получено среднее годовое число дней с гололедно-изморозевыми отложениями различных видов на территории Арктической зоны Российской Федерации. Данные были осреднены по каждой рассматриваемой климатической области. Получены средние по климатическим областям значения многолетних линейных трендов (табл. 1).

Данные, приведенные в табл. 1, изображены на картосхеме (рис. 1). Для каждой метеорологической станции представлена круговая диаграмма, показывающая долю зафиксированных случаев атмосферных явлений, которые становятся причиной образования гололедно-изморозевых отложений каждого вида.

Таблица 1

Число дней с гололедом, кристаллической изморозью, зернистой изморозью, мокрым снегом для периода с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений

Климатическая область	Гололед		Кристаллическая изморозь		Зернистая изморозь		Мокрый снег	
	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Среднее	Тренд, дней за 10 лет
<i>Арктический климатический пояс</i>								
Внутриарктическая (1)	26,0	–5,1	67,8	–17,4	6,4	–	20,4	1,8
Атлантическая (2)	14,0	–2,3	64,6	–11,8	4,6	1,8	21,0	7,0
Сибирская (3)	8,0	–2,5	60,9	–14,0	4,2	2,0	15,4	1,5
Тихоокеанская (4)	10,3	–4,2	29,7	–5,8	8,5	3,6	18,9	3,0
<i>Субарктический климатический пояс</i>								
Атлантическая (5)	5,8	–0,2	29,2	–4,2	3,5	1,3	25,4	2,8
Сибирская (6)	0,6	–0,5	25,0	1,9	0,7	0,5	12,1	–1,5
Тихоокеанская (7)	3,6	–1,0	17,9	5,1	2,5	1,2	20,9	3,5
<i>Умеренный климатический пояс</i>								
Атлантико-арктическая (8)	5,2	–0,2	41,0	–3,3	3,6	3,2	25,9	3,5
Континентальная западно-сибирская северная (9)	1,1	–0,4	12,4	–3,6	0,3	0,5	22,5	0,9
Континентальная восточно-сибирская (10)	0,1	–0,2	9,1	3,3	0,3	1,0	16,1	–0,4

Примечание. Значения трендов указаны за 10 лет. Малозначимые тренды выделены знаком «–».

Кристаллическая изморозь часто наблюдается на всей территории Российской Арктики. Это связано с высокой повторяемостью благоприятных условий для ее образования – сильного радиационного выхолаживания поверхности, в результате которого происходит сублимация водяного пара. Зернистая изморозь – более редкое явление. Для формирования зернистой изморози необходимо существование переохлажденного тумана, капли которого, сталкиваясь с препятствием, будут превращаться в лед. Наибольшая повторяемость зернистой изморози наблюдается на европейской территории Российской Арктики, где зимой воздух часто имеет достаточное влагосодержание для образования переохлажденных туманов с отложением изморози. Отдельно стоит отметить высокую повторяемость зернистой изморози на горных метеорологических станциях, таких как Рай-Из (66°53' с. ш., 65°39' в. д., Ямало-Ненецкий АО). На таких метеостанциях зернистая изморозь часто наблюдается в периоды, когда нижняя граница облачности располагается на высоте горных массивов.

Отложения мокрого снега наиболее часто наблюдаются в климатических областях, подверженных влиянию Атлантического и Тихого океанов, так как

в зимнее время осадки в виде снега часто выпадают при температуре воздуха от –2 до 2°С. Особенность распространения мокрого снега состоит в высокой его повторяемости на Дальнем Востоке. Здесь отложения мокрого снега образуются во время выхода мощных циклонов на побережье Берингова моря. В климатических областях, располагающихся в глубине континента, мокрый снег выпадает реже из-за короткого переходного периода со слабopоложительной температурой воздуха.

Отложения в виде гололеда в первую очередь характерны для европейской территории России. Для данных регионов во время холодного периода года нередко наблюдаются синоптические условия, во время которых циклоны приносят теплые и влажные воздушные массы, которые при взаимодействии с выхолаженной поверхностью создают благоприятные условия для выпадения замерзающих осадков. Во-вторых, гололед часто наблюдается на метеорологических станциях, расположенных на побережьях северных морей России – Баренцева, Карского, моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей. В данном случае гололед образуется преимущественно в переходные сезоны, когда поверхность земли стремительно выхолаживается, но с океана на

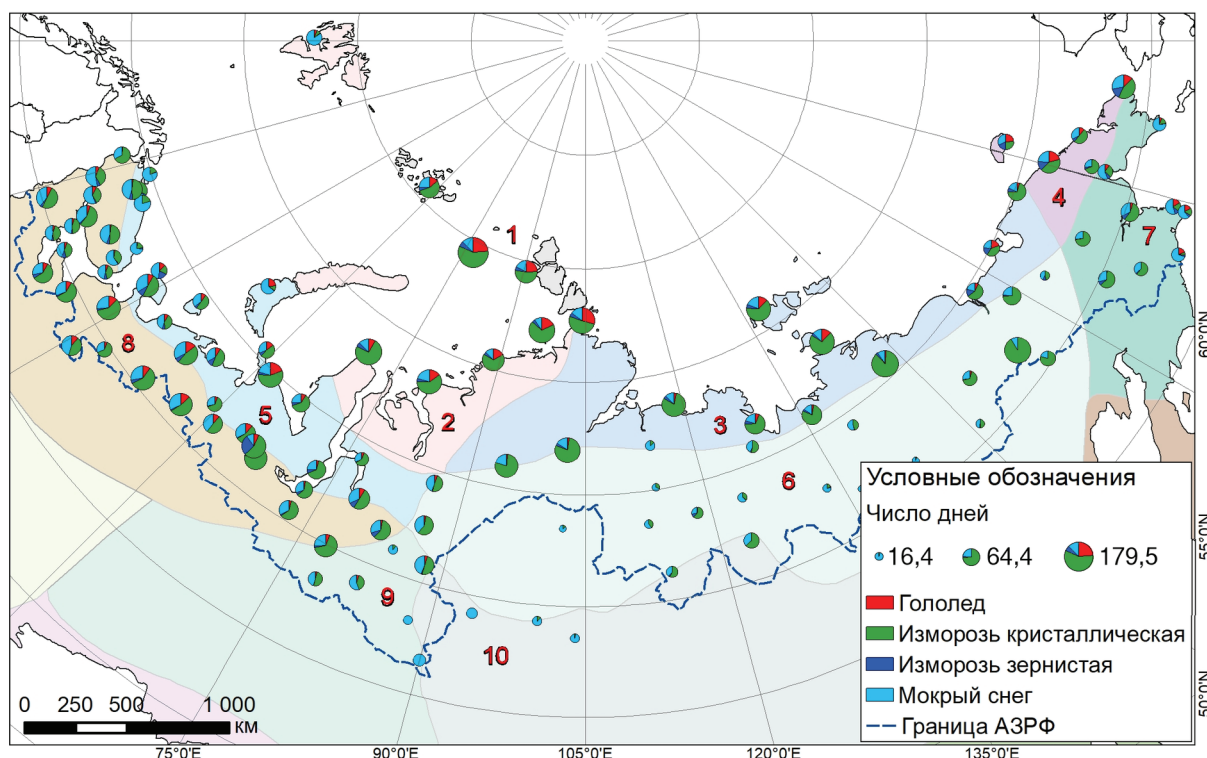


Рис. 1. Доля среднего годового числа дней с явлениями гололеда, зернистой изморози, кристаллической изморози, мокрого снега за период с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений. Размер кружка пропорционален сумме среднего числа дней всех явлений. Красными цифрами обозначены климатические области согласно классификации Б.П. Алисова

Fig. 1. The proportion of the average annual number of days with the phenomena of glaze ice, soft rime, hard rime and wet snow for the period from 1966 to 2022; according to visual observations. The size of the circles is proportional to the sum of the average number of days of all phenomena. The red numbers indicate the climatic regions according to the classification of B. Alisov

континент все еще поступает относительно теплый и влажный воздух. На территории Западной Сибири процентное соотношение гололеда уменьшается, а на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока гололед является крайне редким явлением (за исключением прибрежных станций).

Полученные значения линейных трендов числа дней с кристаллической изморозью и мокрым снегом хорошо согласуются с результатами ранее выполненных исследований. По данным инструментальных наблюдений для периода с 1984 по 2022 г. был показан значимый отрицательный тренд числа случаев с кристаллической изморозью и значимый положительный тренд числа случаев с отложением мокрого снега на территории атлантической Арктики [Аржанова, Коршунова, 2023]. В работе других авторов был получен положительный тренд числа дней с гололедом на территории СЗФО для периода с 1986 по 2022 г. Однако, в данной работе значения трендов осреднялись по всем метеостанциям СЗФО, где наибольший вклад в положительный тренд вносили метеостанции, располагающиеся вне АЗРФ [Суркова и др., 2024].

Используя температурно-ветровые диапазоны, в которых наиболее часто образуются опасные гололедно-изморозевые отложения [Соколихина, Леонов, 2023], было получено среднее годовое количество потенциально опасных атмосферных явлений для территории АЗРФ (табл. 2). Использование данной методики позволяет исключить из рассматриваемых выборок явления, не представляющие опасность, например кристаллическую изморозь, образующуюся при низкой температуре воздуха (менее -10°C), или мокрый снег, выпадающий при скорости ветра более 1 м/с. Такой подход позволяет использовать срочные наблюдения за погодой для оценки наиболее часто встречающихся опасных явлений погоды.

На территории Арктики наблюдаются существенные различия преобладающих опасных явлений в зависимости от принадлежности территории к определенному типу климата (рис. 2). Наиболее часто опасные гололедно-изморозевые отложения наблюдаются на европейской части АЗРФ и на Дальнем Востоке, несколько реже – в Западной Сибири и крайне редко – в Восточной Сибири.

Таблица 2

Число дней с потенциально опасными явлениями: замерзающие осадки, туманы с отложением изморози, мокрый снег – для периода с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений

Климатическая область	Замерзающие осадки		Туман с отложением изморози		Мокрый снег		Сумма всех явлений	
	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Среднее	Тренд, дней за 10 лет
Арктический климатический пояс								
Внутриарктическая (1)	3,2	–1,36	1,9	–0,86	0,3	–0,14	5,4	–2,26
Атлантическая (2)	1,7	–1,89	2,3	–2,29	0,6	–	4,6	–3,51
Сибирская (3)	1,1	–0,44	2,3	–0,80	0,2	0,22	3,5	–1,14
Тихоокеанская (4)	1,9	–1,03	2,8	–0,59	0,4	–0,11	5,1	–1,52
Субарктический климатический пояс								
Атлантическая (5)	1,0	–0,17	1,8	–0,20	0,4	0,02	3,1	–0,35
Сибирская (6)	0,1	–0,12	0,1	–	0,5	0,07	0,7	–0,04
Тихоокеанская (7)	0,7	–0,68	0,8	–0,82	0,7	–0,33	2,1	–1,05
Умеренный климатический пояс								
Атлантико-арктическая (8)	1,4	–0,35	1,2	0,59	1,1	0,29	3,7	0,68
Континентальная западно-сибирская северная (9)	0,1	–	0,0	–	1,4	0,29	1,6	0,29
Континентальная восточно-сибирская (10)	0,0	–0,10	0,1	–	1,3	0,24	1,4	–

Примечание. Значения трендов указаны за 10 лет. Малозначимые тренды выделены знаком «–».

По сравнению с рис. 1, наблюдается значительно большее количество метеостанций, на которых преобладающие виды наблюдаемых атмосферных явлений – замерзающие осадки (гололед), туман с отложением изморози (предполагается зернистая изморозь) и мокрый снег. Так как потенциально опасными случаями гололеда считались все без исключения замерзающие осадки, повторяемость этого типа явлений преобладает на европейской части Арктики. Также замерзающие осадки часто наблюдаются на побережьях северных морей, как уже было отмечено выше.

Предполагается, что фильтрация случаев изморози позволила получить выборку только потенциально опасных случаев образования переохлажденных туманов. Не слишком холодная (до -10°C) и ветреная (ветер более 2 м/с) погода крайне благоприятна для образования зернистой изморози. Ее повторяемость составляет около 1,5 случаев в год за исключением внутриконтинентальных сибирских областей, где явления данного типа практически не наблюдаются.

На территории АЗРФ потенциально опасные явления мокрого снега чаще всего наблюдаются в областях, относящихся к умеренному климати-

ческому поясу. В атлантической и тихоокеанской областях выпадение мокрого снега обычно вызвано прохождением мощных циклонов. Реже всего мокрый снег выпадает в областях арктического климата. Это связано с тем, что были отфильтрованы случаи мокрого снега, выпадающего при скорости ветра более 1 м/с и температуре воздуха от 0 до $0,6^{\circ}\text{C}$. Такие случаи обычно не приводят к образованию сильных отложений мокрого снега, так как он сдувается с поверхностей, на которых происходит обледенение (прежде всего речь идет о проводах, опорах ЛЭП и ветвях деревьев). Именно из-за высокой повторяемости штилей отложения мокрого снега не являются редкостью в континентальной восточно-сибирской области умеренного климата.

Одной из наиболее важных характеристик гололедно-изморозевых отложений, влияющих на хозяйственную деятельность человека в Арктике, является продолжительность периода их наблюдений. Для анализа продолжительности периода с атмосферным обледенением были получены средние периоды для всех отложений по каждой рассматриваемой климатической области (табл. 3).

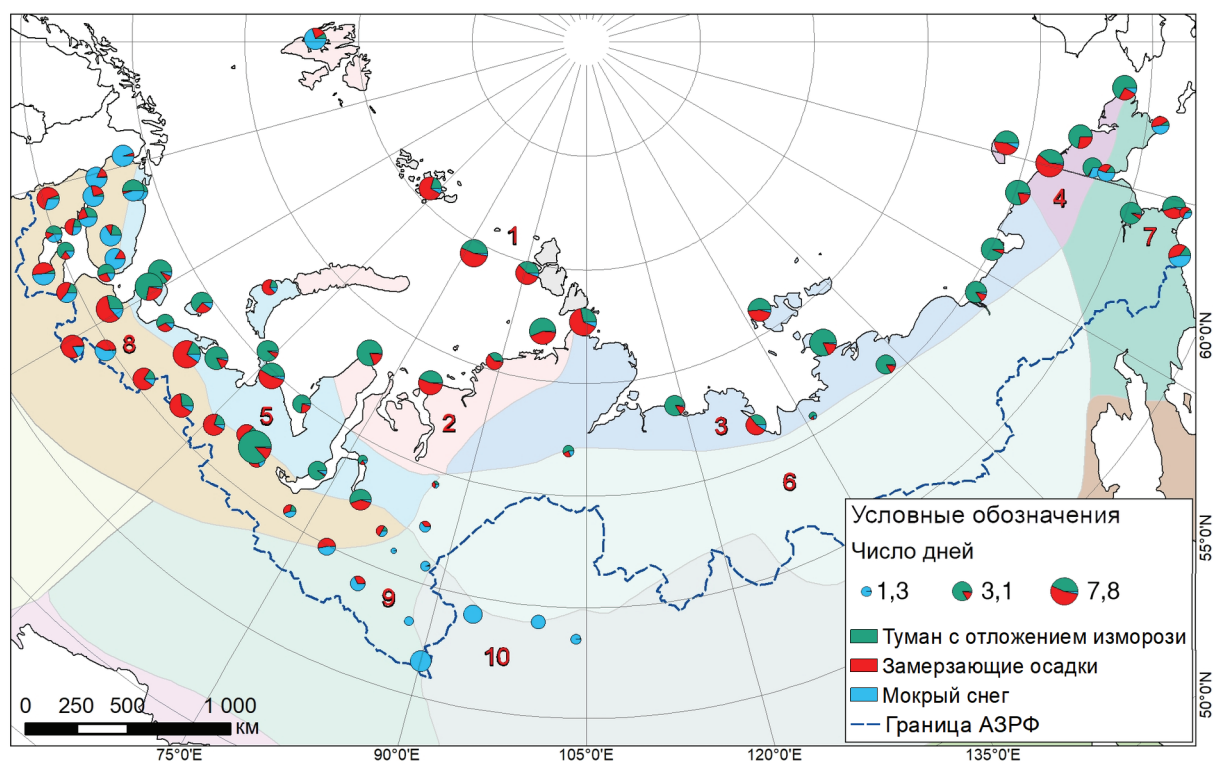


Рис. 2. Доля среднего годового числа дней с потенциально опасными явлениями замерзающих осадков, туманов с отложением изморози и мокрого снега за период с 1966 по 2022 г.; по данным основных срочных наблюдений. Размер кружка пропорционален сумме среднего числа дней всех явлений. Цифрами обозначены климатические области согласно классификации Б.П. Алисова

Fig. 2. The proportion of the average annual number of days with potentially hazardous phenomena of freezing precipitation, fog depositing rime and wet snow for the period from 1966 to 2022; according to the main 3-hour observations. The size of the circles is proportional to the sum of the average number of days of all phenomena. The red numbers indicate the climatic regions according to the classification of B. Alisov

На рис. 3 представлена продолжительность периода, во время которого в АЗРФ наблюдался гололед. Наибольшая средняя продолжительность периода с гололедом наблюдалась на европейской территории АЗРФ. Также наблюдалась высокая продолжительность формирования гололеда на побережьях северных и дальневосточных морей России. С продвижением на восток и вглубь континента отмечается сильное сокращение продолжительности гололедного периода. Максимальная за период с 1966 по 2022 г. продолжительность гололедного периода отмечается на территории климатических областей, подверженных воздействию влажных морских воздушных масс.

Средняя продолжительность периода наблюдения кристаллической изморози существенно превышает среднюю продолжительность гололеда (рис. 4). Можно было бы предположить, что в наиболее континентальных областях, на территории которых в холодный период года господствует сибирский антициклон, должна наблюдаться наибольшая продолжительность кристаллической изморози. Однако с продвижением вглубь континента уменьшается общее содержание водяного пара в воздухе и, как след-

ствие, способность его к сублимации даже при очень низкой температуре воздуха. Поэтому максимальная продолжительность периода с образованием кристаллической изморози в наиболее континентальных областях часто не превышает 60 дней в году.

Формирование зернистой изморози особенно сильно подвержено влиянию орорафии. Это связано с тем, что, в отличие от замерзающих осадков и мокрого снега, выпадающих из вышележащих слоев атмосферы, зернистая изморозь образуется вследствие горизонтального переноса капель переохлажденного тумана. В опубликованных ранее работах было показано усиление интенсивности образования зернистой изморози, вызванной перетеканием воздушных масс через горы, на примере отдельных случаев обледенения, наблюдавшихся в районе горного массива Рай-Из [Леонов, 2022]. В связи с ведущей ролью мезомасштабных процессов закономерности распределения зернистой изморози на территории России выражены слабо (рис. 5). Изморозь данного вида наиболее часто отмечается на горных метеорологических станциях и на побережьях морей, где часто наблюдается высокая скорость ветра.

Таблица 3

Продолжительность периода (дни) с гололедом, кристаллической изморозью, зернистой изморозью, мокрым снегом для периода с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений

Климатическая область	Гололед			Кристаллическая изморозь			Зернистая изморозь			Мокрый снег		
	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Макс.	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Макс.	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Макс.	Среднее	Тренд, дней за 10 лет	Макс.
Арктический климатический пояс												
Внутриарктическая (1)	86	−13,2	248	172	−22,2	319	32	7,0	201	93	–	230
Атлантическая (2)	63	−8,9	192	163	−16,5	276	28	10,3	157	116	−0,1	218
Сибирская (3)	28	−10,1	127	158	−23,2	259	16	8,8	120	72	6,7	164
Тихоокеанская (4)	60	−22,6	209	133	−24,0	244	51	16,7	165	108	−7,7	230
Субарктический климатический пояс												
Атлантическая (5)	43	−12,4	157	117	−18,0	209	24	10,9	123	147	−10,2	247
Сибирская (6)	2	−4,4	25	60	−0,9	172	2	1,8	35	60	−5,9	151
Тихоокеанская (7)	26	−13,9	130	82	6,0	183	16	9,6	120	134	−1,8	262
Умеренный климатический пояс												
Атлантико-арктическая (8)	34	−6,9	152	133	−13,3	212	16	18,7	104	149	0,6	244
Континентальная западно-сибирская северная (9)	5	–	47	49	−12,8	125	1	2,9	30	109	−2,9	208
Континентальная восточно-сибирская (10)	0	–	11	27	7,7	131	1	3,7	22	71	−7,5	137

Примечание. Значения трендов указаны за 10 лет. Малозначимые тренды выделены знаком «–».

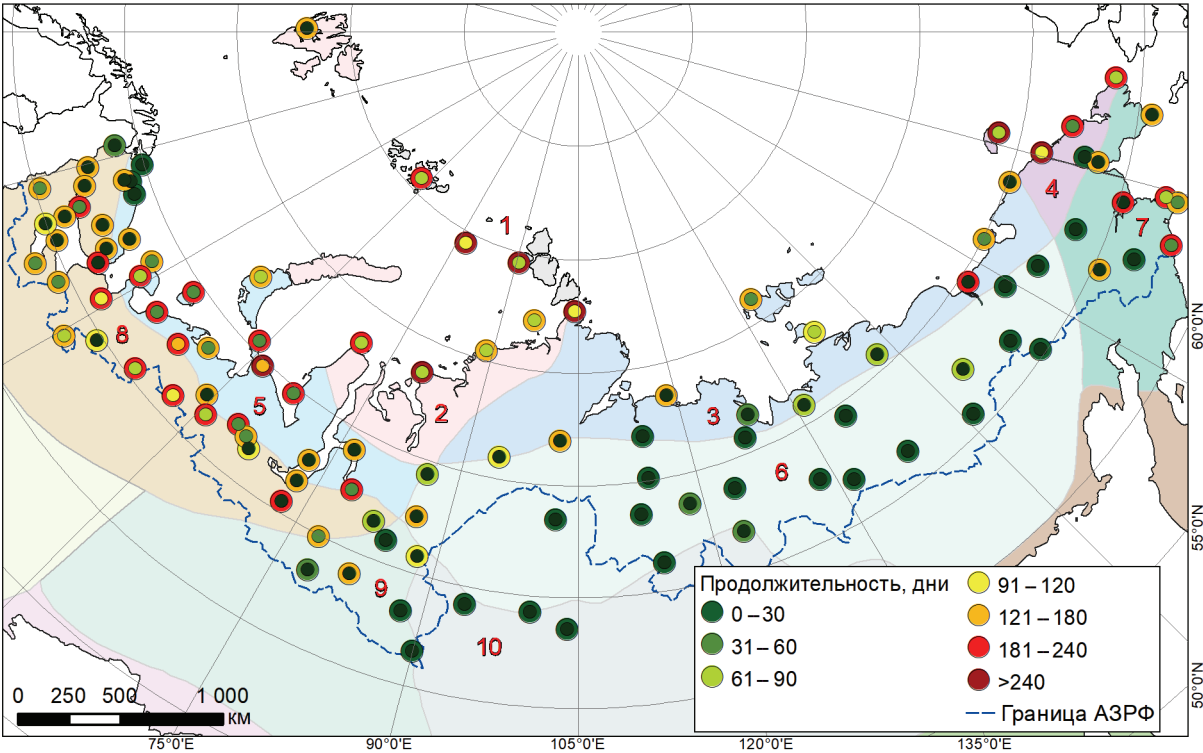


Рис. 3. Средняя годовая (внутренний пунсон) и максимальная (внешний пунсон) продолжительность периода с наблюдением гололеда за период с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений. Цифрами обозначены климатические области согласно классификации Б.П. Алисова

Fig. 3. The average annual (inner circle) and maximum annual (outer circle) duration of the period with glaze ice observation for the period from 1966 to 2022; according to visual observations. The red numbers indicate the climatic regions according to the classification of B. Alisov

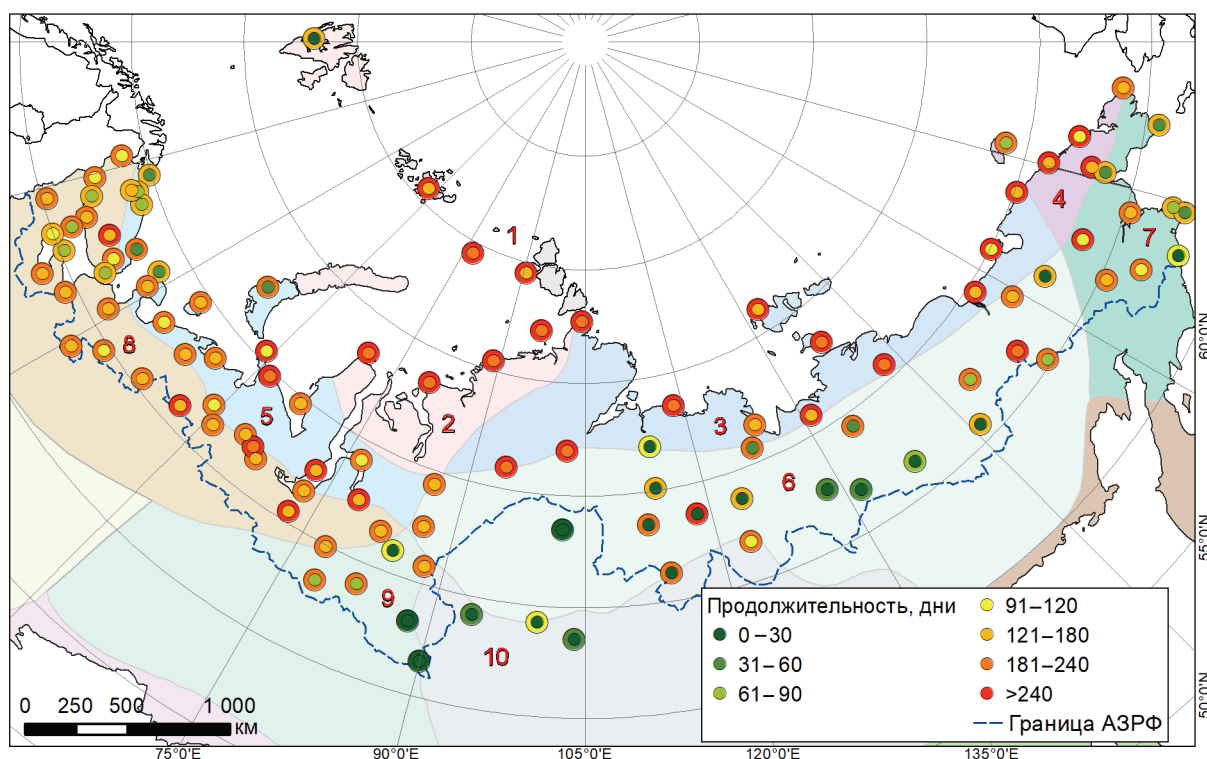


Рис. 4. Средняя годовая (внутренний пунсон) и максимальная (внешний пунсон) продолжительность периода с наблюдением кристаллической изморози за период с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений. Цифрами обозначены климатические области согласно классификации Б.П. Алисова

Fig. 4. The average annual (inner circle) and maximum annual (outer circle) duration of the period with soft time observation for the period from 1966 to 2022; according to visual observations. The red numbers indicate the climatic regions according to the classification of B. Alisov

Особенностью зернистой изморози является то, что, в отличие от других отложений, максимальная продолжительность периода ее наблюдений в несколько раз отличается от средней. Это связано с тем, что зернистая изморозь под действием локальных факторов может образовываться при большом спектре синоптических ситуаций, что создает очень продолжительный период ее формирования. Однако такие ситуации формируются не часто, и поэтому дни с образованием зернистой изморози распределены в течении всего холодного периода года.

Перед анализом оценки продолжительности периода с наблюдением мокрого снега стоит дать пояснения к используемой в статье терминологии. Согласно наставлению гидрометеорологическим станциям и постам, мокрый снег – это осадки, выпадающие в виде тающего снега при положительной температуре воздуха. Результаты наблюдений за атмосферными осадками в виде мокрого снега записываются в соответствующие графы книжки КМ-1. Отдельно производятся наблюдения за отложениями мокрого снега на проводах гололедного станка, их результаты записываются в книжку КМ-4 [Наставления..., 1985]. Это значит, что не все атмосферные явления в виде мокрого снега приводят к его налипанию на провода,

ветви деревьев и различные сооружения. Поэтому реальное число дней и продолжительность периода с наблюдением мокрого снега не совсем точно описывают период с отложениями данного вида.

Мокрый снег отличается от прочих атмосферных явлений, связанных с образованием гололедно-изморозевых отложений, тем, что на всей территории Российской Арктики имеет среднюю годовую продолжительность наблюдений более 30 дней (рис. 6). Немного уменьшается продолжительность в холодных областях – сибирских. Наибольшая средняя продолжительность наблюдается в атлантическом секторе Российской Арктики. Максимальная продолжительность мокрого снега является самой большой среди всех рассматриваемых явлений. На многих метеорологических станциях европейской части АЗРФ средняя годовая продолжительность периода с наблюдениями мокрого снега превышает 200 дней. Это значит, что первые осадки в виде мокрого снега наблюдаются в сентябре, а последние в апреле. Столь большая продолжительность на севере европейской территории России связана с высокой повторяемостью дней со средней температурой около 0°C, которая в данном регионе превышает 100 дней в году [Суркова, Лебедева, 2019].

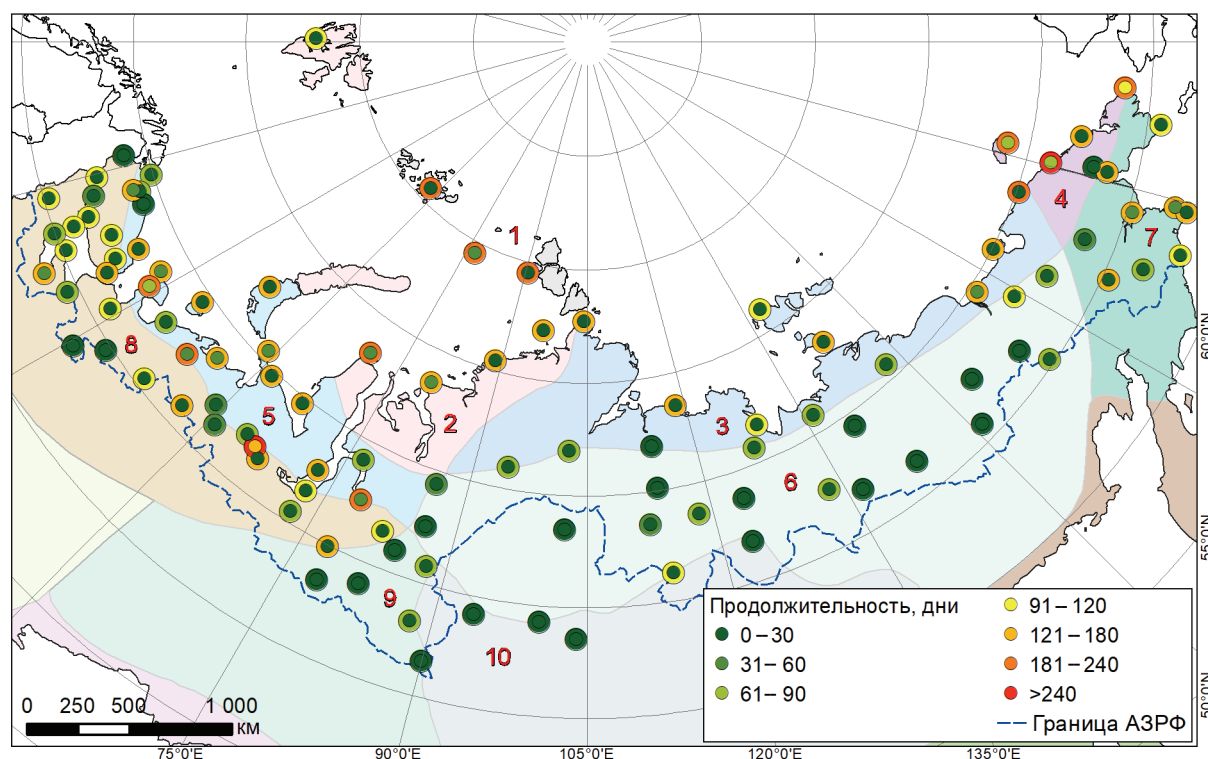


Рис. 5. Средняя годовая (внутренний пунсон) и максимальная (внешний пунсон) продолжительность периода с наблюдением зернистой изморози за период с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений. Цифрами обозначены климатические области согласно классификации Б.П. Алисова

Fig. 5. The average annual (inner circle) and maximum annual (outer circle) duration of the period with hard rime observation for the period from 1966 to 2022; according to visual observations. The numbers indicate the climatic regions according to the classification of B. Alisov

Полученные линейные тренды показывают, что гололедно-изморозевые отложения различных видов имеют свои временные особенности (рис. 7). Так, практически на всей территории Арктики уменьшается продолжительность гололедного периода (см. рис. 7А). Это может быть связано с быстрым потеплением арктического региона. Из-за повышения температуры поверхности уменьшается повторяемость благоприятных для формирования на холодной поверхности замерзающих осадков. Ранее выполненные исследования в рамках эксперимента EURO-CORDEX показали, что в XXI в. ожидается слияние весеннего и осеннего максимумов наблюдений замерзающих дождей в один зимний максимум [Kämäräinen et al., 2018]. Такое перераспределение частоты выпадения замерзающих осадков внутри годового хода также указывает на уменьшение продолжительности периода наблюдений гололеда.

Средняя продолжительность периода с образованием кристаллической изморози также уменьшается на большей части территории АЗРФ (см. рис. 7Б). Это также связано с потеплением, приводящим к уменьшению повторяемости метеорологических условий, благоприятных для сублимации водяного пара. Интересно, что положительные тренды наблюдаются на метеорологических станциях, располо-

женных в наиболее холодных областях, где, наоборот, было слишком холодно и сухо для образования изморози, а с потеплением климата и увеличением влагосодержания воздуха увеличивается средняя продолжительность периода с благоприятными условиями для сублимации водяного пара. Локальное увеличение продолжительности периода с образованием кристаллической изморози наблюдается в областях умеренного климата на Дальнем Востоке.

Показано, что на всей территории Арктической зоны Российской Федерации наблюдается положительный тренд продолжительности периода с наблюдением зернистой изморози (см. рис. 7В). Можно сделать предположение, что из-за увеличения температуры и влагосодержания увеличивается повторяемость переохлажденных туманов, во время которых формируется зернистая изморозь. Однако это предположение нуждается в дополнительных исследованиях.

Метеорологических станций, для которых получен значимый тренд продолжительности периода с наблюдениями мокрого снега, немного. Кроме этого, значения трендов, полученные в пределах одних и тех же климатических областей, имеют разные знаки. Таким образом, затруднительно сделать выводы об изменении продолжительности периода с выпадением мокрого снега.

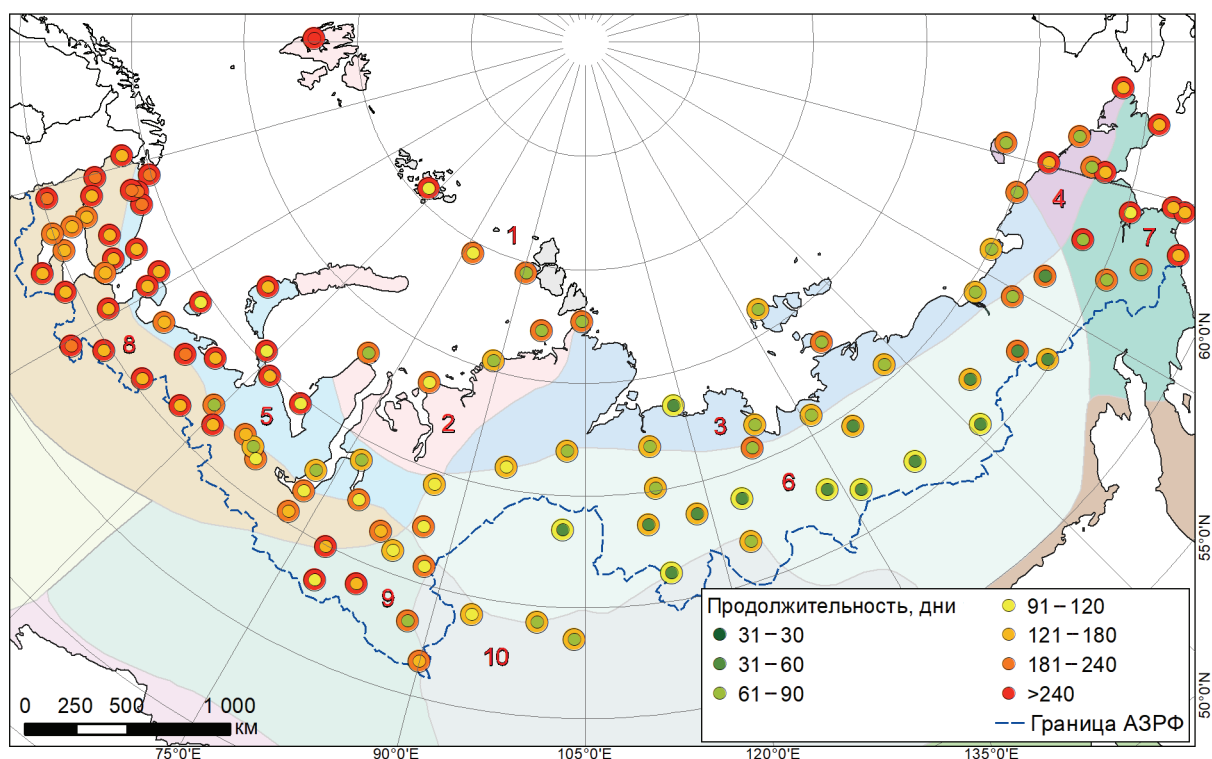


Рис. 6. Средняя годовая (внутренний пунсон) и максимальная (внешний пунсон) продолжительность периода с наблюдением мокрого снега за период с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений. Цифрами обозначены климатические области согласно классификации Б.П. Алисова

Fig. 6. The average annual (inner circle) and maximum annual (outer circle) duration of the period with wet snow observation for the period from 1966 to 2022; according to visual observations. The numbers indicate the climatic regions according to the classification of B. Alisov

ВЫВОДЫ

В ходе работы были построены карты преобладающих атмосферных явлений, приводящих к образованию гололедно-изморозевых отложений на территории Арктической зоны Российской Федерации за период с 1966 по 2022 г. Такие же карты были построены для числа дней с атмосферными явлениями, которые могут приводить к формированию опасных гололедно-изморозевых отложений.

Показано, что в среднем на территории АЗРФ преобладают отложения кристаллической изморози, далее по повторяемости числа дней идет мокрый снег, за ним гололед и далее зернистая изморозь. Пространственное распределение среднего годового числа дней по территории Арктики неравномерно. В целом с увлечением континентальности климата уменьшается среднее число дней с атмосферным обледенением, в том числе и с кристаллической изморозью. Отобранные с использованием температурно-ветровых диапазонов потенциально опасные явления погоды имеют еще более сильную зависимость повторяемости от континентальности климата.

Оценка многолетних линейных трендов показала, что на территории АЗРФ наблюдается сокращение числа дней с гололедом на величину от 0,2 до 5,1 дня

за 10 лет. Наиболее заметно сокращается число дней с гололедом в арктическом климатическом поясе – в среднем на 3,5 дня за 10 лет. Также повсеместно сокращается среднее число дней с кристаллической изморозью: в среднем по АЗРФ на 5 дней за 10 лет, а в арктическом поясе на 12,2 дня за 10 лет. Число дней с зернистой изморозью в среднем увеличивается на 1,7 дня за 10 лет. Изменение числа дней с мокрым снегом имеет положительную тенденцию, оно увеличивалось в среднем на 2,2 дня за каждые 10 лет. Отобранные высокоинтенсивные отложения имеют схожие тенденции – наблюдается уменьшение числа дней с замерзающими осадками (–0,68 дня за 10 лет) и туманами с отложением изморози (–0,71 дня за 10 лет). В среднем по территории АЗРФ наблюдается тенденция к снижению числа дней с атмосферными явлениями, которые могут приводить к формированию опасных гололедно-изморозевых отложений приблизительно на 1 день за 10 лет.

Показано, что наибольшая продолжительность атмосферного обледенения характерна для мокрого снега и кристаллической изморози. Зернистая изморозь может наблюдаться в течение всего холодного периода, однако повторяемость числа дней с этим отложением низкая. Продолжительность периода

образования гололеда сильно зависит от типа климата и составляет от 172 дней в году во внутриарктической области арктического климатического пояса до 26 дней в континентальной восточно-сибирской области умеренного климата.

Оценка многолетних линейных трендов показала, что на территории АЗРФ наблюдается уменьшение продолжительности периода с наблюдением гололеда (–11,5 дня за 10 лет) и кристаллической изморози (–11,7 дня за 10 лет). Средняя продолжи-

тельность периода с формированием зернистой изморози увеличивается в среднем по АЗРФ на 9 дней за 10 лет.

Значительные изменения характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории АЗРФ делают актуальным проведение дополнительных исследований по данной теме, в том числе исследований будущего климата с использованием прогностических данных моделей климатической системы Земли.

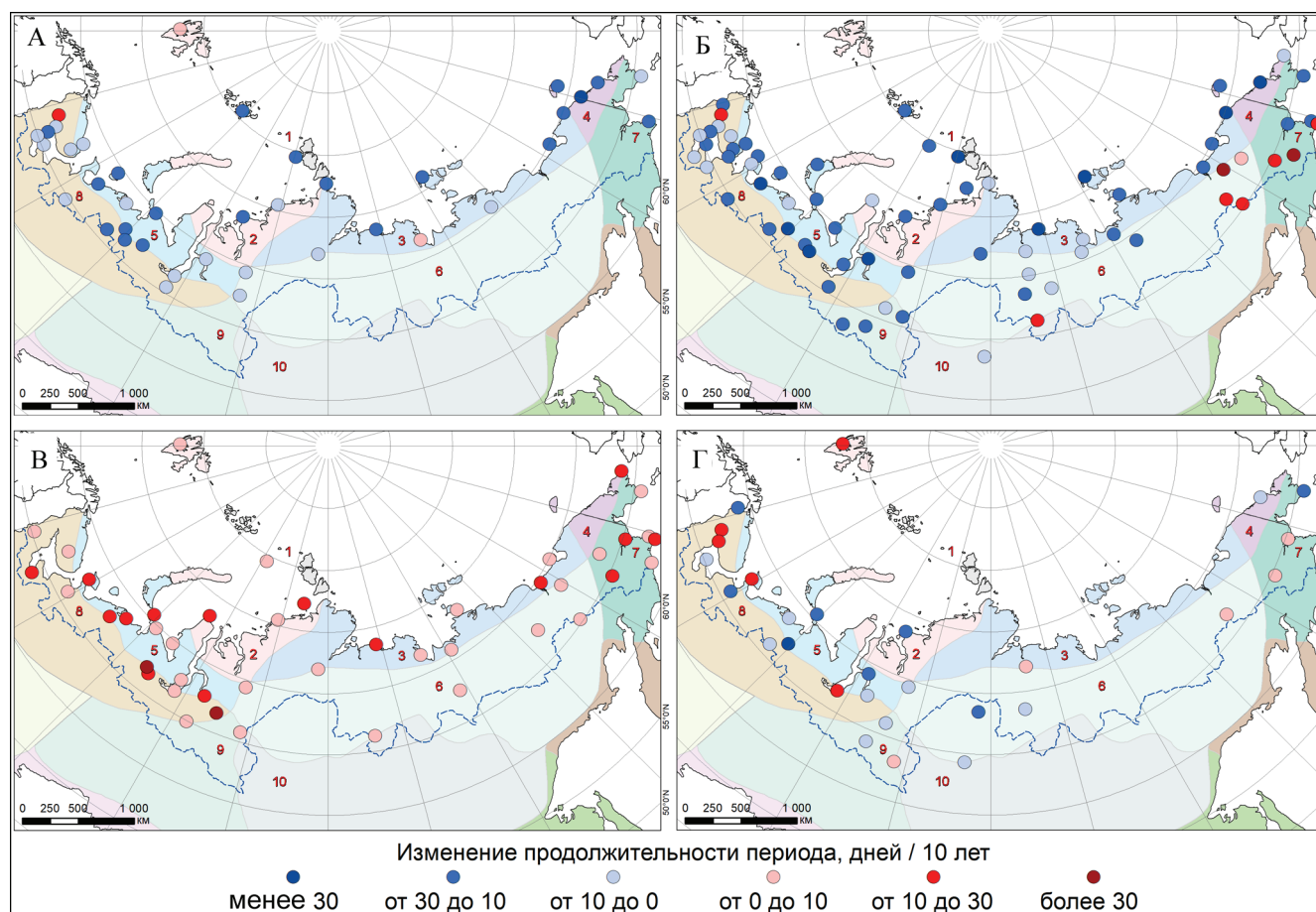


Рис. 7. Многолетние тренды (дней за 10 лет) изменения продолжительности периода наблюдения: А – гололеда; Б – кристаллической изморози; В – зернистой изморози; Г – мокрого снега. Период: с 1966 по 2022 г.; по данным визуальных наблюдений. Показаны только тренды, достоверные для 5% уровня значимости. Цифрами обозначены климатические области согласно классификации Б.П. Алисова

Fig. 7. Long-term trends (days per decade) of changes in the duration of the period with the observation of: A – glaze ice; B – soft rime; V – hard rime; Г – wet snow for the period from 1966 to 2022; according to visual observations. Only trends that are reliable for 5% of the significance level are shown. The numbers indicate the climatic regions according to the classification of B. Alisov

Благодарности. Работа выполнена в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-27-00047 «Гололедно-изморозевые отложения на территории России в условиях современных изменений климата»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аржанова Н.М., Коришунуова Н.Н. Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России в

условиях современных изменений климата // Труды Всероссийского научно-исследовательского институ-

- та гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. 2019. № 184. С. 33–44.
- Аржанова Н.М., Коришнунова Н.Н. Мониторинг гололедно-изморозевых отложений на территории России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2023. № 4(390). С. 138–153. DOI: 10.37162/2618-9631-2023-4-138-153.
- Булыгина О.Н., Веселов В.М., Александрова Т.М. и др. Описание массива данных по атмосферным явлениям на метеорологических станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных. 2015. № 2015620081.
- Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н. и др. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных. 2014. № 2014620549.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет, 2023. 104 с.
- Изменение климата в Российской Арктике: риски и новые возможности / О.А. Анисимов и др. М.: Сколково, 2022. 105 с.
- Леонов И.И. Условия формирования опасных отложений зернистой изморози на Полярном Урале // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2022. № 4(386). С. 20–35. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-4-20-35.
- Леонов И.И., Аржанова Н.М. Метеорологические условия образования гололедно-изморозевых отложений на территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2023. Т. 9. № 1. С. 107–126. DOI: 10.21513/2410-8758-2023-1-107-126.
- Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Часть 1. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 301 с.
- Соколичина Н.Н., Леонов И.И. Преобладающие виды гололедно-изморозевых отложений по наблюдениям на станциях Обской губы // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69. № 3. С. 343–355. DOI: 10.30758/0555-2648-2023-69-3-343-355.
- Суркова Г.В., Лаврентьева А.И., Ткачева Е.С. Региональные особенности повторяемости гололеда на севере европейской территории России на фоне меняющегося климата // Проблемы Арктики и Антарктики. 2024. Т. 70. № 1. С. 21–32. DOI: 10.30758/0555-2648-2024-70-1-21-32.
- Суркова Г.В., Лебедева А.А. Современный режим температуры воздуха в диапазоне около 0°C на европейской части России // Метеорология и гидрология. 2019. № 9. С. 95–99.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова; Росгидромет. СПб.: Научно-технические технологии, 2022. 676 с.
- Шакина Н.П., Хоменко И.А., Иванова А.Р. и др. Образование и прогнозирование замерзающих осадков: обзор литературы и некоторые новые результаты // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 348. С. 130–161.
- Bernstein B.C. Regional and Local Influences on Freezing Drizzle, Freezing Rain, and Ice Pellet Events, *Weather Forecasting*, 2000, vol. 15, p. 485–508, DOI: 10.1175/1520-0434(2000)015<0485:RALIOF>2.0.CO;2.
- Bulygina O.N., Arzhanova N.M., Groisman P.Y. Icing conditions over Northern Eurasia in changing climate, *Environmental research letters*, 2015, vol. 10, no. 2, p. 025003, DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/025003.
- Changnon S.A., Karl T.R. Temporal and spatial variations of freezing rain in the contiguous United States: 1948–2000, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2003, vol. 42, no. 9, p. 1302–1315, DOI: 10.1175/1520-0450(2003)042<1302:TASVOF>2.0.CO;2.
- Groisman P., Bulygina O., Yin X. et al. Recent changes in the frequency of freezing precipitation in North America and Northern Eurasia, *Environmental Research Letters*, 2016, vol. 11, no. 4, p. 045007, DOI: 10.1088/1748-9326/11/4/045007.
- Houston T.G., Changnon S.A. Freezing rain events: a major weather hazard in the conterminous US, *Nat Hazards*, 2007, vol. 40, p. 485–494, DOI: 10.1007/s11069-006-9006-0.
- Kämäräinen M., Hyvärinen O., Vajda A. et al. Estimates of present-day and future climatologies of freezing rain in Europe based on CORDEX regional climate models, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2018, vol. 123, p. 13291–13304, DOI: 10.1029/2018JD029131.
- Kendall M. *Rank correlation measures*, Charles Griffin, London, 1975, 202 p.
- Laflamme J.N., Périard G. The climate of freezing rain over the province of Québec in Canada: A preliminary analysis, *Atmospheric research*, 1998, vol. 46, no. 1–2, p. 99–111, DOI: 10.1016/S0169-8095(97)00054-9.
- Mann H. Nonparametric tests against trend, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1945, p. 245–259, DOI: 10.2307/1907187.
- Stewart R.E., Thériault J.M., Henson W. On the Characteristics of and Processes Producing Winter Precipitation Types near 0°C, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2015, vol. 96, p. 623–639, DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00032.1.
- Электронный ресурс
ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». URL: <https://meteo.ru> (дата обращения 01.03.2024).

Поступила в редакцию 24.06.2024

После доработки 25.11.2024

Принята к публикации 21.01.2025

DURATION OF THE PERIOD WITH ICE ACCRETION IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION UNDER THE CHANGING CLIMATE

I.I. Leonov¹, N.N. Sokolikhina², V.I. Ilyin³

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

¹ *Department of Meteorology and Climatology, Junior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: leonov@geogr.msu.ru*

² *Department of Meteorology and Climatology, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: natalia.sokolikhina@gmail.com*

³ *Department of Oceanology, student; e-mail: vsevolod_ilin@mail.ru*

The article considers the characteristics of ice accretions in the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF), obtained from the main 3-hour observations at 109 meteorological stations for the period from 1966 to 2022. It is shown that soft rime is most often observed in the AZRF. The highest frequency of glaze ice is observed on the coasts of the northern and Far Eastern seas. Wet snow is most often observed in the European part of the AZRF. Generally the AZRF shows a negative trend in the number of days with weather phenomena potentially leading to hazardous ice accretions. The lowest trend is in the Atlantic climate region of the Arctic zone (–3,51 days per 10 years), the highest in the Atlantic-Arctic climate region of the Polar zone (0,68 days per 10 years). The longest average annual duration of the period with ice accretions formation is for wet snow and soft rime (149 and 172 days, respectively). In the Intra-Arctic climate region, the average duration of the period with glaze ice is 86 days per year, and the maximum is 248 days. During 1966 to 2022, there was a significant tendency to shorten the period with the formation of glaze ice and soft rime, in some climatic regions by more than 20 days per 10 years. The average annual duration of the period with the formation of hard rime increased throughout the Arctic zone of the Russian Federation, on average by 9 days per 10 years.

Keywords: hazardous weather phenomena, atmospheric icing, glaze ice, rime, wet snow

Acknowledgements. The research was carried out at the Lomonosov Moscow State University and financially supported by the Russian Science Foundation (project No. 24-27-00047 “Ice accretion on the territory of Russia under the conditions of modern climate change”).

REFERENCES

- Arzhanova N.M., Korshunova N.N. [Characteristics of glaze-ice and rime phenomena over the Russian territory under current climate change], 2019, *Trudy VNIIGMI-MCD* [VNIIGMI-MCD Proceedings], vol. 184, p. 33–44. (In Russian)
- Arzhanova N.M., Korshunova N.N. Monitoring gololedno-izmorozevykh otlozhenij na territorii Rossii [Monitoring of glaze-ice on the territory of Russia], *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, 2023, no. 4(390), p. 138–153, DOI: 10.37162/2618-9631-2023-4-138-153. (In Russian)
- Bernstein B.C. Regional and Local Influences on Freezing Drizzle, Freezing Rain, and Ice Pellet Events, *Wea. Forecasting*, 2000, vol. 15, p. 485–508, DOI: 10.1175/1520-0434(2000)015<0485:RALIOF>2.0.CO;2.
- Bulygina O.N., Arzhanova N.M., Groisman P.Y. Icing conditions over Northern Eurasia in changing climate, *Environmental Research Letters*, 2015, vol. 10, no. 2, p. 025003, DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/025003.
- Bulygina O.N., Veselov V.M., Aleksandrova T.M., Korshunova N.N. *Opisanie massiva dannyh po atmosferynym yavleniyam na meteorologicheskikh stantsiyah Rossii* [Description of the Dataset of Atmospheric Events at the Russian Weather Stations], The State Registration Certificate, 2015, no. 2015620081. (In Russian)
- Bulygina O.N., Veselov V.M., Razuvaev V.N., Alexandrova T.M. *Opisanie massiva srochnykh dannyh ob osnovnykh meteorologicheskikh parametrah na stantsiyah Rossii* [Description of the Dataset of Observational Data on Major Meteorological Parameters from Russian Weather Stations], Database State Registration Certificate, 2014, no. 2014620549. (In Russian)
- Changnon S.A., Karl T.R. Temporal and spatial variations of freezing rain in the contiguous United States: 1948–2000, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2003, vol. 42, no. 9, p. 1302–1315, DOI: 10.1175/1520-0450(2003)042<1302:TASVOF>2.0.CO;2.
- Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2021 god* [Report on climate change in the territory of the Russian Federation for 2021], Moscow, Roshydromet Publ., 2022, 104 p. (In Russian)
- Groisman P., Bulygina O., Yin X. et al. Recent changes in the frequency of freezing precipitation in North America and Northern Eurasia, *Environmental Research Letters*, 2016, vol. 11, no. 4, p. 045007, DOI: 10.1088/1748-9326/11/4/045007.
- Houston T.G., Changnon S.A. Freezing rain events: a major weather hazard in the conterminous US, *Nat Hazards*, 2007, vol. 40, p. 485–494, DOI: 10.1007/s11069-006-9006-0.
- Izmenenie klimata v Rossijskoj Arktike: riski i novye vozmozhnosti* [Climate change in the Russian Arctic: risks and new opportunities], O.A. Anisimov et al., Moscow, Skolkovo, School of Management Publ., 2022, 105 p. (In Russian)

- Kämäräinen M., Hyvärinen O., Vajda A. et al. Estimates of present-day and future climatologies of freezing rain in Europe based on CORDEX regional climate models, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2018, vol. 123, 13291–13304, DOI: 10.1029/2018JD029131.
- Kendall M. *Rank correlation measures*, Charles Griffin, London, 1975, 202 p.
- Laflamme J.N., Périard G. The climate of freezing rain over the province of Québec in Canada: A preliminary analysis, *Atmospheric Research*, 1998, vol. 46, no. 1–2, p. 99–111, DOI: 10.1016/S0169-8095(97)00054-9.
- Leonov I.I. Usloviya formirovaniya opasnyh otlozhenij zernistoj izmorozi na Polyarnom Urale [Formation conditions of hazardous hard rime accretion in the Polar Urals], *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, 2022, no. 4(386), p. 20–35, DOI: 10.37162/2618-9631-2022-4-20-35. (In Russian)
- Leonov I.I., Arzhanova N.M. Meteorologicheskie usloviya obrazovaniya golosedno-izmorozevykh otlozhenij na territorii Rossii [Meteorological conditions for the formation of ice accretions in Russia], *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya*, 2023, vol. 9, no. 1, p. 107–126, DOI: 10.21513/2410-8758-2023-1-107-126. (In Russian)
- Mann H. Nonparametric tests against trend, *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1945, 245–259, DOI: 10.2307/1907187.
- Nastavleniya gidrometeorologicheskimi stanciyami i postami, vyp. 3, ch. 1 [Instructions for hydrometeorological stations and posts, iss. 3, pt 1], Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1985, 301 p. (In Russian)
- Shakina N.P., Homenko I.A., Ivanova A.R., Skriptunova E.N. [Freezing Precipitation Formation and Prediction: Literature Review and Some New Findings], *Trudy Gidrometcentra Rossii* [Proceedings of the Hydrometeorological Centre of Russia], 2012, vol. 348, p. 130–161. (In Russian)
- Sokolikhina N.N., Leonov I.I. Preobladayushchie tipy golosedno-izmorozevykh otlozhenij po nablyudeniyam nastantsiyah Obskoj guby [Dominant types of ice accretions according to observations at Ob' Bay stations], *Arctic and Antarctic Research*, 2023, 69(3):343–355, DOI: 10.30758/0555-2648-2023-69-3-343-355. (In Russian)
- Stewart R.E., Thériault J.M., Henson W. On the Characteristics of and Processes Producing Winter Precipitation Types near 0°C, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2015, vol. 96, p. 623–639, DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00032.1.
- Surkova G.V., Lavrenteva A.I., Tkacheva E.S. Regionalnye osobennosti povtoryaemosti golosedna na severe evropejskoj territorii Rossii na fone menyayuschegosya klimata [Regional features of glaze ice events frequency in the north of the European territory of Russia in the current changing climate], *Arctic and Antarctic Research*, 2024, 70(1):21–32, DOI: 10.30758/0555-2648-2024-70-1-21-32. (In Russian)
- Surkova G.V., Lebedeva A.A. Sovremennyyi rezhim temperatury vozdukh v diapazone okolo 0°C na evropejskoi chasti Rossii [Modern regime of air temperature in the range of about 0°C in the European part of Russia], *Meteorologiya i Gidrologiya*, 2019, no. 9, p. 95–99. (In Russian)
- Tretij ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation], ed. V.M. Kattsova, Roshydromet, St. Petersburg, High-tech Technologies Publ., 2022, 676 p. (In Russian)
- Web source*
All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHMI-WDC), URL: <https://meteo.ru> (access date 01.03.2024).

Received 24.06.2024

Revised 25.11.2024

Accepted 21.01.2025

МОРФОЛОГИЯ ПОКМАРОК НА ШЕЛЬФЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕЕ ФАКТОРЫ

А.П. Денисова¹, Е.А. Еременко², Е.А. Мороз³, А.В. Кохан⁴, Е.А. Сухих⁵,
Р.А. Ананьев⁶, С.Ю. Соколов⁷

^{1-4,7} Геологический институт РАН, лаборатория геоморфологии и тектоники дна океанов

² Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, кафедра геоморфологии и палеогеографии

⁵ Геологический институт РАН, лаборатория тепломассопереноса

⁶ Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, лаборатория сейсмостратиграфии

¹ Мл. науч. сотр.; e-mail: anden6900@gmail.com

² Доц., канд. геогр. наук; e-mail: eremenkoeaig@gmail.com

³ Ст. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук; e-mail: morozzea@gmail.com

⁴ Мл. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук; e-mail: kkkkk1987@mail.ru

⁵ Науч. сотр.; e-mail: sukhikh_ea@mail.ru

⁶ Ст. науч. сотр.; e-mail: corer@mail.ru

⁷ Гл. науч. сотр., д-р геол.-минерал. наук; e-mail: sysokolov@yandex.ru

По результатам комплексных геолого-геофизических работ, выполнявшихся в ходе 38, 52, 56-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов» и 51-го рейса НИС «Академик Борис Петров», проведено исследование флюидогенного рельефа на пяти полигонах в юго-восточной части шельфа Баренцева моря. На цифровых моделях рельефа дна, полученных в результате многолучевой батиметрической съемки, выявлено 2218 покмарок, диаметр которых изменяется в широких пределах – от первых десятков метров до 250 м, а глубина – от 0,2 до 7,8 м. Выполнен морфометрический анализ: проанализирована связь площади, глубины и формы поперечного профиля покмарок с физико-географическими условиями (тектоническое строение, литология четвертичных отложений, фоновый рельеф, гидрологические условия). В распространении покмарок и других проявлений дегазации прослеживается приуроченность к разломной сети, где тектонические нарушения выступают путями подъема флюидов на поверхность из газонасыщенных отложений преимущественно мезозойского возраста, что доказывает глубинное происхождение флюидов. Тектоническая структура территории также находит свое отражение во взаимном расположении покмарок внутри полигонов: очаги повышенной плотности расположения форм отмечаются вблизи разломных зон и в понижениях, имеющих, вероятно, тектоническое происхождение. Установлено, что морфология покмарок определяется в первую очередь литологическим составом приповерхностных четвертичных отложений. Крупные формы с корыто- и U-образным профилем чаще встречаются в районах распространения супесчаных и песчаных отложений, мелкие формы с V-образным поперечным профилем приурочены к ареалам распространения более плотных глинистых отложений. Высказано предположение, что наиболее глубокие покмарки встречаются на участках, которые в недавнем прошлом были покрыты ледниковыми покровами, что может быть связано с активизацией дегазации после снятия ледниковой нагрузки. Значительное влияние на изменение морфологии покмарок оказывают современные экзогенные субаквальные процессы. Под воздействием склоновых процессов происходит усложнение поперечного профиля покмарок, проявляющееся в виде асимметрии и микроступенчатости, а влияние придонных течений приводит к удлинению форм.

Ключевые слова: дегазация, флюидогенный рельеф, многолучевое эхолотирование, сейсмоакустическое профилирование, морфометрический анализ

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.8

ВВЕДЕНИЕ

В шельфовых зонах морей Мирового океана широкое распространение имеет процесс дегазации – подъем флюидов через осадочный чехол к поверхности дна и в водную толщу. Участвующие в этом процессе газы имеют различную природу: выделяются газы неорганического и органического происхождения, а также специфического – газогидратно-

го [Judd, Novland, 2007]. Среди газов органического происхождения наиболее распространенным является метан, что было продемонстрировано геохимическими исследованиями в акваториях Мирового океана [Рокос, 2009; Шнюков, Топачевский, 2019]. В шельфовой зоне Баренцева моря ключевой составляющей дегазации является метан глубинного происхождения. Источниками миграции флюидов

могут выступать как юрско-меловые коллекторы углеводородов, так и породы нижележащих комплексов [Ступакова, 2011; Соколов и др., 2021].

Активное газопроявление в регионе исследований отмечается как в виде аномалий в осадочном чехле и водной толще, так и в виде флюидогенного рельефа на поверхности дна, представленного преимущественно покмарками (rockmarks) – изометричными блюдцеобразными понижениями. Существует несколько различных гипотез, описывающих механизм формирования покмарок, однако, большинство исследователей [Judd, Hovland, 2007; Миронюк, Росляков, 2019; Шнюков, Топачевский, 2019] придерживаются мнения, что эти воронки формируются в результате прорыва флюидов через толщу плотных донных осадков и взмучивания вещества с поверхности. Исследования в районах развития субаквальной мерзлоты [Бородкин и др., 2019] показывают, что в таких условиях покмарки могут представлять собой аналог воронок газового выброса, которые в последние годы обнаружены в ряде регионов криолитозоны [Богоявленский, 2014; Кизяков и др., 2015]. В таком случае покмарки являются вторичными формами, сформированными взрывами пингоподобных поднятий, давление флюидов под которыми достигло критических отметок.

Впервые покмарки были выявлены на континентальном шельфе Новой Шотландии в ходе батиметрической съемки с применением гидролокатора бокового обзора [King, McLean, 1970], а дальнейшие исследования позволили обнаружить аналогичные формы рельефа в различных регионах Мирового океана. Крупные области распространения покмарок выявлены на шельфе вдоль северной части восточного побережья Северной Америки [Andrews et al., 2010], в акватории Северного, Норвежского [Judd, Hovland, 2007], Балтийского, Черного морей [Рыбак, Ступина, 2019], в Бискайском и Гвинейском заливах [Judd, Hovland, 2007], в центральной и западной частях Средиземного моря [Шнюков, Топачевский, 2019], а также в акваториях морей Северного Ледовитого океана (Бофорта [Blasco et al., 2013], Карском [Миронюк, Росляков, 2019; Кохан и др., 2023], Лаптевых [Миронюк, Росляков, 2019], Восточно-Сибирском [Кохан и др., 2024], Чукотском [Логвина и др., 2011]). Важно отметить, что размеры обнаруженных покмарок в различных регионах изменяются в очень широких пределах. Наиболее крупные формы, имеющие диаметр до 900 м (в редких случаях более километра) при глубине в первые десятки метров, зафиксированы в Британской части акватории Северного моря, в Чукотском и Восточно-Сибирском морях. Наиболее мелкие формы, распространенные, например, в Норвежской части Северного моря и в прибрежной части шельфа моря Бофорта, имеют ди-

аметр в первые десятки метров и глубину в первые метры. В настоящее время не существует уверенного представления о времени существования покмарок на морском дне с момента окончания активной дегазации. Это обусловлено в первую очередь тем, что исследование покмарок с применением геофизических методов высокого разрешения началось относительно недавно, что не позволило накопить достаточно информации об эволюции этих форм. Однако исследования на месте прорыва газа при бурении в Северном море, где произошло образование покмарки с диаметром около 400 м и глубиной 31 м, показали, что с 1961 по 1995 г. глубина этой формы уменьшилась в два раза. Такие скорости заполнения форм могут свидетельствовать о том, что возраст выявленных покмарок не превышает сотни лет [Богоявленский, 2014]. Аналогичные предположения выдвигаются относительно покмарок на шельфе Баренцева моря, в которых практически не наблюдается заполнения современными морскими осадками, что говорит о позднеголоценовом возрасте образования этих форм [Мороз и др., 2020]. Однако в этом регионе обнаружены также частично и полностью погребенные покмарки, образование которых относится к периоду голоценового послеледникового потепления [Миронюк, Росляков, 2019].

Детальные исследования флюидогенных форм рельефа проводились в пределах юго-восточной и восточной частей Баренцева моря. Эта территория неоднократно перекрывалась покровным ледником в среднем и позднем плейстоцене [Svendsen et al., 2004], что обуславливает широкое распространение форм ледникового и водно-ледникового рельефа (моренные гряды, мегамасштабная ледниковая линейность, друмлины, роген-морены, камы, озы, подледниковые каналы и пр.) [Svendsen et al., 2004; Гусев и др., 2012; Batchelor et al., 2018]. В настоящее время рельеф шельфа Баренцева моря развивается под действием комплекса экзогенных (аккумуляция морских осадков, склоновые и ледовые процессы, деятельность придонных течений) и эндогенных процессов, а также процессов смешанного генезиса, к которым относится флюидогенное рельефообразование. Работы, посвященные признакам дегазации на Баренцево-Карском шельфе, также многочисленны [Judd, Hovland, 2007; Chand et al., 2012; Rise et al., 2015; Миронюк, Росляков, 2019], при этом в них нередко подчеркивается, что глинистые ледниковые отложения могут играть роль флюидоупора, препятствуя проникновению флюидов к поверхности дна. Целью выполненных работ являлось детальное изучение морфологии флюидогенных форм рельефа шельфа Баренцева моря и выявление связи между морфометрическими параметрами покмарок и основными геолого-географическими условиями акватории.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рельеф дна, а также строение верхней части разреза осадочного чехла в районе распространения флюидогенных форм изучались в рамках комплексных геолого-геофизических работ в ходе 38, 52, 56-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов» и 51-го рейса НИС «Академик Борис Петров» [Никифоров и др., 2019; Nikiforov et al., 2024]. Для детальных исследований было выбрано пять ключевых полигонов, сосредоточенных в пределах трех районов (рис. 1): район А к северо-востоку от полуострова Рыбачий (полигон № 1), район Б у северной оконечности Новой Земли (полигон № 2), район В у южной оконечности Новой Земли (полигоны № 3, 4 и 5). Полигон № 1 расположен на глубине 111–265 м на

западном склоне Нордкапско-Мурманского желоба. Полигон № 2 лежит в пределах плато Литке на глубинах от 240 до 364 м. Полигон № 3 расположен в днище Южно-Новоземельского желоба на глубинах от 165 до 175 м. Полигоны № 4 и 5 находятся в непосредственной близости друг от друга (на расстоянии порядка 10 км) в пределах северо-восточного склона Южно-Новоземельского желоба в диапазоне глубин от 61 до 210 м. Данные полигоны имеют весьма разнообразные геолого-геоморфологические условия (фоновый рельеф, строение и состав верхней части разреза донных отложений, тектоническую позицию) и параметры выявленных на них флюидогенных форм, что позволяет оценить вклад внешних факторов в морфологию покмарок (рис. 2).

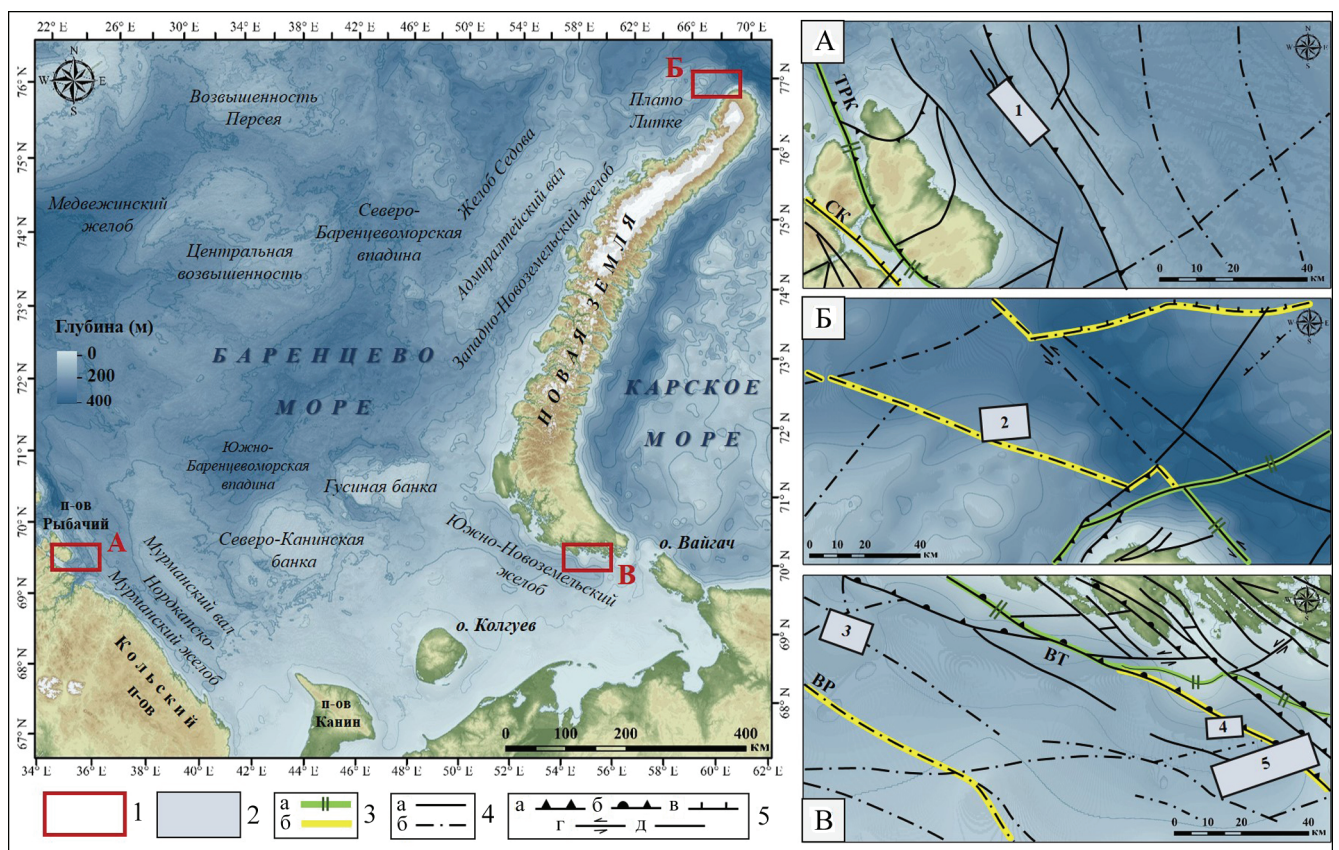


Рис. 1. Расположение полигонов исследования. Изобаты проведены по данным цифровой модели GEBCO_2014 [Weatherall et al., 2015], разломная сеть оцифрована по данным [Артюшков и др., 2020]:

Полигоны: А – № 1; Б – № 2; В – № 3–5; 1 – увеличенные фрагменты участков исследования; 2 – положение полигонов; 3 – границы (а – плит и складчатых систем; б – блоков земной коры); 4 – разрывные нарушения (а – выходящие на поверхность; б – скрытые в фундаменте и осадочном чехле); 5 – морфокинематическая характеристика разрывных нарушений (а – взбросы; б – взбросо-надвиги; в – сбросы; г – сдвиги; д – неустановленной морфологии); крупнейшие разломы: ТРК – Тролльфиорд–Рыбачий–Кильдин; СК – сброс Карпинского; ВР – Варандейский; ВТ – Вашуткино–Талотинский

Fig. 1. Survey polygon position. Isobaths are constructed based on DEM GEBCO_2014 [Weatherall et al., 2015], fault pattern is digitalized using data of [Artyushkov et al., 2020]:

Poligons: А – 1; Б – 2; В – 3–5; 1 – enlarged inserts of survey areas; 2 – survey polygon position; 3 – boundaries of (a – lithospheric plates and orogenic systems; б – crustal blocks); 4 – faults (a – at the surface; б – concealed in fundament and sediment cover); 5 – fault morphokinematic characteristics (a – reverse faults; б – thrust faults; в – normal faults; г – strike-slip faults; д – unknown morphology); largest faults: ТРК – Trollfjörd–Rybachiy–Kildin; СК – Karpinsky Normal Fault; ВР – Varandey; ВТ – Vashutkino-Talotinskiy

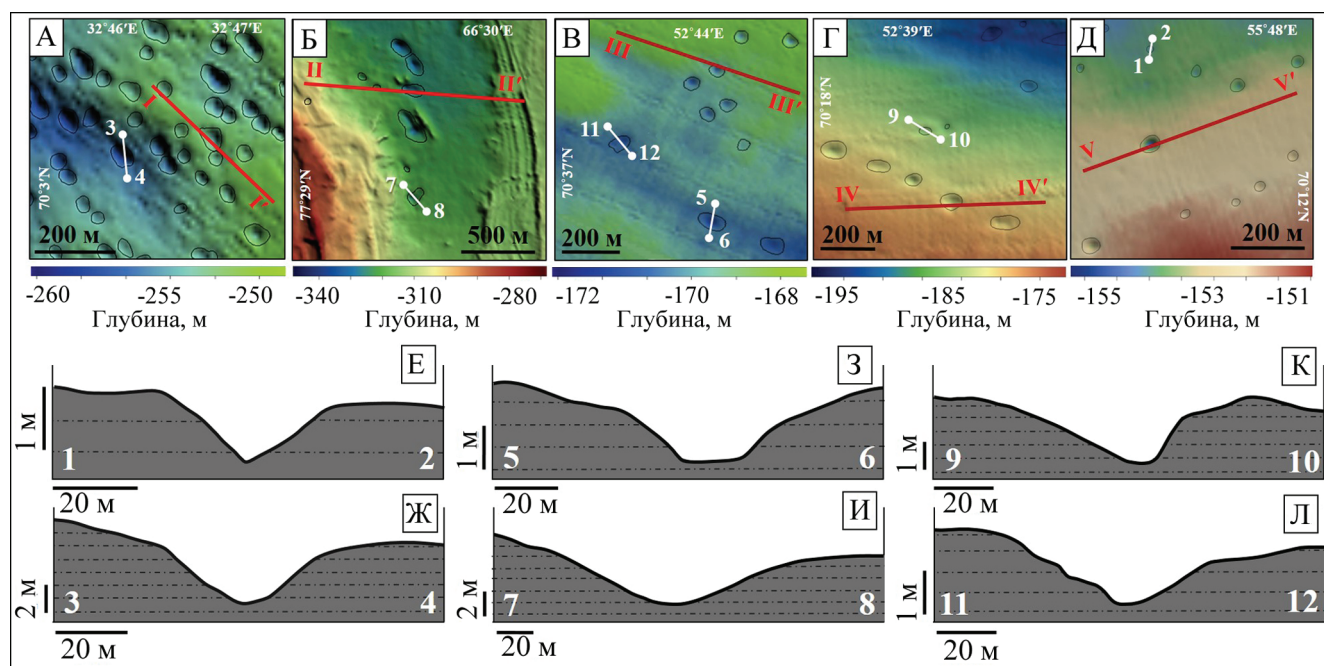


Рис. 2. Фрагменты цифровой модели рельефа полигонов (А – полигон №1; Б – полигон №2; В – полигон №3; Г – полигон №4; Д – полигон №5) с примерами характерных батиметрических профилей через покмарки (Е – покмарка с V-образным профилем; Ж – покмарка с U-образным профилем; З – покмарка с ящикообразным профилем; И – покмарка с корытообразным профилем; К – ассиметричная покмарка; Л – признаки смещения материала на склоне покмарки). Красным цветом на фрагментах цифровых моделей рельефа дна показаны линии сейсмоакустических профилей (рис. 3), белым – линии профилей по цифровой модели

Fig. 2. Fragments of the digital elevation model of polygons (А – polygon 1; Б – polygon 2; В – polygon 3; Г – polygon 4; Д – polygon 5) with typical bathymetric profiles across pockmarks (Е – V-shaped pockmark; Ж – U-shaped pockmark; З – box-shaped pockmark; И – tray-shaped pockmark; К – asymmetric pockmark; Л – traces of sediment displacement on the slope of a pockmark). The lines of seismoacoustic profiles are shown in red on the fragments of digital models of the bottom relief (Fig. 3), and the lines of profiles according to the digital model are shown in white

Для батиметрической съемки поверхности дна использовался гидроакустический комплекс RESON Seabat, включающий в себя: эхолот T50-R, систему позиционирования GPS, датчик движения и гироскоп Octans, стационарный датчик скорости звука в воде SVP 70. Для изучения верхней части осадочного разреза применялись непараметрический профилограф EdgeTech 3300 с частотой излучаемого сигнала 2–12 кГц и длиной импульса 20 мс, а также параметрический профилограф Parasound P35, который позволяет снимать в двух режимах: на низких 2,5 кГц (для осадочной толщи) и высоких 21 кГц (для водной толщи) частотах. Съемка на полигонах приводилась на параллельных галсах с эффективным перекрытием около 20% (после удаления краевых некондиционных отскоков), в зависимости от глубины съемки межгалсовое расстояние изменялось от 50 до 200 м для обеспечения сплошного покрытия площади полосами озвучивания.

На камеральном этапе обработка данных многолучевого эхолотирования выполнялась в программном пакете PDS2000 с построением цифровых моделей рельефа дна с пространственным разре-

шением 10 м и вертикальным – 0,1 м. Обработка сейсмических данных проводилась в программе Kingdom Software 8.3. В ходе интерпретации сейсмических разрезов пикировались акустические аномалии, связанные с дегазацией. В осадочном чехле они представлены яркими и плоскими пятнами, вертикальным акустическим освещением, прогибанием рефлекторов и газовыми трубами, в водной толще – корневыми и бескорневыми вертикальными аномалиями типа «факел», повышенной акустической мутностью [Judd, Novland, 2007; Соколов и др., 2021].

Для дальнейшего анализа морфологии покмарок на полигонах было проведено дешифрирование и оконтуривание флюидогенных форм рельефа в программной среде ArcGIS на основе цифровых моделей рельефа, полученных в результате батиметрической съемки. Для каждой покмарки определялись следующие морфометрические параметры: 1) глубина моря; 2) длина; 3) ширина; 4) удлиненность (ширина/длина) формы; 5) ориентация длинной оси формы (азимут); 6) относительная глубина; 7) поперечный профиль; 8) асимметрия склонов (есть/нет);

9) наличие признаков смещения осадка на склонах; 10) экспозиция наиболее крутого склона (азимут); 11) максимальная крутизна склонов; 12) расположение относительно других форм (одиночная, в цепочке или в группе); 13) азимут ориентации цепочек (для форм, собранных в цепочки); 14) площадь формы. Большая часть параметров извлекалась из шейп-файлов, содержащих выделенные флюидогенные формы в виде полигональных объектов, и ЦМР при помощи встроенных инструментов ПО ArcGIS версии 10.6. Для получения длины и ширины форм, а также азимута ориентации удлинённых форм применялся инструмент Minimum Bounding Geometry. Максимальная и минимальная глубина моря в пределах форм, их относительная глубина, а также наибольшая крутизна склонов выделялись с помощью инструмента Zonal Statistics. Часть параметров извлекалась из ЦМР в ручном режиме: поперечный профиль форм, асимметрия склонов и наличие признаков смещения осадка на склонах определялись путем построения профилей в ПО GlobalMapper; по ЦМР визуально оценивалось взаимное расположение форм.

Далее был проведен расчет минимальных, максимальных и средних значений, моды и медианы основных морфометрических показателей (длина, ширина, относительная глубина, коэффициент удлиненности форм, площадь); для ряда других показателей (азимут удлиненности форм, форма поперечного профиля, азимут наиболее крутого склона и др.) – рассчитана доля форм, имеющих то или иное значение параметра. Для оценки плотности покмарок в пределах ключевых полигонов использовался инструмент Kernel Density в ПО ArcGIS 10.6. Этот инструмент вычисляет плотность точечных объектов (в роли которых выступали центральные точки покмарок) вокруг каждой ячейки выходного растра. Применение такого подхода обосновано большой разницей в площадях между полигонами и неравномерностью расположения самих флюидогенных форм, что не позволяет корректно оценить их плотность расчетом плотности для полигонов в целом. Для каждого полигона также рассчитывался линейный коэффициент корреляции Пирсона между следующими параметрами: относительная глубина, площадь форм, длина форм, ширина форм, коэффициент удлиненности. При анализе полученных значений для оценки степени взаимосвязи параметров применялась шкала Чеддока [Орлов, 2020].

На заключительном этапе исследований выполнен анализ связи площади, глубины и формы поперечного профиля покмарок с составом и генезисом четвертичных отложений, а также составом поверхностных осадков. Для этого был использован инструмент Overlay (Intersect) в ПО ArcGIS 10.6, при

помощи которого для каждого из полигональных объектов, соответствующего выделенной на ЦМР форме, извлекались данные из ранее оцифрованных картографических материалов: карта распространения и мощности мерзлых пород [Соловьев, Гинсбург, 2004], схема тектонического строения региона [Шипилов, Верниковский, 2010], карты донеоплейстоценовых образований, четвертичных образований, прогноза нефтегазоносности, литологические ГГК (третьего поколения) в масштабе 1 : 1 000 000 [Костин, Орго, 2013; Пенедюк, 2013; Гусев, Костин, 2014; Радченко, 2014].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор полигонов для детального исследования основывался на различиях в геолого-геоморфологических условиях флюидогенного морфолитогенеза. Полигон № 1 расположен на западном склоне Нордкапско-Мурманского желоба в пределах ледниковой равнины с отдельными участками крупных гряд и холмов с интенсивной экзарационной переработкой ледовыми процессами. На северо-западе полигона глубины значительно увеличиваются, выделяется область полого-наклонной морской равнины. Полигон № 2 находится в пределах плато Литке, на юге полигона рельеф представлен грядово-холмистой и пологоволнистой ледниковой равниной с флютинг-моренами и бороздами ледового выпаживания. В центральной и северной частях полигона донный рельеф значительно переработан флювиогляциальными потоками и на большой площади представляет собой зандровую равнину, осложненную схожими по морфологии с озами извилистыми грядами. Рельеф дна на полигоне № 3, расположенном в днище Южно-Новоземельского желоба, представлен холмисто-грядовой на юго-западе и холмисто-западинной на северо-востоке ледниковой равниной. В пределах полигона четко выделяются ледниковые гряды двух генераций: крупные гряды имеют юго-восточное простирание, перпендикулярно им располагается серия более мелких изогнутых в плане гряд. Полигоны № 4 и 5 лежат в пределах северо-восточного склона Южно-Новоземельского желоба. Фоновый рельеф на большей части этих полигонов представлен полого-наклонной морской равниной, однако в восточных частях выделяются участки денудационной волнистой равнины с отдельными отпрепарированными ледниковыми процессами (экзарацией) грядами юго-восточного простирания.

Литологический состав донных отложений также весьма неоднороден. На основе данных акустического профилирования (рис. 3) в верхней части осадочного разреза выделяются сейсмofации, интерпретация которых была дополнена материа-

лами с литологических карт [Костин, Орго, 2013; Пенедюк, 2013; Радченко, 2013; Гусев, Костин, 2014] и литературными данными по сейсмострати-

графическому расчленению разреза четвертичных отложений Баренцево-Карского бассейна [Костин, Тарасов, 2011].

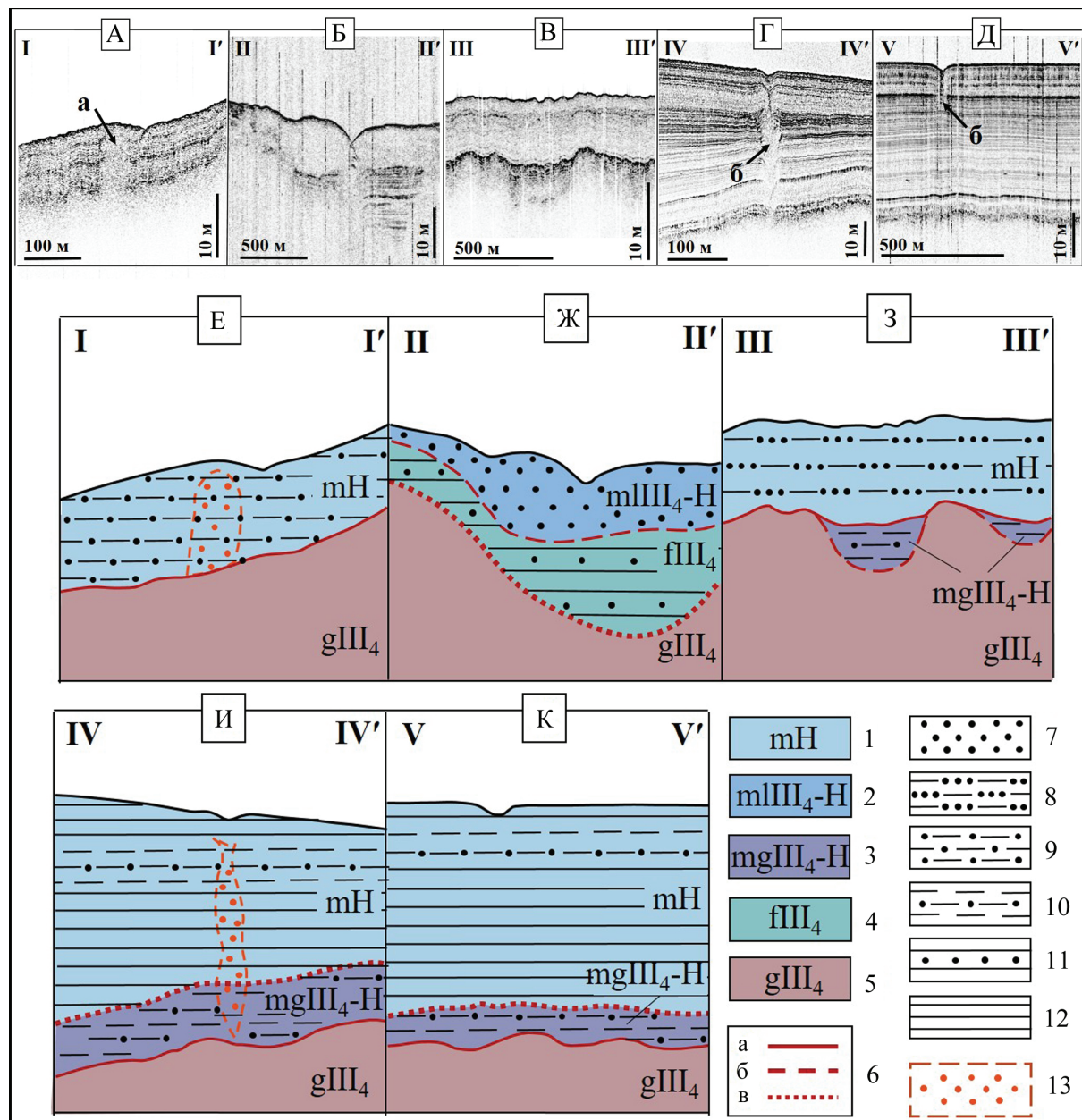


Рис. 3. Сейсмоакустические разрезы в пределах выделенных фрагментов полигонов, отражающие типичное для полигонов верхней осадочной толщи (А–Д) и их интерпретация (Е–К): а – вертикальное акустическое осветление; б – подводящие каналы. Положение профилей показано на рис. 2. 1–5 – стратиграфо-генетическая интерпретация отложений: 1 – морские отложения голоценового возраста; 2–3 – отложения поздневалдайско-голоценового возраста: 2 – ледово-морские, 3 – ледниково-морские; 4–5 – отложения поздневалдайского возраста: 4 – флювиогляциальные, 5 – ледниковые; 6 – границы сейсмofаций: а – четкие, б – нечеткие, в – предполагаемые; 7–12 – литологический состав верхней осадочной толщи: 7 – пески, 8 – супеси, 9 – алевроиты, 10 – глины с примесью алевроита, 11 – супесчаные слоистые глины, 12 – слоистые глины; 13 – область измененных под воздействием флюидов осадков

Fig. 3. Seismo-acoustic sections within the selected polygon fragments reflecting typical upper sedimentary layer structure (A–D) and their interpretation (E–K): a – vertical acoustic lighting, б – feeder channels. The position of the sections is shown in Fig. 2. 1–5 – Stratigraphic and genetic sediment interpretation: 1 – Holocene marine sediments; 2–3 – Late Valdai-Holocene sediments: 2 – diamict sediments; 3 – glacial-marine sediments; 4–5 – Late Valdai sediments: 4 – fluvio-glacial; 5 – glacial; 6 – seismofacies boundaries: a – clear, б – unclear, в – assumed; 7–12 – lithologic composition of upper sedimentary layers: 7 – sands; 8 – sandy loams; 9 – silty clays; 10 – clays with admixture of silty clay; 11 – layered sandy loamy clays; 12 – layered clays; 13 – area of fluid-altered sediments

Непосредственно в области распространения покмарок на полигонах № 1 и 3 (см. рис. 2) с поверхности вскрывается сейсмофа́ция слабостратифицированных акустически осветленных осадков мощностью до 10–15 м (см. рис. 3А, В), подстилаемых сейсмофа́цией акустически немых плотных отложений с ярким отражающим рефлектором их кровли. На полигоне № 3 на границе данного перехода отмечается также сейсмофа́ция маломощных (до 7–10 м) слабослоистых осадков, залегающая в виде линз. По акустической картине, рельефу и литературным данным было установлено, что верхняя сейсмофа́ция представляет собой голоценовые супесчаные и алевроито-глинистые морские осадки (см. рис. 3Е, 3), нижняя сейсмофа́ция характеризует ледниковые поздневалдайские отложения, сложенные преимущественно песчано-алеврит-пелитовыми переуплотненными до полутвердого состояния микритами с содержанием грубообломочного материала [Костин, Тарасов, 2011]. Характер сейсмомозаписи верхней толщи на разрезах в пределах полигонов № 4 и 5 значительно отличается: с поверхности вскрываются акустически хорошо проницаемые ритмично слоистые осадки мощностью до 65 м (см. рис. 3Г, Д), также интерпретируемые как голоценовые, но имеющие более тонкодисперсный состав (глины с примесью алевроитов). Они подстилаются более уплотненными отложениями с яркими отражающими рефлекторами на границах в пределах кровли и подошвы данной сейсмофа́ции. Данная толща, а также линзы второй от поверхности сейсмофа́ции на полигоне № 3 предположительно представляют собой поздневалдайско-голоценовые ледниково-морские отложения, сложенные алевропелитами с примесью песка, гальки и гравия и накапливающимися постепенно в неровностях донного рельефа на этапе дегляциации поздневалдайского ледникового покрова. Как на полигонах № 1 и 3, ниже данной толщи залегает сейсмофа́ция акустически немых отложений, интерпретируемых как ледниковые.

В пределах полигона № 2 с поверхности вскрывается сейсмофа́ция с «хаотической» неупорядоченной акустической структурой без протяженных отражающих рефлекторов, ее мощность не превышает 20–25 м (см. рис. 3Б). Ниже нее выделяется толща ритмично слоистых осадков, не выдержанных по мощности (до 20 м в видимом диапазоне). Данная толща не имеет яркого отражающего рефлектора – подошвы, акустический сигнал с глубиной постепенно затухает. На основе ГГК [Костин, Орго, 2013] и форм донного рельефа на полигоне можно предположить, что вторая от поверхности сейсмофа́ция характеризует развитие поздневалдайских флювиогляциальных отложений, сложен-

ных чередованием тонких глинистых отложений с песчаными прослоями, а первая – ледово-морских супесчаных осадков (см. рис. 3Ж). Обе толщи постепенно накапливались на этапе дегляциации в поздневалдайское время и последующего активного ледового разноса [Гусев и др., 2012]. По совокупности интерпретации всех сейсмоакустических разрезов в пределах данного полигона также предполагается наличие акустически немой сейсмофа́ции подстилающих ледниковых отложений, залегающей вблизи поверхности в пределах моренных гряд, однако ее кровля на данном полигоне имеет нечеткую, а на отдельных участках и предполагаемую границу.

На сейсмоакустических разрезах также присутствуют акустические аномалии, связанные с газонасыщением. Например, непосредственно под покмарками на полигонах № 4 и 5 фиксируются газовые трубы и прогибание рефлекторов, на полигоне № 1 на участках распространения флюидогенных форм выделяются области вертикального осветления. Однако в пределах полигона № 3 акустические аномалии в водной толще и осадочном чехле отсутствуют, что может свидетельствовать о неактивности дегазации в настоящее время.

На полигонах детального исследования было выявлено 2218 покмарок, большая часть которых сосредоточена на полигонах № 1 (1607 шт.) и 5 (399 шт.), в то время как на остальных полигонах количество флюидогенных форм исчисляется десятками (табл. 1). Плотность покмарок различна: максимальная отмечается на полигоне № 1 (более 300 шт/км²), минимальная – на участках № 2, 3 и 5 (не более 9 шт/км²).

Коэффициент удлиненности покмарок (рис. 4Г) изменяется в пределах от 0,2 до 1. Однако, несмотря на наличие форм с выраженной удлиненностью (коэффициент удлиненности которых меньше 0,5), преобладающими являются относительно изометричные покмарки, среднее значение коэффициента удлиненности по всем полигонам составляет 0,8. Наименьший средний показатель коэффициента удлиненности наблюдается на полигоне № 4 – 0,6, для остальных полигонов он составляет от 0,7 до 0,8.

Для вытянутых форм определялся азимут удлиненности. На полигоне № 4 преобладают формы, ориентированные на восток, на полигоне № 2 – формы субмеридиональной удлиненности. На полигоне № 5 преобладают формы, вытянутые в северном направлении, однако, для него также характерно некоторое отклонение ориентации к западу. Для остальных полигонов отмечается ориентация вытянутых форм на север и северо-восток. Внутри полигонов в большинстве случаев отмечается сглаженность пиков распределения азимутов вытянутости форм. На четырех из

пяти изучаемых полигонов ориентация большинства вытянутых форм распределяется между двумя или тремя соседними румбами. Только на полигоне № 4 более половины вытянутых форм сосредоточены в пределах одного румба (63%). Также стоит отметить полигон № 3, в пределах которого более трети покмарок (35,9%) не являются удлинёнными.

Важно отметить, что длина покмарок сильно отличается как между ключевыми полигонами, так и внутри них (см. рис. 4Б, В). Максимальный разброс покмарок по длине наблюдается на полигоне

№ 2, где также фиксируется самое большое значение данного показателя. Наименьший разброс форм по длине и наименьшее ее значение наблюдается на полигоне № 1. Выявлено, что величина разброса по длине определяется максимальным значением в пределах полигонов, так как минимальные значения весьма однородны по всем пяти полигонам и составляют от 12 до 20 м. Самые большие значения средней длины покмарок наблюдаются на полигонах № 2 и 4 (83 и 86 м соответственно), наименьшее значение – на полигоне № 1 (38 м).

Таблица 1

Пространственная характеристика покмарок на ключевых полигонах

Номер полигона	Площадь полигона, км²	Количество форм, шт.	Площадь, занятая формами, км² (% от площади полигона)	Максимальная плотность на полигоне (шт./км²)
1	75,88	1607	1,47 (1,93)	300,7
2	98,59	85	0,36 (0,37)	5,1
3	46,04	92	0,30 (0,66)	7,4
4	18,69	35	0,08 (0,42)	44,2
5	159,79	399	0,81 (0,51)	8,5

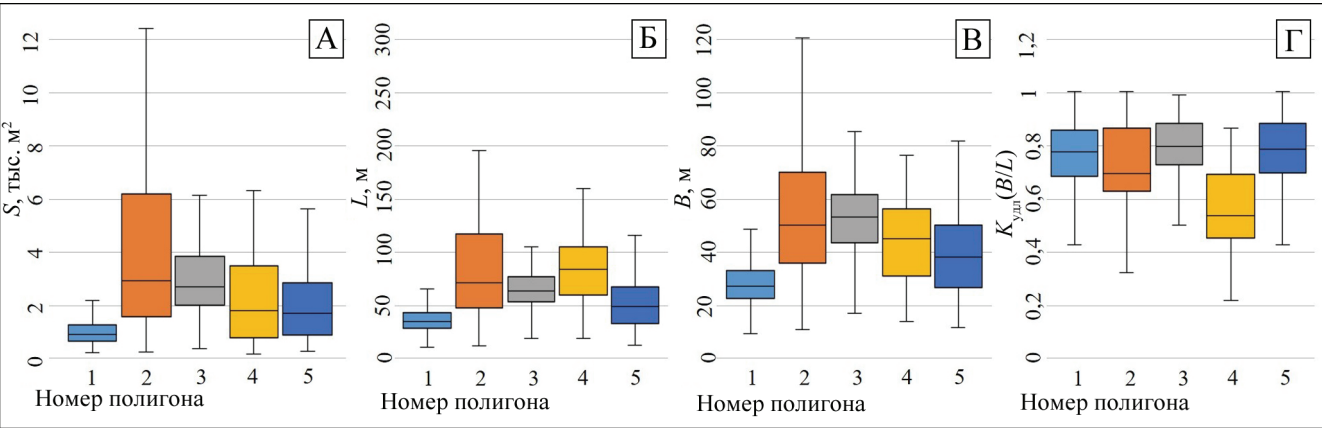


Рис. 4. Основные морфометрические параметры покмарок на полигонах: А – площадь (S); Б – длина (L); В – ширина (B); Г – коэффициент удлиненности ($K_{удл} = B/L$)

Fig. 4. Main morphometric parameters of pockmarks on polygons: А – area (S); Б – length (L); В – width (B); Г – elongation coefficient ($K_{удл} = B/L$)

Анализ распределения покмарок по их плановым размерам (в силу близкой к изометричной форме покмарок использовался параметр площади форм) (см. рис. 4А; 5А, Б) позволил разделить их на три группы: 1) мелкие покмарки с площадью менее 1300 м²; 2) средние покмарки с площадью от 1300 до 2200 м²; 3) крупные покмарки с площадью более 2200 м². За границу между малыми и средними формами принято среднее значение площади, граница между средними и большими формами установлена как «среднее значение + среднеквадратичное отклонение». Формы из первой группы являются

наиболее распространенными и составляют 69% от общего числа покмарок, выявленных на полигонах детального исследования. Средние и крупные формы распространены практически равномерно, к этим группам относится 17 и 14% покмарок соответственно. Наибольшая доля мелких покмарок с площадью менее 1300 м² отмечается на полигоне № 1 (82% от общего числа форм), кроме того, на этом участке лишь у 57 из 1607 покмарок площадь превышает 2200 м². Самая большая доля крупных форм (59%) наблюдается на полигоне № 3. Средние формы распространены достаточно равномерно, их

доля колеблется от 24 до 30% на полигонах № 2–5 и лишь на полигоне № 1 уменьшается до 15%.

Глубина выявленных покмарок изменяется от 0,2 до 7,8 м. Наибольшее значение средней относительной глубины покмарок (рис. 5В) (2,1 м) зафиксировано на полигоне № 2, приближается к нему по этому показателю (1,8 м) полигон № 4. На полигонах № 1, 3 и 5 средняя относительная глубина составляет около 1 м. На всех полигонах детального исследования (см. рис. 4) преобладают покмарки относительной глубиной не более 3 м, покмарки такой глубины составляют 93,6% от их общего числа.

Количество покмарок глубиной от 3 до 4 м составляет 97 шт. на всех полигонах (менее 4,4%). Покмарки глубиной более 4 м единичны в пределах полигонов детального исследования. Важно отметить, что повышенная доля покмарок с глубиной 3 м и более наблюдается на полигоне № 2, где доля таких форм достигает 18,8%. Также важной особенностью полигонов № 2 и 4 является малое количество форм с глубиной менее 1 м (8 штук, т. е. менее 10% на полигоне № 2 и полное отсутствие на полигоне № 4), которые на других полигонах являются наиболее распространенными.

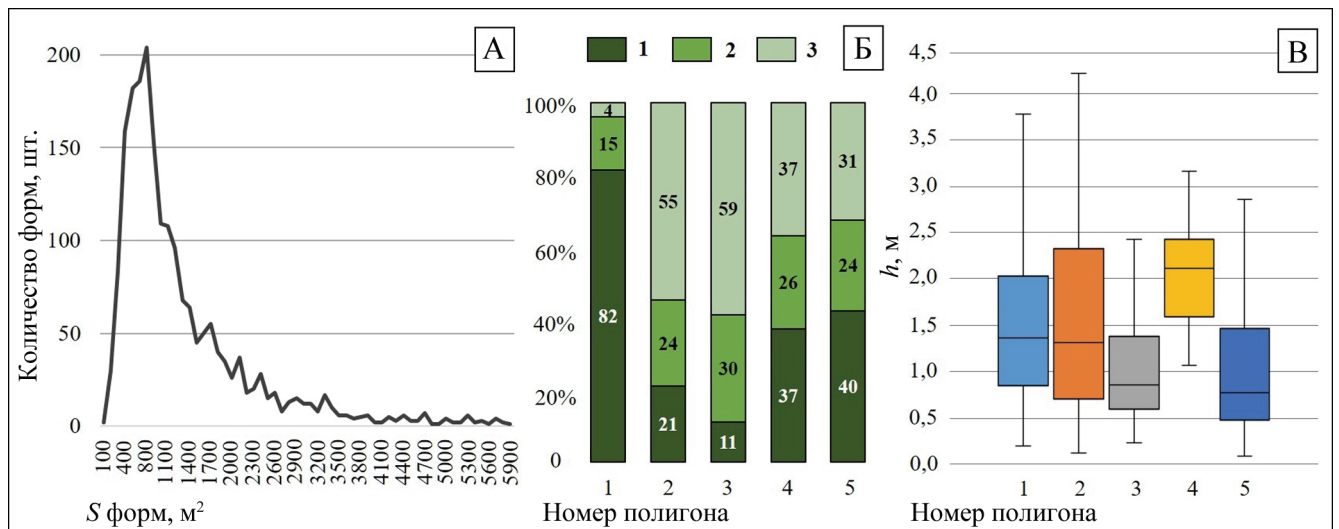


Рис. 5. Площадь и глубина покмарок на полигонах: А – график распределения площади покмарок; Б – относительное распределение покмарок по группам в пределах полигонов: 1 – мелкие (с площадью менее 1300 м²); 2 – средние (с площадью от 1300 до 2200 м²); 3 – большие (с площадью более 2200 м²); В – глубина покмарок в пределах полигонов (h)

Fig. 5. Area and depth of pockmarks: A – graph of pockmark distribution over the area; B – pockmark distribution by groups within polygons: 1 – small (area less than 1300 m²); 2 – average (area between 1300–2200 m²); 3 – large (area more than 2200 m²); В – pockmark depth within polygons (h)

По форме поперечного профиля (рис. 6) в регионе исследований преобладают покмарки с U-образным (см. рис. 2Ж) профилем (52,6% от общего количества покмарок на пяти полигонах детального исследования), второй по распространенности является форма с V-образным (см. рис. 2Е) профилем (31,1% всех выявленных форм). Покмарки с ящико- (см. рис. 2З) и корытообразным (см. рис. 2И) профилем распространены значительно реже, их доля составляет всего 9,7 и 6,7% соответственно.

В пространственном распределении покмарок на полигонах и их взаимном расположении отмечается тектоническая обусловленность, так как разломные нарушения (см. рис. 1А–1В) могут выступать в качестве каналов миграции флюидов. Наибольшая связь фиксируется в пределах выходов главных разломов на поверхность (полигоны № 4 и 5). На полигонах № 4 и 5 в цепочки собрано более 35% выявленных

форм. Данные полигоны расположены в пределах Вашуткино-Талотинской надвиговой зоны, разделяющей Варандейско-Гуляевский и Коротахинско-Русановский блоки земной коры (см. рис. 1В). Проводившиеся ранее в этом районе исследования [Соколов и др., 2021] показали связь газовых аномалий в осадочном чехле с повышенной трещиноватостью пород, обусловленной близостью района к фронтальной части надвиговой системы. Источник флюидов в данном случае глубинный [Ступакова, 2011], проявляющийся в виде аномальных записей в подошве мезозойских комплексов. Район расположения полигонов № 4 и 5 обладает значительным нефтегазоносным потенциалом, под мезозойскими породами здесь вскрываются верхнедевонские, нижнекаменноугольные, нижне- и верхнепермские нефтегазоматеринские толщи [Ступакова и др., 2021]. Однако, несмотря на значительное сходство

полигонов, особенности распределения флюидогенных форм по их площади показывают заметные различия. На полигоне № 4 участки повышенной плотности выявленных покмарок приурочены к бортам и днищу ложбинообразного понижения, заложеному, вероятно, по крупному взбросо-надви́гу. При этом ориентировка цепочек здесь также соответствует направлению Вашуткино-Талотинской надвиговой зоны. На полигоне № 5 покмарки расположены более хаотично и на большей площади, что может быть обусловлено высокой степенью трещиноватости пород на данном участке и перераспределением поднимающихся флюидов. На расположенном в непосредственной близости полигоне № 3 также прослеживается тектоническая обусловленность дегазации. На данном участке обнаружено несколько пересекающихся разломов в фундаменте и осадочном чехле. Эти разломы расположены как параллельно находящейся с северо-востока взбросо-надвиговой зоне, являющейся ответвлением Вашутинско-Талотинского взбросо-надвига, и находящейся к юго-западу Варандейской разломной зоне, так и субперпендикулярно к ним. Для полигона № 3 характерна максимальная доля покмарок, собранных в группы (77% форм), что обусловлено наличием многочисленных пересечений разломной сети разной ориентировки.

Распределение флюидогенных форм в северо-восточной и юго-западных частях Баренцева моря также взаимосвязано с тектоническими нарушениями осадочного чехла. Полигон № 2 приурочен к границе Литкенского и Панкратьевского блоков земной коры (см. рис. 1Б). Ареалы повышенной плотности покмарок вытянуты субпараллельно данному разлому. Возможным источником флюидов может служить выявленная на поднятии мыса Желания крупная антиклинальная Варнекская структура, представляющая собой нефтегазоносный комплекс [Хлебникова и др., 2009], а также локальные структуры, выявленные в верхнепалеозойско-триасовых отложениях поднятия мыса Желания [Шкарубо, Шипилов, 2007]. Полигон № 1 также расположен вблизи взбросовой структуры, сформировавшейся вдоль Троллфиорд–Рыбачий–Кильдинской зоны, разделяющей Восточно-Европейскую платформу (Кольскую микроплиту) и Баренцевскую плиту. Для этого района характерна обширная разломная сеть, в том числе в северной части полигона № 1 фиксируется два второстепенных выходящих на поверхность разлома (см. рис. 1А), параллельных взбросовой структуре, что объясняет высокие значения плотности покмарок на данном участке.

Плановые размеры покмарок, выявленных на полигонах детального исследования, в целом схожи

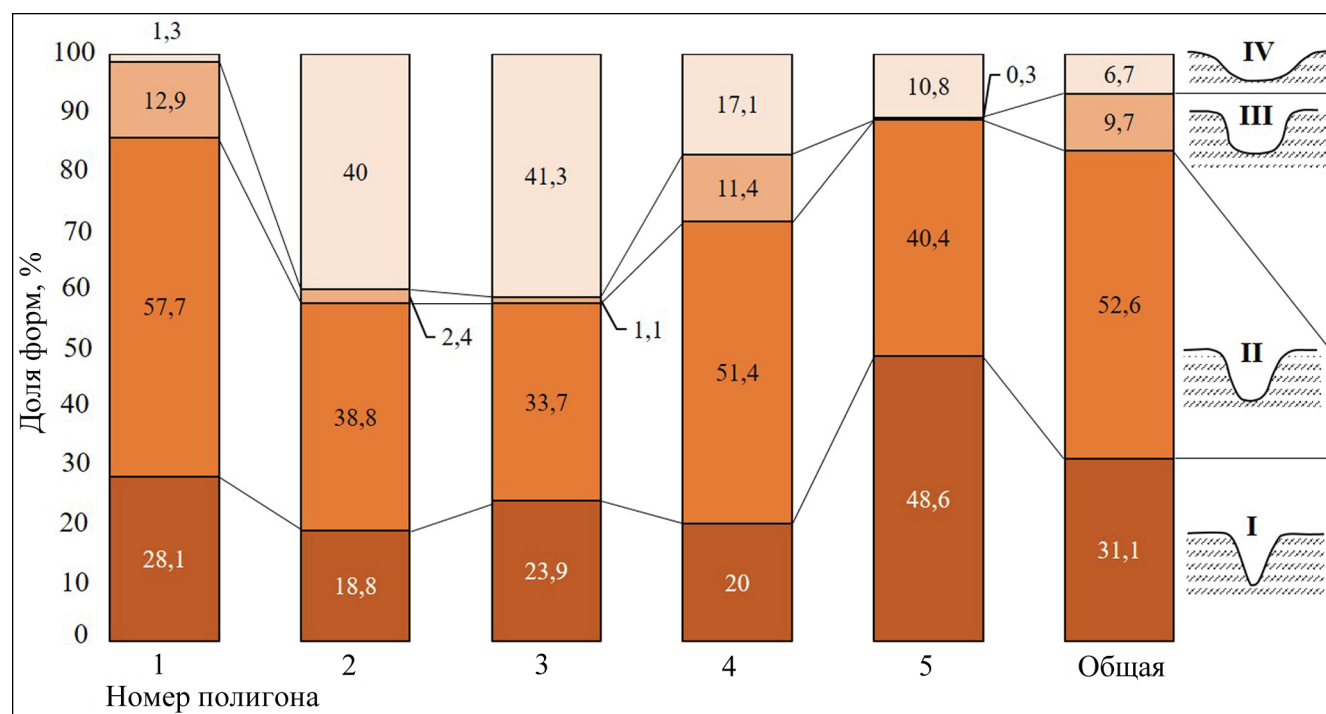


Рис. 6. Доля покмарок с различной формой поперечного профиля (в %):

I – V-образный; II – U-образный; III – ящикообразный; IV – корытообразный

Fig. 6. Pockmark ratio with different cross-sectional profile shape (in %):

I – V-shaped; II – U-shaped; III – box-shapes; IV – tray-shaped

с размерами флюидогенных форм на шельфе Атлантического океана у восточного побережья Северной Америки (обнаруженные там формы имеют средний диаметр около 80 м [Andrews et al., 2010], что соответствует параметрам покмарок на полигонах № 2–5), в Гвинейском заливе (где диаметр покмарок колеблется от 20 до 100 м) [Judd, Hovland, 2007], а также в Норвежском море (здесь покмарки достигают 150 м в диаметре) [Judd, Hovland, 2007]. Покмарки на полигоне № 1 по своим плановым размерам (их средняя длина составляет 38 м) аналогичны формам, обнаруженным в Норвежской части Северного моря и в море Лаптевых (диаметр форм в этих регионах достигает 40 м [Judd, Hovland, 2007; Миронюк, Росляков, 2019]), а также на Карском шельфе, где большинство покмарок имеют диаметр 30–50 м [Миронюк, Росляков, 2019]. Полученные данные согласуются с исследованиями, проводившимися ранее в акватории Баренцева моря. Например, по данным С.Г. Миронюка и соавторов, покмарки на шельфе Баренцева моря имеют диаметр от первых десятков до 100–110 м [Миронюк, Росляков, 2019], а формы в западной части Баренцева моря несколько меньше и имеют диаметр порядка 20–50 м [Rise et al., 2014], что соответствует формам на наиболее западном полигоне № 1. Однако для других морей Арктики

характерны покмарки значительно большего размера: в Чукотском и Восточно-Сибирском морях их диаметр достигает 1 км и более. Эти крупные формы имеют также и значительно большую глубину, которая достигает 20–40 м [Логвина и др., 2011; Кохан и др., 2024]. В других регионах глубина покмарок, как и на полигонах детального исследования, составляет в среднем от 1 до 4 м.

В ходе исследования была установлена связь плановых размеров покмарок с литологическим составом и генезисом четвертичных отложений (табл. 2). Увеличение доли крупнодисперсных фракций в донных отложениях приводит к увеличению площади покмарок. Так, наиболее мелкие покмарки (с площадью менее 1300 м²) в 85% случаев встречаются на участках распространения глинистых алевроитов и глин морского происхождения. Покмарки среднего размера (с площадью от 1300 до 2200 м²) на таких участках встречаются в 63% случаев, а 28% от их общего числа выявлены в ареалах распространения суглинков, глин, алевроитов и песков с включениями гальки и гравия морского и ледово-морского генезиса. Покмарки с площадью более 2200 м² наиболее часто (в 52% случаев) отмечаются на участках распространения морских и ледово-морских отложений со значительной долей песка, гравия, гальки и щебня.

Таблица 2

Доля покмарок (%) с различной площадью, приуроченных к осадкам различного генезиса и состава

Генезис и состав осадков, залегающих с поверхности	Площадь покмарок, м ²		
	Менее 1300	1300–2200	Более 2200
Ледниковые и ледово-морские отложения: песчано-алеврито-глинистые миктиты с повышенным содержанием грубообломочного материала	1	4	16
Морские и ледово-морские отложения: суглинки, глины, глинистые алевроиты, пески с редкой рассеянной галькой, гравием	12	28	52
Морские отложения (в т.ч. морской нефелоид): переслаивание глинистых алевроитов и глин с линзами песка (глинистые илы, переслаивание глин и алевроитов)	85 (1)	63 (4)	20 (12)

Такая закономерность, вероятно, связана с флюидоупорными свойствами четвертичных отложений в верхней части осадочного разреза: в глинистых осадках происходит более сфокусированный прорыв газов на поверхность, что обуславливает меньший диаметр покмарок. Кроме того, на участках распространения ледниковых отложений увеличивается доля покмарок с глубиной 4 м и более. Более глубокие формы приурочены к участкам с близким залеганием ледниковых отложений, что отмечается на полигонах № 1 и 2. На основе этих закономер-

ностей можно выдвинуть предположение о том, что наиболее крупные в плане и по глубине покмарки были сформированы мощными потоками флюидов, прорывавшимися на поверхность после снятия гляциоизостатической нагрузки в результате отступления ледникового покрова. В дальнейшем происходит постепенное уменьшение глубины покмарок за счет оплывания склонов и накопления морских осадков.

Анализ связи морфологических характеристик покмарок с геологическим строением территории показал, что изменение состава поверхностных

донных отложений в сторону огрубления приводит к выполаживанию профиля покмарок (табл. 3). Так, на участках, где с поверхности залегают песчаные алевриты, находится всего 53% покмарок с V-образным поперечным профилем, 66% покмарок с U-образным профилем и 92% форм с ящикообразным профилем. При этом на участках распространения с поверхности алевритов и алевритовых глин ящикообразные формы единичны (всего 2% от их общего числа), в их пределах фиксируются 14% U-образных и 23% V-образных покмарок. Вероятно,

такие закономерности могут быть связаны с разной интенсивностью потока флюидов в отложениях разного литологического состава: в глинистых грунтах, обладающих лучшими флюидоупорными свойствами, прорыв флюидов происходит при большем давлении и, следовательно, с большей скоростью, что приводит к формированию покмарок с отсутствием выраженного днища. В более крупнозернистых осадках дегазация происходит с меньшей интенсивностью за счет рассеивания флюидного потока, что обуславливает сглаженный профиль покмарок.

Таблица 3

Доля покмарок (%) с различной формой поперечного профиля, приуроченных к осадкам различного литологического состава

Состав осадков, залегающих с поверхности	Форма поперечного профиля покмарок			
	V-образный	U-образный	Ящикообразный	Корытообразный
Алевритовые пелиты	20	5	2	11
Пелитовые алевриты	10	6	0	39
Алеврит	17	23	6	33
Песчаный алеврит	53	66	92	17

Несмотря на отсутствие прямых данных о возрасте покмарок, выявленных на полигонах детального исследования, можно выдвинуть ряд предположений о времени их возникновения. На сейсмоакустических профилях было зафиксировано, что покмарки прослеживаются только в отложениях, интерпретированных как голоценовые морские осадки, из чего можно сделать вывод об их возникновении не раньше затопления территории в ходе голоценовой трансгрессии. Кроме того, для большинства форм на полигонах не характерно заполнение современными осадками, что указывает на позднеголоценовый возраст их образования. Частично погребенная покмарка, перекрытая осадками мощностью до 5 м, была обнаружена только на полигоне № 4 (см. рис. 3Г). Однако важно учитывать, что для этого полигона характерна чрезвычайно высокая скорость осадконакопления (мощность голоценовых осадков здесь по данным сейсмоакустического профилирования достигает 65 м).

Развитие покмарок определяется влиянием комплекса экзогенных процессов, которое приводит к моделированию их морфологии, в частности к уменьшению их глубины. Под действием оплывания склоны покмарок нередко становятся ступенчатыми (см. рис. 2Л). На полигонах детального исследования подобные признаки смещения материала на склонах выявлены для 34% форм. Наибольшая интенсивность моделирования покмарок

склоновыми процессами отмечается на полигоне № 3 (признаки смещения материала обнаружены у 58% покмарок), также повышенная доля покмарок с признаками смещения материала на склонах отмечается на полигонах № 4 и 5. Эта закономерность обусловлена как литологическими особенностями донных отложений (на полигонах № 4 и 5 залегают глинистые морские осадки, обладающие низкой устойчивостью к оползанию, в отличие от супесчаных и песчаных отложений морского и ледово-морского происхождения [Козлов, 2005]), так и возрастом самих форм (на полигоне № 3 практически не фиксируются признаки дегазации в осадке и водной толще, что косвенно свидетельствует о древности покмарок).

Кроме того, отмечается воздействие течений и волнения – в процессе «старения» покмарок происходит их вытягивание в плане, согласное с направлением течений. Однако на большей части ключевых полигонов не зафиксировано значительного числа удлинённых покмарок (с соотношением ширина/длина 0,5 и менее). В основном их количество не превышает 5% от общего числа форм. Исключением здесь являются полигоны № 2 (17% форм удлинены) и 4 (54% форм). На полигоне № 2 большинство удлинённых форм ориентировано на ЮЮВ, что согласуется с направлением Восточной ветви Мурманского течения. На полигоне № 4 преобладают формы восточной ориентировки, что

может быть обусловлено воздействием придонных течений, направленных в Карские ворота.

ВЫВОДЫ

1. Для покмарок характерно изменение их морфометрических параметров в весьма широких диапазонах. Длина покмарок на ключевых полигонах изменяется от 12 до 200 м, ширина – от 10 до 150 м, площадь – от 100 до 20 000 м², глубина – от 0,2 до 7,8 м. Плотность покмарок на полигонах также значительно отличается и колеблется от 5 шт./км² на полигоне № 2 до 300 шт./км² на полигоне № 1. Крупные покмарки, площадью более 2200 м², приурочены к районам с ледниковым и водно-ледниковым рельефом. Мелкие формы, площадью менее 1300 м², распространены преимущественно на участках полого-наклонных морских равнин.

2. Участки с наибольшей плотностью покмарок приурочены к близкому залеганию или выходу на поверхность разломов, которые выступают путями

подъема флюидов. В таких районах сфокусированной дегазации покмарки часто бывают ориентированы в цепочки длиной до 750 м.

3. Морфология покмарок связана прежде всего с литологическим составом приповерхностных четвертичных отложений. Крупные покмарки с корыто- и U-образным профилем чаще встречаются в районах распространения супесчаных и песчаных отложений, мелкие формы с V-образным профилем, напротив, приурочены к ареалам распространения более плотных глинистых отложений. Это связано с различиями в проницаемости донных осадков для флюидов, поступающих из недр.

4. На изменение морфологии флюидогенных форм значительное влияние в регионе исследования оказывают современные экзогенные процессы. Воздействие склоновых процессов приводит к усложнению поперечного профиля покмарок (появлению асимметрии и микроступенчатости), а придонных течений – к удлинению покмарок.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-77-10091 «Закономерности проявления дегазации на Баренцево-Карском шельфе и ее влияние на рельеф и донные отложения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артюшков Е.В., Балувев А.С., Богацкий В.И. и др. Шельфовые осадочные бассейны Российской Арктики. Геология, геоэкология, минерально-сырьевой потенциал. Мурманск; СПб.: Реноме, 2020. 544 с.
- Богоявленский В.И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра // Бурение и нефть. 2014. № 9. С. 13–18.
- Гусев Е.А., Костин Д.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Северо-Карско-Баренцевоморская серия. Лист R-39–40. Карта плиоцен-четвертичных образований. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014.
- Гусев Е.А., Костин Д.А., Рекант П.В. Проблема генезиса четвертичных образований Баренцево-Карского шельфа (по материалам Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000) // Отечественная геология. 2012. № 2. С. 84–89.
- Кизяков А.И., Сонюшкин А.В., Лейбман М.О. и др. Геоморфологические условия образования воронки газового выброса и динамика этой формы на центральном Ямале // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 2. С. 15–25.
- Костин Д.А., Тарасов Г.А. Четвертичный осадочный чехол Баренцево-Карского бассейна // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 3. М.: ГЕОС, 2011. С. 107–130.
- Костин Д.А., Орго В.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Северо-Карско-Баренцевоморская серия. Лист T-41–44. Карта четвертичных образований. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013.
- Кохан А.В., Еременко Е.А., Мороз Е.А. и др. Флюидогенный рельеф на шельфах морей Арктики // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. № 2. С. 91–107. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.2.8.
- Кохан А.В., Мороз Е.А., Еременко Е.А. и др. Флюидогенный рельеф районов распространения многолетней мерзлоты на шельфе Печорского и Карского морей // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 3. С. 104–124. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.9.
- Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Гладыш В.А. и др. Комплексные исследования покмарков на Чукотском плато // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 2(88). С. 45–54.
- Миронюк С.Г., Росляков А.Г. Типы, активность и закономерности распространения покмарок в арктических морях // Сборник тезисов VII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)». 2019. Т. 2. С. 70–76.
- Мороз Е.А., Зарайская Ю.А., Сухих Е.А. и др. Рельеф и строение верхней части осадочного чехла в районе свода Федынского по акустическим данным // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 2. С. 82–91.
- Никифоров С.Л., Сорохтин Н.О., Дмитриевский Н.Н. и др. Исследования в 38-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов» в Баренцевом море // Океанология. 2019. Т. 59. № 5. С. 885–887. DOI: 10.31857/S0030-1574595885-887.

- Орлов А.И. Вероятностно-статистические модели корреляции и регрессии // Научный журнал КубГАУ. 2020. № 160(06). С. 1–33.
- Пенедюк Е.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Северо-Карско-Баренцевоморская серия. Лист Т-41–44. Литологическая карта поверхности дна акватории. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013.
- Радченко М.С. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Северо-Карско-Баренцевоморская серия. Лист R-39, 40. Литологическая карта поверхности дна акватории. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014.
- Рокос С.И. Газонасыщенные отложения верхней части разреза Баренцево-Карского шельфа: автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. 2009. 42 с.
- Рыбак Е.Н., Ступина Л.В. Покмарки Черного моря // Геологія і корисні копалини Світового океану, 2019, Т. 15. № 2. С. 16–34.
- Соколов С.Ю., Мороз Е.А., Агранов Г.Д. и др. Проявления дегазации в верхней части осадочного разреза Печорского моря и ее связь с тектоникой // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 499. № 2. С. 91–96.
- Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д. Субмаринная криолитозона. Прогноз распространения // Атлас: геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: ГИНАН, 2004. С. 3–9.
- Ступакова А.В. Структура и нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа и прилегающих территорий // Геология нефти и газа. 2011. № 6. С. 99–115.
- Ступакова А.В., Большакова А.А., Сулова А.А. и др. Нефтегазоматеринские толщи Баренцево-Карского шельфа: область распространения и свойства // Георесурсы. 2021. Т. 23. № 2. С. 6–25.
- Хлебникова П.А., Бельный В.Я., Гарзанов Г.Е. и др. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности восточного борга Северо-Баренцевоморской впадины // Разведка и охрана недр. 2009. № 4. С. 13–21.
- Штилов Э.В., Верниковский В.А. Строение области сочленения Свальбардской и Карской плит и геодинамические обстановки ее формирования // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 1. С. 75–92.
- Шкарубо С.И., Штилов Э.В. Тектоника Западно-Арктической платформы // Разведка и охрана недр. 2007. № 9. С. 32–47.
- Шнюков Е.Ф., Топачевский И.В. Газовые сипы Мирового океана // Геологія регіонів. 2019. № 2(15). С. 3–15.
- Andrews B., Brothers L., Barnhardt W. Automated feature extraction and spatial organization of seafloor pockmarks, Belfast Bay, Maine, USA, *Geomorphology*, 2010, vol. 124, p. 55–64, DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.08.009.
- Batchelor C., Dowdeswell J., Ottesen D. Submarine glacial landforms, *Submarine Geomorphology*, Springer Geology Publ., 2018, p. 207–234.
- Blasco S., Bennett R., Brent T. et al. 2010 State of Knowledge: Beaufort Sea seabed geohazards associated with offshore hydrocarbon development, *Geological Survey of Canada*, Open File 6989, 2013, 340 p., DOI: 10.4095/292616.
- Chand S., Thorsnes T., Rise L. et al. Multiple episodes of fluid flow in the SW Barents Sea (Loppa High) evidenced by gas flares, pockmarks and gas hydrate accumulation, *Earth and Planetary Science Letters*, 2012, vol. 331–332, p. 305–314, DOI: 10.1016/j.epsl.2012.03.021.
- Judd A., Hovland M. *Seabed Fluid Flow: The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment*, Cambridge University Press, 2007, 492 p.
- King L., MacLean B. Pockmarks on the Scotian Shelf, *Geological Society of America Bulletin*, 1970, p. 3141–3148, DOI: 10.1130/0016-7606(1970)81[3141:POTSS]2.0.CO;2.
- Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Ananiev R.A. et al. Investigations of the Western Arctic Shelf of Russia during the Cruise 56 of the R/V Akademik Nikolaj Strakhov, *Oceanology*, 2024, vol. 64(5), p. 737–739, DOI: 10.1134/S0001437024700413.
- Rise L., Bellec V., Chand S. et al. Pockmarks in the southwestern Barents Sea and Finnmark fjords, *Norwegian Journal of Geology*, 2015, vol. 94, p. 263–282.
- Svendsen J. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia, *Quaternary Science Reviews*, 2004, vol. 23, p. 1229–1271, DOI: 10.1016/j.quascirev.2003.12.008.
- Weatherall P., Marks K.M., Jakobsson M. et al. A new digital bathymetric model of the world's oceans, *Earth and Space Science*, 2015, vol. 2, no. 8, p. 331–345, DOI: 10.1002/2015EA000107.

Электронные ресурсы

- Бородин В.Н., Смирнов О.А., Иноземцева Л.А. «Трубки взрыва» в акватории Баренцево-Карского моря и севера Западной Сибири – один из положительных критериев прогноза нефтегазоносности // Тюменская область: историческая ретроспектива, реалии настоящего, контуры будущего: сб. ст. международной научной конференции. Тюмень, 2019. С. 547–553. URL: <http://www.ipgg.sbras.ru/en/science/publications/publ-trubki-vzryva-v-akvatorii-barentsevo-karskogo-547553-2019> (дата обращения 10.12.2024).
- Козлов С.А. Оценка устойчивости геологической среды на морских месторождениях углеводородов в Арктике // Нефтегазовое дело. 2005. № 1. URL: <https://ogbus.ru/article/view/inzhenerno-geologicheskaya-stratifikaciya-zapadno-arkticheskoy> (дата обращения 10.12.2024).

Поступила в редакцию 08.11.2024

После доработки 12.12.2024

Принята к публикации 21.01.2025

POCKMARKS MORPHOLOGY AT THE BARENTS SEA SHELF AND ITS DETERMINING FACTORS

A.P. Denisova¹, E.A. Eremenko², E.A. Moroz³, A.V. Kohan⁴, E.A. Suhih⁵,
R.A. Ananiev⁶, S.Yu. Sokolov⁷

^{1-4,7} Geological Institute of RAS, Laboratory of Geomorphology and Tectonics of the Ocean Bottom

² Lomonosov MSU Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography

⁵ Geological Institute of RAS, Laboratory of Heat and Mass Transfer

⁶ Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Seismostratigraphy Laboratory

¹ Junior Scientific Researcher; e-mail: anden6900@gmail.com

² Associate professor, Ph.D. in Geography; e-mail: eremenkoeaig@gmail.com

³ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: morozzea@gmail.com

⁴ Junior Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: kkkkk1987@mail.ru

⁵ Scientific Researcher; e-mail: sukhikh_ea@mail.ru

⁶ Senior Scientific Researcher; e-mail: corer@mail.ru

⁷ Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: sysokolov@yandex.ru

Based on the results of complex geological and geophysical works carried out during the 38th, 52nd and 56th cruises of the R/V “Akademik Nikolaj Strakhov” and the 51st cruise of the R/V “Akademik Boris Petrov”, the fluidogenic relief was studied in detail at five key polygons in the southern and northeastern parts of the Barents Sea shelf. Digital elevation models of sea bottom obtained as a result of multibeam bathymetric survey allowed identifying of 2218 pockmarks. Their diameter varies from the first dozens of meters to 250 m, and the depth from 0,2 to 7,8 m. The morphometric analysis of these landforms provided for studying the relationship between the area, depth and shape of the pockmarks cross-sectional profile and physical geographic conditions (tectonic structure, lithology of Quaternary sediments, background topography, hydrological conditions). The distribution of pockmarks and other manifestations of degassing is traceable associated with the fault network. It acts as a pathway for fluid uplift from the gas-saturated sediments of predominantly Mesozoic age to the surface, which proves the deep origin of fluids. The tectonic structure of the area is also reflected in the mutual location of pockmarks within the polygons: the areas of increased density of landforms are near fault zones and in depressions, which are probably of tectonic origin. It was found that the morphology of pockmarks is primarily determined by the lithology of the Quaternary sediments. Large landforms with a more gentle profile are more common in the areas with sandy loams and sands. Small landforms with a V-shaped cross-sectional profile are within the areas with denser clay sediments. It was suggested that the deepest pockmarks occur in the areas covered by glaciers in the recent past. It may be related to active degassing of sediments after removal of the glacial load. Modern exogenous subaquatic processes have a significant influence on the change of pockmark morphology. The slope processes make the cross-sectional profile of pockmarks more complex, i. e. asymmetric and micro-stepping, while the influence of bottom currents leads to landforms elongation.

Keywords: degassing, fluidogenic relief, multibeam echo-sounder survey, seismoacoustic profiling, morphometric analysis

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 22-77-10091).

REFERENCES

- Andrews B., Brothers L., Barnhardt W. Automated feature extraction and spatial organization of seafloor pockmarks, Belfast Bay, Maine, USA, *Geomorphology*, 2010, vol. 124, p. 55–64, DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.08.009.
- Artyushkov E.V., Baluev A.S., Bogatskii V.I. et al. *Shel'fovyje osadochnye basseiny Rossiiskoi Arktiki. Geologiya, geokologiya, mineral'no-syr'evoi potentsial* [Shelf sedimentary basins of the Russian Arctic. Geology, geocology, mineral resource potential], Murmansk, St Petersburg, Renome Publ., 2020, 544 p. (In Russian)
- Batchelor C., Dowdeswell J., Ottesen D. Submarine glacial landforms, *Submarine Geomorphology*, Springer Geology Publ., 2018, p. 207–234.
- Blasco S., Bennett R., Brent T. et al. *2010 State of Knowledge: Beaufort Sea seabed geohazards associated with offshore hydrocarbon development*, Geological Survey of Canada, Open File 6989, 2013, 340 p., DOI: 10.4095/292616.
- Bogoyavlenskii V.I. Ugroza katastroficheskikh vybrosov gaza iz kriolitozony Arktiki. Voronki Yamala i Taimyra [Threat of catastrophic gas emissions from the Arctic cryolithozone. Yamal and Taimyr funnels], *Burenie i nef't'*, 2014, no. 9, p. 13–18. (In Russian)
- Chand S., Thorsnes T., Rise L. et al. Multiple episodes of fluid flow in the SW Barents Sea (Loppa High) evidenced by gas flares, pockmarks and gas hydrate accumulation, *Earth and Planetary Science Letters*, 2012, vol. 331–332, p. 305–314, DOI: 10.1016/j.epsl.2012.03.021.
- Gusev E.A., Kostin D.A. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie), Severo-Karsko-Barentsevomorskaya seriya, List R-39–40, Karta pliotsen-chetvertichnykh obrazova-

- nii [State Geological Map of the Russian Federation at the scale of 1:1,000,000 (third generation), North Kara-Barents Sea Series, Sheet R-39–40, Map of Pliocene-Quaternary formations], St Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2014. (In Russian)
- Gusev E.A., Kostin D.A., Rekant P.V. Problema genezisa chetvertichnykh obrazovaniy Barentsevo-Karskogo shel'fa (po materialam Gosudarstvennoi geologicheskoi karty Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1:1 000 000) [The problem of genesis of Quaternary formations of the Barents-Kara shelf (based on the materials of the State Geological Map of the Russian Federation at the scale of 1:1,000,000)], *Otechestvennaya geologiya*, 2012, no. 2, p. 84–89. (In Russian)
- Judd A., Hovland M. *Seabed Fluid Flow: The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment*, Cambridge University Press, 2007, 492 p.
- Khlebnikova P.A., Belen'kii V.Ya., Garzanov G.E. et al. Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti vostochnogo borta Severo-Barentsevomorskoi vpadiny [Geological structure and oil and gas potential of the eastern edge of the North Barents Sea Basin], *Razvedka i okhrana neдр*, 2009, no. 4, p. 13–21. (In Russian)
- King L., MacLean B. Pockmarks on the Scotian Shelf, *Geological Society of America Bulletin*, 1970, p. 3141–3148, DOI: 10.1130/0016-7606(1970)81[3141:POTSS]2.0.CO;2.
- Kizyakov A.I., Sonyushkin A.V., Leibman M.O. et al. Geomorphological conditions of the gas-emission crater and its dynamics in central Yamal, *Earth's Cryosphere*, 2015, vol. XIX, no. 2, p. 15–25.
- Kokhan A.V., Eremenko E.A., Moroz E.A. et al. Flyuidogennyi rel'ef na shel'fakh morei Arktiki [Fluidogenic landforms on the Arctic shelves], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2024, no. 2, p. 91–107, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.2.8. (In Russian)
- Kokhan A.V., Moroz E.A., Eremenko E.A. et al. Flyuidogennyi rel'ef raionov rasprostraneniya mnogoletnei merzloty na shel'fe Pechorskogo i Karskogo morei [Fluidogenic landforms within the permafrost zones on the shelf of the Pechora and Kara Seas], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, vol. 78, no. 3, p. 104–124, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.9. (In Russian)
- Kostin D.A., Orgo V.V. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie), Severo-Karsko-Barentsevomorskaya seriya, List T-41–44, Karta chetvertichnykh obrazovaniy [State Geological Map of the Russian Federation at the scale of 1:1,000,000 (third generation), North Kara-Barents Sea Series, Sheet T-41–44, Map of Quaternary Formations], St Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2013. (In Russian)
- Kostin D.A., Tarasov G.A. [Quaternary sedimentary cover of the Barents-Kara basin], *Geologiya i geoekologiya kontinental'nykh okrain Evrazii, vyp. 3* [Geology and geoecology of the continental outskirts of Eurasia, iss. 3], Moscow, GEOS Publ., 2011, p. 107–130. (In Russian)
- Logvina E.A., Matveeva T.V., Gladyshev V.A. et al. Kompleksnye issledovaniya pokmarkov na Chukotskom plato [Complex studies of pockmarks on the Chukchi Plateau], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2011, no. 2(88), p. 45–54. (In Russian)
- Mironyuk S.G., Roslyakov A.G. Tipy, aktivnost' i zakonmernosti rasprostraneniya pokmarkov v arkticheskikh moryakh (Types, activity and distribution patterns of pockmarks in the Arctic seas), *Sbornik tezisev VII Mezh-dunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Morskoe issledovaniya i obrazovanie (MARESEDU-2018)"*, 2019, vol. 2, p. 70–76. (In Russian)
- Moroz E.A., Zaiskaya Yu.A., Sukhikh E.A. et al. Rel'ef i stroenie verkhnei chasti osadochnogo chekhla v raione svoda Fedynskogo po akusticheskim dannym [Relief and structure of the upper part of sedimentary cover in the area of the Fedynsky rise according to acoustic data], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 2, p. 82–91. (In Russian)
- Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Ananiev R.A. et al. Investigations of the Western Arctic Shelf of Russia during the Cruise 56 of the R/V Akademik Nikolaj Strakhov, *Oceanology*, 2024, vol. 64(5), p. 737–739, DOI: 10.1134/S0001437024700413.
- Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Dmitrevskiy N.N. et al. Researches in cruise 38 of the R/V Akademik Nikolaj Strakhov in the Barents Sea, *Oceanology*, 2019, vol. 59, no. 5, p. 801–802, DOI: 10.31857/S0030-1574595885-887.
- Orlov A.I. Veroyatnostno-statisticheskie modeli korrelyatsii i regressii [Probabilistic and statistical models of correlation and regression], *Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2020, no. 160(06), p. 1–33. (In Russian)
- Penedyuk E.V. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie), Severo-Karsko-Barentsevomorskaya seriya, List T-41–44, Litologicheskaya karta poverkhnosti dna akvatorii [State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:1,000,000 (third generation), North Kara-Barents Sea Series, Sheet T-41–44, Lithological map of the bottom surface of the water area], St Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2013. (In Russian)
- Radchenko M.S. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie), Severo-Karsko-Barentsevomorskaya seriya, List R-39, 40, Litologicheskaya karta poverkhnosti dna akvatorii [State geological map of the Russian Federation at a scale of 1:1,000,000 (third generation), North Kara-Barents Sea series. Sheet R-39, 40, Lithological map of the bottom surface of the water area], St Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2014. (In Russian)
- Rise L., Bellec V., Chand S et al. Pockmarks in the southwestern Barents Sea and Finnmark fjords, *Norwegian Journal of Geology*, 2014, vol. 94, p. 263–282.
- Rokos S.I. Gazonasyshchennye otlozheniya verkhnei chasti razreza Barentsevo-Karskogo shel'fa [Gas-saturated deposits of the upper part of the Barents-Kara shelf section], Abstract, Ph.D. in Geography, 2009, 42 p. (In Russian)
- Rybak E.N., Stupina L.V. Pokmarki Chernogo morya [Pockmarks of the Black Sea], *Geologiya i korisni kopalini Svitovogo okeanu*, 2019, vol. 15, no. 2, p. 16–34. (In Russian)
- Shipilov E.V., Vernikovskii V.A. Stroenie oblasti sochleneniya Sval'bardskoi i Karskoi plit i geodinamicheskie ustanovki ee formirovaniya [The Svalbard and Kara plates junction: structure and geodynamic history], *Geologiya i geofizika*, 2010, vol. 51, no. 1, p. 75–92. (In Russian)
- Shkarubo S.I., Shipilov E.V. Tektonika Zapadno-Arkticheskoi platformy [Tectonics of the West Arctic Platform], *Razvedka i okhrana neдр*, 2007, no. 9, p. 32–47. (In Russian)
- Shnyukov E.F., Topachevskii I.V. Gazovye sipy mirovogo okeana [Gas seeps of the World Ocean], *Geologiya regioniv*, 2019, no. 2(15), p. 3–15. (In Russian)

- Sokolov S.Yu., Moroz E.A., Agranov G.D. et al. Manifestations of degassing in the upper part of the Pechora Sea sediment section and its relation to tectonics, *Doklady Earth Sciences*, 2021, vol. 499, no. 2, p. 605–610.
- Solov'ev V.A., Ginsburg G.D. [Submarine cryolithozone. Distribution forecast], *Atlas: geologiya i poleznye iskopayemye shel'fov Rossii* [Atlas: geology and Mineral Resources of the Shelves in Russia], Moscow, 2004, GIN-RAN Publ., p. 3–9. (In Russian)
- Stupakova A.V. Struktura i neftegazonosnost' Barentsevo-Karskogo shel'fa i privileyushchikh territorii [Structure and oil and gas potential of the Barents-Kara shelf and adjacent territories], *Geologiya nefti i gaza*, 2011, no. 6, p. 99–115. (In Russian)
- Stupakova A.V., Bol'shakova A.A., Suslova A.A. et al. Neftegazomaterinskie tolshchi Barentsevo-Karskogo shel'fa: oblast' rasprostraneniya i svoystva [Oil and gas source rocks of the Barents-Kara shelf: distribution area and properties], *Georesursy*, 2021, vol. 23, no. 2, p. 6–25. (In Russian)
- Svendsen J. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia, *Quaternary Science Reviews*, 2004, 23, p. 1229–1271, DOI: 10.1016/j.quascirev.2003.12.008.
- Weatherall P., Marks K.M., Jakobsson M et al. A new digital bathymetric model of the world's oceans, *Earth and Space Science*, 2015, vol. 2, iss. 8, p. 331–345, DOI: 10.1002/2015EA000107.
- Web sources*
- Borodkin V.N., Smirnov O.A., Inozemtseva L.A. [“Explosion pipes” in the waters of the Barents-Kara Seas and the north of Western Siberia – one of the positive criteria for forecasting oil and gas content], *Tyumenskaya oblast': istoricheskaya retrospektiva, realii nastoyashchego, kontury budushchego* [Tyumen oblast: historical retrospective, realities of the present and contours of the future], *Sbornik statei mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*, 2019, p. 547–553, URL: <http://www.ipgg.sbras.ru/en/science/publications/publ-trubki-vzryva-v-akvatorii-barentsevo-karskogo-547553-2019> (access date 10.12.2024). (In Russian)
- Kozlov S.A. Otsenka ustoichivosti geologicheskoi sredy na morskikh mestorozhdeniyakh uglevodorodov v Arktike (Assessing the stability of the geological environment of offshore hydrocarbon deposits in the Arctic), *Elektronnyi zhurnal neftegazovoe delo*, 2005, no. 1, URL: <https://ogbus.ru/article/view/inzhenerno-geologicheskaya-stratifikaciya-zapadno-arkticheskoy> (access date 10.12.2024). (In Russian)

Received 08.11.2024

Revised 12.12.2024

Accepted 21.01.2025

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ИЕРАРХИИ АВИАУЗЛОВ РОССИИ

Д.В. Кокорин¹, О.В. Сорокин²

¹ *Российский университет транспорта (МИИТ), Академия транспортного планирования*
² *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России*

¹ *Руководитель проектов отдела развития инфраструктуры; e-mail: dvkokorin@mail.ru*

² *Аспирант; e-mail: sorokin.oleg.98@mail.ru*

Для России характерен высокий уровень централизации пассажирских перевозок в Московском авиационном узле. Это связано с концентрацией здесь транзитных корреспонденций между региональными аэропортами. Разгрузка главного авиаузла России возможна за счет развития региональных авиахабов. Гипертрофия Московского авиационного узла обусловлена также распадом единой авиационной сети СССР, рудиментом которой является авиационная сеть Российской Федерации. Разъединение означало выход системы авиаузлов из состояния равновесия – свойства системы поддерживать свои параметры путем саморегуляции. Сейчас наблюдается восстановление равновесия в новых государственных границах. Целесообразно развивать авиахабы на базе крупнейших аэропортов, которые своим устойчивым положением в иерархии авиаузлов обеспечивают равновесие всей системы.

Равновесие в системе авиаузлов описывается правилом «ранг – размер». Для проверки соответствия правилу гипертрофированной системы авиаузлов России применяется математическая модель Ю.В. Медведкова. Она позволяет оценить соразмерность Московского авиационного узла всей системе (коэффициент первенства), меру контрастов между авиаузлами и определить степень отклонения от их распределения в соответствии с правилом «ранг – размер». Правило впервые апробировано на примере иерархии крупнейших аэропортов, что обусловлено методологией подхода. Исследование базируется на данных о ежегодном пассажирообороте 30 крупнейших аэропортов России в 2013–2023 гг. и об отправлениях пассажиров из 30 крупнейших аэропортов СССР в 1960–1981 гг.

Анализ показывает, что система авиаузлов России в 2013–2023 гг. приближается к распределению в соответствии с правилом «ранг – размер»: наблюдается тенденция к снижению коэффициента первенства Московского авиационного узла и децентрализации. Изменения происходят главным образом за счет роста пассажирооборота узлов верхнего сегмента иерархии. Ключевыми факторами устойчивости авиаузлов в иерархии являются специализация территории и транспортно-географическое положение. Система авиаузлов СССР в 1960–1981 гг. более полицентрична и менее контрастна. Сходство значений коэффициента первенства Московского авиационного узла в 2020–2023 гг. и в советский период, сопоставление тенденций в развитии систем авиаузлов позволяют предположить, что ослабление международных связей Москвы способствовало укреплению связей между следующими в иерархии авиаузлами. Таким образом, формирование региональных авиахабов на базе крупнейших аэропортов России соответствует тенденции развития авиатранспортной системы.

Ключевые слова: авиахабы, иерархия аэропортов, Московский авиационный узел, правило «ранг – размер», СССР

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.9

ВВЕДЕНИЕ

Конфигурация транспортной сети является отражением территориальной структуры расселения и хозяйства. В большей степени это касается сетей сухопутного транспорта. Сети воздушного транспорта не имеют явно выраженной территориальной конфигурации и представляют собой совокупности узлов и связей между ними. В качестве узловых элементов выступают аэропорты или аэродромы¹, которые могут составлять иерархически организо-

ванные системы. Место узла в иерархии обычно определяют размеры обслуживаемых им пассажирских или грузовых потоков и количество связей с другими узлами [Rodrigue, 2020]. Структура иерархии авиаузлов в значительной мере повторяет структуру иерархии городов. Примерами могут служить полицентричные системы аэропортов США, Китая, Германии или моноцентричные системы Франции, Великобритании, Аргентины.

Для авиатранспортной системы России характерна моноцентричная структура с гипертрофированным главным узлом. Московский авиационный узел (далее – МАУ) объединяет четыре аэропорта,

¹ По этой причине понятия «аэропорт» и «авиаузел» в статье используются как взаимозаменяемые.

обслуживающих Московскую агломерацию: Шереметьево, Домодедово, Внуково и Жуковский (с 2016 г.)². Но степень концентрации авиаперевозок в главном авиаузле кратно выше, чем численность населения агломерации. Доля МАУ во внутренних пассажирских корреспонденциях в некоторые годы превышала 70% при доле населения Московской агломерации около 15% от общей численности населения России³.

Такая концентрация – следствие того, что через Москву осуществляется большая часть транзитных перевозок между региональными аэропортами. Ввиду данного обстоятельства МАУ выполняет функцию главного авиахаба России. Под авиахабом мы понимаем «крупный узловый аэропорт, в пассажирообороте которого высока доля транзитных пассажиров, прибывших в аэропорт и отправляемых в течение короткого промежутка времени специально состыкованными рейсами по веерному расписанию» [Семенов, 2013].

Высокий уровень централизации авиасообщений делает систему более уязвимой при сбоях в главном узле [Rodrigue, 2020], поэтому в мире распространена практика создания и развития региональных авиахабов. Она давно применяется в США [Shaw, 1993] и Европе [Borenstein, 1989], где способствует снижению себестоимости перемещений [Hansen, 1990] и формированию экономически эффективных региональных авиасистем [Halás et al., 2020]. Разгрузка главного узла за счет создания сети региональных авиахабов не только повышает уровень безопасности авиатранспортной системы в целом, но и улучшает связность регионов страны, что особенно актуально в условиях обширного пространства России, в некоторых частях лишенного иных путей сообщения.

При хабовой системе уменьшается средняя дальность полетов и повышается нагрузка воздушных судов [Сорокин, Самбуров, 2021]. Рост пассажирооборота крупнейших региональных аэропортов происходит, в том числе, за счет увеличения числа пересадочных пассажиров [Сорокин, 2022]. Структура местных авиалиний упрощается вследствие концентрации пассажиропотоков по наиболее удаленным и / или недоступным для наземного транспорта направлениям и прекращения полетов между парами аэропортов местного значения.

Некоторые крупнейшие аэропорты России уже развиваются как региональные хабы [Сорокин, Волошок, 2023]. Тенденции формирования региональных хабов способствует снижение доли пассажирских перевозок через МАУ с 2014 г. при общем увеличении их объема по стране [Шульгина, Головкин, 2022]. Основными факторами роста пассажиропотоков между региональными аэропортами являются государственные меры по субсидированию региональных воздушных перевозок и формированию региональной маршрутной авиационной сети, развитие туристской отрасли, повышение экономической активности населения [Ростислав и др., 2023].

Мы полагаем, что гипертрофия МАУ обусловлена еще и тем, что сеть авиалиний России изначально складывалась как часть большей по территориальному охвату сети авиалиний Советского Союза, в которой также была велика роль главного узла, но который был более соразмерен ей. Разделение страны в 1991 г., распад единой сети и уменьшение авиационной связанности обособившейся территории Российской Федерации по экономическим и иным причинам привели к непропорционально большой централизации авиасообщений [Тархов, 2015].

Систему авиаузлов мы рассматриваем как открытую систему, функционирование которой определяется состоянием динамического равновесия, т. е. система сохраняет свои свойства за счет саморегуляции, а при внешнем воздействии стремится восстановить их – вернуться в равновесное состояние. Мы предполагаем, что высокий уровень централизации в авиатранспортной системе Российской Федерации стал результатом выхода из состояния равновесия после распада сети, охватывавшей большее пространство, и сейчас наблюдается ее возвращение к равновесию в новых государственных границах.

Исходя из гипотезы, мы считаем, что региональные авиахабы целесообразно развивать на базе тех крупнейших аэропортов, чье место в иерархии наиболее устойчивое, так как это обеспечивает равновесие всей системы. Цель исследования – обосновать развитие региональных авиахабов с точки зрения равновесия системы авиаузлов, для чего необходимо проанализировать динамику ее развития в разных границах (России и СССР) и определить основные факторы, влияющие на устойчивость узлов в иерархии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для городов в границах одной страны, т. е. заведомо тесно связанных между собой, в той или иной мере должно соблюдаться правило «ранг – размер», известное также как «закон Ципфа» или «правило Ципфа» [Zipf, 1949]: второй город по людности

² Федеральное агентство воздушного транспорта России (Росавиация) не включает в состав МАУ аэропорт Жуковский, однако он также обслуживает население Московской агломерации, поэтому мы рассматриваем его вместе с другими. Пятый аэропорт – Остафьево специализируется на обслуживании пассажиров ПАО «Газпром» и потому не учитывается.

³ Для сравнения, Лондон концентрирует 59% авиаперевозок при 21% жителей страны, Париж – 60% при 20% жителей, Буэнос-Айрес – 52% при 33% жителей.

вдвое меньше, чем первый; третий – вдвое и т. д. (закономерность описана во множестве работ, начиная с [Auerbach, 1913]). Распределение городов чувствительно к географическим границам поселений [Коломак, 2018] и носит вероятностный характер, т. е. соблюдается не для всех естественным образом выделяемых совокупностей городов [Гусейн-Заде, 1988]. Правило описывает наиболее вероятное их распределение, которое можно расценивать и как равновесное состояние системы в определенных условиях. В отечественных исследованиях последних лет на соответствие правилу «ранг – размер» проверялись города России в динамике с конца XIX в. [Растворцева, Манаева, 2019], а среди транспортных объектов (в статике) – железнодорожные узлы [Самбулов, 2020].

В системах городов с гипертрофированным или недостаточно развитым главным городом правило «ранг – размер» нарушается. Ю.В. Медведков для описания особенностей таких систем предложил математическую модель, показывающую распределение городов в зависимости от их людности на логарифмическом графике. Для выявления тенденций, присутствующих в системе, достаточно совокупности из первых по людности 20–30 городов – как наиболее значимых и оказывающих влияние друг на друга. В подробностях методика и порядок расчетов изложены в [Медведков, 1964]. Хотя в современной литературе примеров использования модели немного, например исследование городов Казахстана [Искалиев, 2017], отмечается (там же), что модель Медведкова более точно показывает распределение городов по людности, чем классическое правило «ранг – размер».

Математическую модель Ю.В. Медведкова описывает следующее уравнение:

$$P_j = k^{-1} \cdot P_1 \cdot j^{-a}, \quad (1)$$

где P_j – размер (людность) j -го города в системе городов, P_1 – размер (людность) первого города в системе городов, j – ранг (порядковый номер) города по людности, a – мера контрастов в размерах городов, которая рассчитывается по формуле:

$$a = \frac{n \sum \lg j \cdot \lg P_j - \sum \lg j \cdot \sum \lg P_j}{n \sum (\lg j)^2 - \sum \lg j \cdot \sum \lg j}, \quad (2)$$

где n – количество городов в выборке, k – коэффициент первенства главного города, показывающий, насколько его размер соответствует размерам городов всей системы; рассчитывается как отношение P_1 и C – теоретической людности главного города в соответствии с правилом «ранг – размер», где

$$C = \frac{\sum \lg P_j \cdot \sum (\lg j)^2 - \sum \lg j \cdot \sum \lg j \cdot \lg P_j}{n \sum (\lg j)^2 - \sum \lg j \cdot \sum \lg j}. \quad (3)$$

Дополняет уравнение коэффициент корреляции r , характеризующий связь между людностью городов и их рангом, т. е. степень расхождения между общей тенденцией в развитии системы и фактическими размерами городов:

$$r = \frac{\mu_{1/1}}{\sigma_j \cdot \sigma_p}, \quad (4)$$

где

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum (\Delta \lg j)^2}{n}}, \quad (5)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum (\Delta \lg j)^2}{n}}, \quad (6)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum (\Delta \lg P_j)^2}{n}}. \quad (7)$$

Пассажирооборот аэропортов является более динамичной величиной, привязанной к конкретным условиям размещения аэропорта, вследствие чего имеет смысл рассматривать показатель за несколько лет. Мы анализировали данные за 2013–2023 гг., доступные в статистических отчетах Росавиации и пресс-релизах аэропортов. Выборка включает 37 крупнейших аэропортов России по объему пассажирооборота (30 за каждый год), аэропорты в составе МАУ рассматривались как один объект, пассажирооборот аэропорта Симферополя в 2013 г. не учитывался. После проведения расчетов для каждого года строился график в логарифмическом масштабе, описывающий структуру иерархии авиаузлов и показывающий разрыв между реальным и теоретическим размером главного авиаузла. Чем меньше отклонение от прямой линии, тем более уравновешена система авиаузлов.

В качестве кросс-проверки гипотезы мы сравнивали динамику 2013–2023 гг. с динамикой советского периода, предполагая, что система авиаузлов СССР предстанет в более равновесном состоянии. Источниками информации за советский период послужили сведения об отправлениях пассажиров⁴ из аэропортов СССР за 1960–1981 гг. из справочников «Перевозки пассажиров на воздушном транспорте между основными городами СССР» Государственного научно-исследовательского института гражданской авиации и кратких статистических справочников «Аэрофлота». Использованы данные о 39 аэропортах по отправлениям пассажиров (30 крупнейших за каждый год). Так как за некоторые годы для

⁴ Показатель отправки пассажиров, как правило, примерно вдвое меньше показателя пассажирооборота, тем не менее их сопоставление корректно, поскольку оба показателя отражают соотношение объемов обслуженных пассажиров в аэропортах, а для расчетов все значения логарифмируются.

части аэропортов имелась статистика только за 10 или 11 месяцев, то производился дорасчет годового объема перевозок по формуле: $y = x/z \cdot 12$, где y – расчетный объем перевозок пассажиров за 12 месяцев, x – значение объема перевозок за 10 или 11 месяцев, z – количество месяцев, за которые есть данные (10 или 11).

Поскольку нарушение равновесия в системе авиаузлов связывалось с изменением границ, то устойчивость узла в иерархии оценивалась, в том числе, по географическому положению, для чего строились картосхемы. Отношение количества появлений авиаузла в выборке к усредненному рангу за рассматриваемый период определяло масштаб узла на картосхеме.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Значение коэффициента первенства МАУ в 2013–2023 гг. снижалось после 2014 г. с 2,81 до 1,33, т. е. в 2023 г. размер главного авиаузла России по пассажирообороту приблизился к его теоретическому размеру согласно правилу «ранг – размер». Он превышает размер второго узла Санкт-Петербурга в 3,5 раза, тогда как в период с 2013 по 2019 г. превышение было более чем в 5 раз. Коэффициент корреляции r изменялся от –0,957 и –0,955 в 2013–2014 гг. до –0,991 и –0,992 в 2022–2023 гг., что также указывает на приближение системы авиаузлов к их распределению по пассажирообороту в соответствии с правилом «ранг – размер».

Это говорит об усилении процессов децентрализации авиасети. Но если с 2013 по 2019 г. значение k МАУ изменялось медленно – с 2,8 до 2,35 (рис. 1), то в 2020–2021 гг. произошло падение до 1,83 и 1,72 соответственно. Последнее можно объяснить снижением роли Москвы как международного авиахаба в период пандемии COVID-19 по причине закрытия ряда зарубежных направлений, а также вводом ограничений на внутренние перелеты.

Наличие связи между уменьшением роли Москвы как международного авиахаба и снижением значения k подтверждает и статистика 2022–2023 гг., когда по геополитическим причинам существенно изменилась структура международных авиасообщений и сократился объем перевозок. Коэффициент первенства МАУ составил 1,48 в 2022 г. и 1,33 в 2023 г. При этом пассажирооборот Москвы в 2023 г. (72,4 млн чел.) превысил значение 2022 г. (67,3 млн), однако не восстановился до уровня 2021 г. (74,3 млн) – здесь следует также учитывать приостановку обслуживания гражданских авиaperевозок в 11 аэропортах Юга и Черноземья с февраля 2022 г.

В 2013–2016 гг. пассажирооборот МАУ оставался примерно на одном уровне, сопоставимом с периодом после пандемии, но в 2017–2019 гг. зна-

чительно вырос (с 76,1 млн в 2016 г. до 103,0 млн в 2019 г.), что во многом вызвано именно ростом международного пассажиропопотока: увеличился туристский поток как в Россию (в особенности из Китая), так и из России (преимущественно в Турцию), был открыт новый международный терминал в Шереметьево, произошло расширение маршрутной сети на зарубежных рейсах.

Однако коэффициент первенства МАУ в 2017–2019 гг. продолжал уменьшаться (он принимал значения 2,43; 2,36; 2,35 соответственно), и это связано с увеличением роли региональных авиаузлов. Весь рассматриваемый в исследовании период доля прироста общего пассажирооборота региональных аэропортов ежегодно была выше, чем у Москвы, равно как и падения – ниже. В 2019 г. прирост составил 66,3 процентных пункта (п. п.) к уровню 2013 г., а в 2021 г. уже 82,3 п. п., в 2023 г. – 92,7 п. п.

На 2023 г. доля региональных аэропортов в общем пассажирообороте выборки составила 60,4%, даже несмотря на исключение аэропортов Симферополя, Краснодара, Ростова-на-Дону и Анапы. Наибольший вклад в рост пассажирооборота обеспечили первые 10 авиаузлов после Москвы. Из графиков видно, что изменения происходили преимущественно за счет выравнивания верхнего сегмента иерархии (см. рис. 1). При этом второй узел – Санкт-Петербург – не оказывал на рост общего пассажирооборота региональных аэропортов решающего влияния ни до 2020 г., ни после.

Доля Санкт-Петербурга в суммарном пассажирообороте следующих за ним в иерархии 9 аэропортов снизилась с 35,2% в 2013 г. (12,8 млн чел.) до 26,4% в 2023 г. (20,3 млн чел.). Сказывается транспортно-географическое положение (ТПП) Санкт-Петербурга, не очень выгодное для обслуживания транзитных перелетов по России и ограничивающее также возможности международных авиaperевозок в новых геополитических условиях (в отличие от Сочи, доля которого стала особенно велика в 2021 г. – более 11 млн или 16,1%).

В 2013–2019 гг. рост пассажирооборота региональных аэропортов был больше связан с реализацией государственных программ, в 2020–2021 гг. – с увеличением спроса на отдых внутри России в условиях закрытых границ: четыре аэропорта (Сочи, Симферополь, Краснодар, Минеральные Воды) расположены вблизи курортных зон, а два (Калининград, Казань) в регионах, реализующих программы по развитию внутреннего туризма. В иных случаях немаловажную роль сыграло ТПП, благоприятствующее транзитным перевозкам по стране (Новосибирск, Екатеринбург, Уфа, Красноярск) – эти аэропорты фактически восстановили допандемийный пассажирооборот.

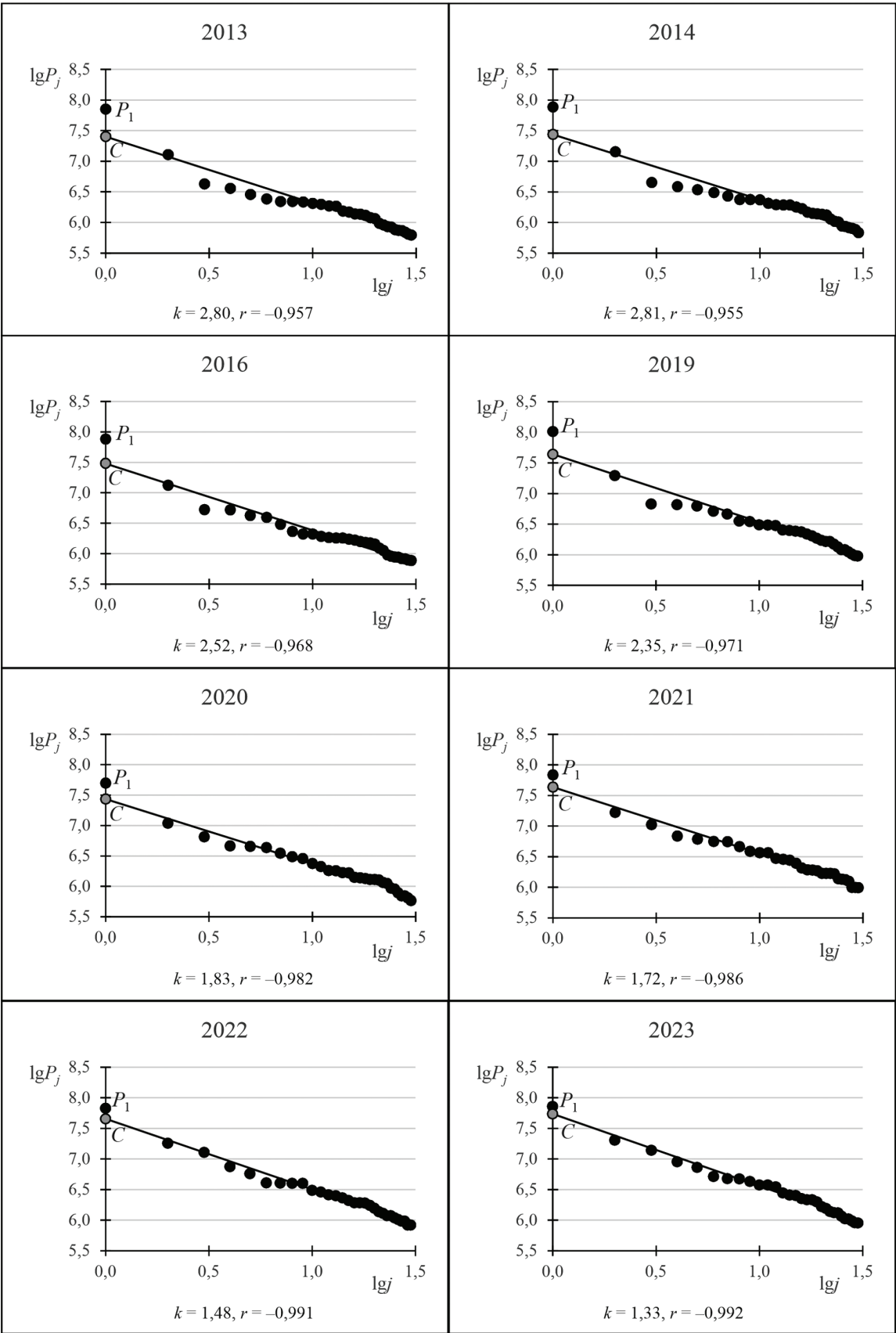


Рис. 1. Распределение крупнейших аэропортов России по пассажирообороту и теоретический пассажирооборот (C) МАУ (P_1) в 2013–2023 гг. Источник: составлено авторами

Fig. 1. Passenger turnover of the largest airports of Russia and a theoretical passenger turnover (C) of the MAH (P_1) in 2013–2023. Source: compiled by the authors

В 2022–2023 гг., в условиях новых ограничений, наблюдается перераспределение пассажиров также в пользу авиаузлов, обслуживающих регионы, привлекательные для туристов, или удобных для пересадки на прямые международные авиарейсы, как правило, в страны Азии – т. е. обладающих выгодным с этой точки зрения ТГП. На южном направлении отмечен значительный рост пассажирооборота аэропортов Сочи (почти на 3 млн чел.) и Минеральных Вод (на 1,5 млн). На восточном направлении выделяются аэропорты Новосибирска (рост на 2,2 млн чел.), Екатеринбурга (на 1,3 млн), Иркутска (на 1,7 млн), Казани (на 1,3 млн) и Красноярска (на 1,1 млн).

Распределение авиаузлов по рангам указывает на достаточно устойчивое место каждого узла

в иерархии и связь не только с численностью населения обслуживаемой территории, но также с ее специализацией и ТГП (рис. 2). Большинство аэропортов, представленных в иерархии хотя бы единожды, обслуживают крупнейшие города или туристско-рекреационные районы, либо находятся на отдаленной периферии, где воздушный транспорт более удобен для сообщения или безальтернативен. ТГП имеет определяющее значение для места в иерархии, когда оно важно для внешних связей: это видно на примере Владивостока и Хабаровска, которые опустились в иерархии в 2020–2021 гг. в связи с закрытием восточноазиатских направлений и лишь частично восстановились в 2022–2023 гг. с частичным же восстановлением международных перевозок.



Рис. 2. Картосхема иерархии авиаузлов России в 2013–2023 гг. *Источник:* составлено авторами

Fig. 2. Schematic map of the hierarchy of aviation hubs in Russia in 2013–2023. *Source:* compiled by the authors

Данные советского периода подтверждают полученные результаты. В 1960–1981 гг. коэффициент первенства МАУ в системе аэропортов СССР принимал значения от минимального 1,49 в 1961 г. до максимального 1,88 в 1979 г. За исключением периода после 1975 г., когда k стал возрастать, все предыдущие годы его значение изменялось минимально, оставаясь в среднем равным 1,6, т. е. МАУ только в полтора раза превышал свой теоретический размер на протяжении почти всего рассматриваемого отрезка времени. Из графиков (рис. 3) видно, что в советский период, несмотря на опережающий рост

Москвы, отмечался максимальный рост наиболее крупных аэропортов (Ленинград, Ташкент, Киев, Новосибирск, Свердловск, Красноярск, Минеральные Воды, Хабаровск, Сочи), а второй по величине узел никогда не отделялся значительно от всей группы.

До 1975 г. наблюдалось трехкратное превышение первого авиаузла системы над вторым, а с 1975 г. – четырехкратное. Примечательно, что в 1960–1962, 1964, а затем в 1978, 1979 и 1981 гг. вторым по количеству отправок пассажиров аэропортом в Советском Союзе выступал Ташкент, а не Ленинград. Вероятно, это связано с тем, что Ташкент

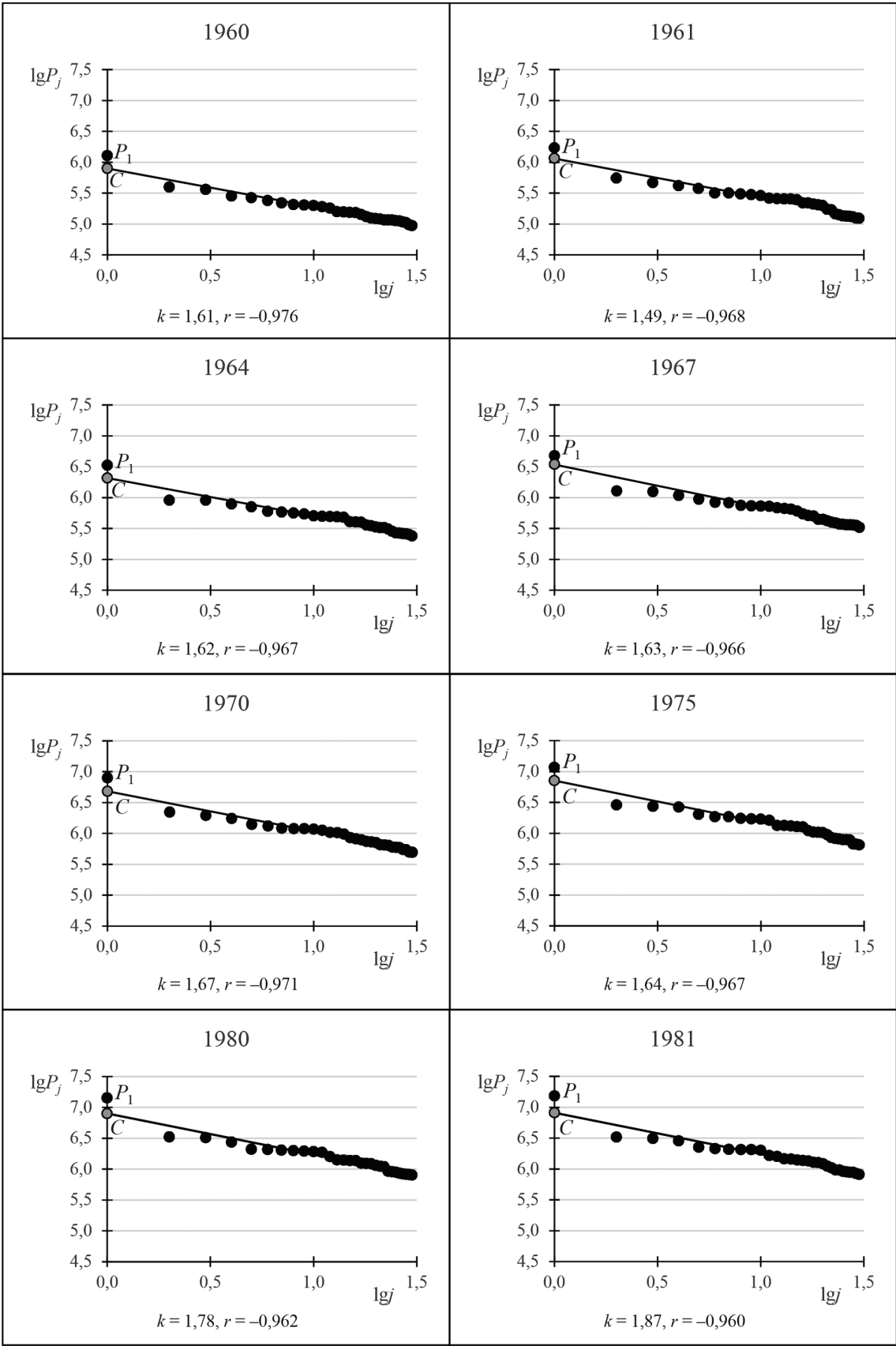


Рис. 3. Распределение крупнейших аэропортов СССР по отправлениям пассажиров и теоретический объем отправок (C) МАУ (P_j) в 1960–1981 гг. *Источник:* составлено авторами

Fig. 3. Passenger departures from the largest airports of the USSR and a theoretical passenger departure (C) from the MAH (P_j) in 1960–1981. *Source:* compiled by the authors

в СССР обладал более выгодным ТГП для развития внутренних транзитных перевозок, а Средняя Азия сохраняла часть населения, эвакуированного туда в военные годы – Ленинград же продолжал послевоенное восстановление. При этом вплоть до 1978 г. не отмечалось абсолютного превосходства в объеме отправок у какого-либо из двух аэропортов, а с 1967 г. и у аэропорта Киева, который в 1968–1975 гг. занимал третье место по числу отправок пассажиров и, подобно Ташкенту, развивался как транзитный узел, обладая выгодным ТГП.

Коэффициент корреляции r для советского времени варьировал от $-0,976$ до $-0,959$ – это отличает систему авиаузлов СССР рассматриваемого периода от системы авиаузлов России, где коэффициент корреляции постепенно приближается к -1 . Таким образом, система авиаузлов СССР предстает в более устойчивом состоянии и сопоставима по этому параметру с системой авиаузлов России 2013–2019 гг. Тем не менее значения k в 1960–1981 гг. более близки к величинам в 2020–2022 гг. (1,83; 1,72; 1,48 соответственно), что указывает на различия в структуре иерархической организации систем в целом: для СССР характерна некоторая полицентричность как на нижних, так и на верхних уровнях иерархии, чего в России не наблюдается. Об этом говорит и различие в значениях a , находящихся в диапазоне от $-0,668$ до $-0,608$ для СССР, а для Рос-

сии от $-1,177$ до $-1,064$. Следовательно, распределение авиаузлов СССР в иерархии более равномерное. За счет того, что разрыв в количестве отправок пассажиров между узлами соседних рангов иногда составлял всего несколько тысяч, такие аэропорты можно условно объединять в группы по 2–5 узлов как одноранговые.

Сравнение географического распределения узлов и их мест в иерархии в советский период (рис. 4) позволило сделать те же выводы, что и для периода 2013–2023 гг.: ранг авиаузла определяют численность населения территории, обслуживаемой аэропортом, ее специализация (туристско-рекреационный район, район нового освоения) и ТГП. Изменение места аэропорта в иерархии, его появление в выборке или исчезновение из нее отражает изменение ТГП и специализации территории: некоторые аэропорты восточной части страны развивались в периоды осуществления масштабных мероприятий. В частности, можно трактовать появление в выборке Караганды в 1962–1964 гг. как результат освоения Целины; Тюмени (с 1972 г.) как базового аэропорта для освоения нефтегазоносных районов Западной Сибири, повышение ранга Хабаровска в 1970-е гг. – как базы строительства Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и развития дальневосточного региона в целом.



Рис. 4. Картограмма иерархии авиаузлов СССР в 1960–1981 гг. Источник: составлено авторами

Fig. 4. Schematic map of the hierarchy of aviation hubs in the USSR in 1960–1981. Source: compiled by the authors

Следует отметить, что на 1960–1970-е гг. пришелся экстенсивный рост всей авиасети СССР и РСФСР [Сорокин, 2022], а Москва с 1970 г. (год открытия транзитных рейсов иностранных авиакомпаний через территорию СССР с промежуточной посадкой в столице) и особенно в 1980 г. (в связи с проведением летних Олимпийских игр 1980 г.) увеличивала количество внешних связей. В современной России в рассматриваемый период происходило ослабление внешних связей при интенсивном росте внутренних. Сходство значений k в советское время и в России после 2019 г. позволяет предположить, что ослабление внешних связей главного узла способствует укреплению связей между региональными узлами и ускоряет движение всей системы к равновесному состоянию.

Различие в значениях r и a в описанных выше условиях указывает на то, что система авиаузлов Советского Союза к началу 1980-х гг. стала менее целостной и более неоднородной, чем в предыдущие годы или чем система авиаузлов России в 2020–2022 гг., поскольку уровень централизации авиасообщений высок в обоих случаях, но в СССР 1960–1981 гг. ниже, чем в России 2013–2019 гг. Вероятно, система авиаузлов СССР во второй половине 1970-х гг. начала выходить из состояния равновесия⁵, а система авиаузлов России в 2020 г., наоборот, начала приближаться к нему.

По всей видимости, равновесие системы авиаузлов как системы географических объектов определяется объемом внешних связей главного узла и степенью децентрализации сети, т. е. наличием разгружающих главный узел аэропортов в регионах. А это значит, что чем более закрыта система авиаузлов, тем более она полицентрична – должно быть верно и обратное. Примеры некоторых полицентричных стран дают возможность высказать гипотезу, что открытость авиатранспортных систем необязательно определяется государственными границами, и системы могут охватывать несколько стран или регионов, благодаря такой особенности территориальной конфигурации сетей воздушного транспорта, как узловая форма организации.

ВЫВОДЫ

Для системы авиаузлов России в 2013–2023 гг. присуща частичная децентрализация, выразившаяся в ослаблении Московского авиационного узла и преобладающем (особенно с 2020 г.) росте крупнейших региональных аэропортов, за исключением второго по рангу аэропорта Санкт-Петербурга – его рост ограничен окраинным ТГП. Снижение

роли МАУ в международных перевозках ведет к уменьшению его значения и как внутрироссийского хаба, причем не только по причине проведения соответствующей государственной политики. Ключевыми факторами роста пассажирооборота региональных аэропортов, определяющими их ранг в иерархии, становятся туристско-рекреационный потенциал территории обслуживания и ТГП узла, которые оказываются важными и для осуществления внешних корреспонденций напрямую – без транзита через Москву.

Система авиаузлов СССР в 1960–1981 гг. имеет признаки полицентричности, ее можно охарактеризовать как относительно устойчивую и равновесную. Несмотря на то что по количеству отправок пассажиров МАУ превышает второй узел системы в 3–4 раза, его фактический размер больше теоретического (согласно правилу «ранг – размер») только в полтора (среднее значение $k = 1,6$) – региональные аэропорты увеличивают количество отправок пассажиров быстрее Москвы. Полицентричность отражается и на структуре иерархии авиаузлов: аэропорты Ленинграда, Ташкента и Киева, делящие 2–4-е места, сопоставимы между собой по объему отправок пассажиров; то же можно сказать и об аэропортах, стоящих ниже в иерархии, – она принимает ступенчатый вид, где на одном уровне находится сразу несколько узлов. Данное обстоятельство приводит к заключению, что иерархия системы авиаузлов СССР в 1960–1981 гг. больше соответствует не правилу «ранг – размер», а другому, например, описываемому теорией центральных мест. Однако факторы, которые влияют на устойчивость узла в иерархии, отмечаются те же, что и для России 2013–2023 гг.

Значение k МАУ в 2020–2023 гг. близко к его значениям в 1960–1981 гг., когда авиатранспортная система СССР была в значительной степени изолирована от мировой. В период повышения открытости наибольший рост наблюдался у Москвы, остальные узлы росли медленнее, однако, как и в России с 2014 г., в первую очередь наиболее крупные. Чем больше был пассажирооборот авиаузлов, тем прочнее было их место в иерархии авиаузлов. Таким образом, зависимость между рангом авиаузла и его размером (объемом обслуженных пассажиров) увеличивается по мере того, как авиатранспортная система России становится более обособленной и одновременно более равновесной. Согласно правилу «ранг – размер», МАУ все больше соответствует системе авиаузлов, которую он обслуживает, поэтому формирование региональных авиахабов на базе крупнейших аэропортов согласуется с направлением развития авиатранспортной системы России. Наиболее устойчивые в

⁵Это можно трактовать и как нарастание общих дезинтеграционных процессов в государстве.

иерархии на текущий момент и тем самым наиболее подходящие для организации на их базе регио-

нальных хабов – аэропорты Екатеринбурга, Новосибирска и Сочи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гусейн-Заде С.М. Модели размещения населения и населенных пунктов. М.: Изд-во МГУ, 1988. 92 с.
- Медведков Ю.В. О размерах городов, объединенных в систему // Количественные методы исследования в экономической географии (Сборник докладов на семинаре). М.: ВИНТИ; Мос. филиал ВГО, 1964. С. 90–122.
- Искалиев Д.Ж. Городское расселение Казахстана: тенденции и факторы // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 2. С. 131–146.
- Коломак Е.А. Городская система современной России. Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2018. 144 с.
- Растворцева С.Н., Манаева И.В. Оценка временного роста городов России // Региональная экономика: теория и практика. 2019. Т. 17. № 3(462). С. 402–417. DOI: 10.24891/re.17.3.402.
- Ростислав К.А., Салимова Д.Р., Пономарев Ю.Ю. Детерминанты межрегиональных авиаперевозок в России // Прикладная эконометрика. 2023. № 4. С. 39–58. DOI: 10.22394/1993-7601-2023-72-38-57.
- Самбуров К.В. Географическое распределение пассажирских железнодорожных узлов России // Региональные исследования. 2020. № 2(68). С. 121–130. DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-10.
- Семенов А.А. Авиахаб // Социально-экономическая география: понятия и термины: словарь-справочник / отв. ред. А.П. Горкин. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 12.
- Сорокин О.В., Самбуров К.В. Зоны тяготения пассажирских перевозок Москвы и Санкт-Петербурга // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 6. С. 135–147.
- Сорокин О.В. Трансформация территориальной структуры внутренних пассажирских авиаперевозок в России (1960–1970-е и 2010-е годы) // Региональные исследования. 2022. № 2(76). С. 53–66. DOI: 10.5922/1994-5280-2022-2-5.
- Сорокин О.В., Волошок А.С. Оценка условий и факторов формирования региональных авиахабов в Екатеринбурге, Тюмени, Новосибирске и Красноярске // Известия РАН. Серия географическая. 2023. № 3(87). С. 100–111. DOI: 0.31857/S258755662303010X.
- Тархов С.А. Изменение связности пространства России (на примере авиапассажирского сообщения). М.; Смоленск: Ойкумена, 2015. 154 с.
- Шульгина О.В., Головкин Г.Г. Изменение объемов авиаперевозок и специализации сегментов Московского авиационного узла с 2014 по 2021 год // Теоретическая и прикладная экономика. 2022. № 3. С. 34–54. DOI: 10.25136/2409-8647.2022.3.38427.
- Auerbach F. Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration, *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 1913, bd. 59, s. 74–76.
- Borenstein S. Hubs and high fares: dominance and market power in the US airline industry, *The RAND Journal of Economics*, 1989, vol. 20, no. 3, p. 344–365, DOI: 10.2307/2555575.
- Halás M., Kraft S., Klapka P. Global spatial organization of air transport: The definition of functional airline regions, *The Geographical Journal*, 2020, vol. 186, iss. 1, p. 2–15, DOI: 10.1111/geoj.12313.
- Hansen M. Airline competition in a hub-dominated environment: An application of noncooperative game theory, *Transportation Research, pt B, Methodological*, 1990, vol. 24, no. 1, p. 27–43, DOI: 10.1016/0191-2615(90)90030-3.
- Rodrigue J.-P. *The Geography of Transport Systems*, New York, Routledge, 2020, 456 p.
- Shaw S.L. Hub structures of major US passenger airlines, *Journal of Transport Geography*, 1993, vol. 1, no. 1, p. 47–58, DOI: 10.1016/0966-6923(93)90037-Z.
- Zipf G.K. *Human behavior and the principle of least effort*, Cambridge, Massachusetts, Addison-Wesley Press, 1949, 573 p.

Поступила в редакцию 11.07.2023

После доработки 15.10.2024

Принята к публикации 21.01.2025

CHANGING THE STRUCTURE OF THE HIERARCHY OF RUSSIAN AIR HUBS IN 1960–2023

D.V. Kokorin¹, O.V. Sorokin²

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

¹ *Project Manager, Infrastructure Development Department; e-mail: dvkokorin@mail.ru*

² *Graduate student; e-mail: sorokin.oleg.98@mail.ru*

High level of centralization of passenger transportation in the Moscow Aviation Hub is typical for Russia. It concentrates transit flows between regional airports. Unloading of the Russia's main air hub is possible through the development of regional air hubs. The hypertrophy of the Moscow Aviation Hub is also due to the collapse of a unified aviation network of the USSR, the rudiment of which is the aviation network of the Russian Federation. Disconnection meant that the air hub system have lost the state of balance, i.e. the capability of a system to maintain its parameters through self-regulation. Now there is a restoration of balance within new state borders. It is advisable to develop air hubs based on the largest airports, which, by their stable position in the hierarchy of air hubs, ensure the balance of the entire system.

The balance in the system of air hubs is described by the “rank–size” rule. To check the compliance of a hypertrophied system of air hubs in Russia with the rule the Yu.V. Medvedkov mathematical model is used. It makes it possible to estimate the proportionality of the Moscow Aviation Hub to the entire system (primacy coefficient), measure of contrasts between air hubs and determine the degree of deviation from their distribution in accordance with the “rank–size” rule. According to the methodology applied the rule was tested for the first time using the example of the largest airports hierarchy. The study is based on the data on passenger turnover of 30 largest airports of Russia for each year from 2013 to 2023 and on passenger departures from 30 largest airports of the USSR for each year from 1960 to 1981.

The analysis shows that in 2013–2023 the Russian air hub system is close to the distribution in accordance with the “rank–size” rule – there is a tendency towards decreasing primacy coefficient of the Moscow Aviation Hub and decentralization. The changes occur mainly due to the growth of passenger turnover of the hubs in the upper segment of the hierarchy. The key factors of air hubs stability in the hierarchy are the territorial specialization and the transport and geographical position. In 1960–1981 the air hub system of the USSR was more polycentric and less contrasting. The similarity of the primacy coefficient values for the Moscow Aviation Hub in 2020–2023 and in the Soviet period, as well as a comparison of trends in the development of air hub systems suggest that the weakening of Moscow's external ties contributed to the strengthening of ties between the next air hubs in the hierarchy. Thus, the formation of regional air hubs based on the largest airports in Russia aligns with the trends in the air transport system development.

Keywords: airport hierarchy, Moscow Aviation Hub, “rank–size” rule, USSR

REFERENCES

- Auerbach F. Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration [The law of population concentration], Petermanns, *Geographische Mitteilungen*, 1913, no. 59, p. 74–76. (In Deutsch)
- Borenstein S. Hubs and high fares: dominance and market power in the US airline industry, *The RAND Journal of Economics*, 1989, vol. 20, no. 3, p. 344–365, DOI: 10.2307/2555575.
- Gusein-Zade S.M. *Modeli razmeshcheniya naseleniya i naseleennykh punktov* [Population and locality placement models], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1988, 92 p. (In Russian)
- Halás M., Kraft S., Klapka P. Global spatial organisation of air transport: The definition of functional airline regions, *The Geographical Journal*, 2020, vol. 186, iss. 1, p. 2–15, DOI: 10.1111/geoj.12313.
- Iskaliyev D.Zh. Gorodskoe rasselenie Kazakhstana: tendencii i faktory [Urban population of Kazakhstan: trends and factors], *Nauka. Innovacii. Tekhnologii*, 2017, no. 2, p. 131–146. (In Russian)
- Kolomak E.A. *Gorodskaya sistema sovremennoj Rossii* [The urban system of modern Russia], Novosibirsk, IEIE SB RAS Publ., 2018, 144 p. (In Russian)
- Medvedkov Yu.V. [On the size of cities united in a system], *Kolichestvennye metody issledovaniya v ekonomicheskoi geografii* [Quantitative methods of studies in economic geography], Moscow, All-Union Institute for Scientific and Technical Information, The Moscow Branch of the Geographical Society of the USSR, 1964, p. 90–122. (In Russian)
- Rastvortseva S.N., Manaeva I.V. Otsenka vremennogo rosta gorodov Rossii [Estimation of temporal growth rate of Russian cities], *Regional Economics: Theory and Practice*, 2019, vol. 17, no. 3, p. 402–417, DOI: 10.24891/re.17.3.402. (In Russian)
- Rodrigue J.-P. *The Geography of Transport Systems*, New York, Routledge, 2020, 456 p.
- Rostislav K.A., Salimova D.R., Ponomarev Y.Y. Determinanty mezhhregional'nykh aviaperevozok v Rossii [Determinants of interregional air transportation in Russia], *Prikladnaya ekonometrika*, 2023, no. 4, p. 39–58, DOI: 10.22394/1993-7601-2023-72-38-57. (In Russian)
- Samburov K.V. Geograficheskoe raspredelenie passazhirskikh zheleznodorozhnykh uzlov Rossii [The geographical distribution of passenger railway hubs in Russia],

- Regional'nye issledovaniya*, 2020, no. 2(68), p. 121–130, DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-10. (In Russian)
- Semyonov A.A. [Air Hub], *Social'no-ekonomicheskaya geografiya: ponyatiya i terminy* [Social and Economic Geography: notions and terms], Slovar'-spravochnik, A.P. Gorokin (ed.), Smolensk, Ojkumena, 2013, p. 12. (In Russian)
- Shul'gina O.V., Golovko G.G. Izmenenie ob'emov aviaperevozok i spetsializatsii segmentov Moskovskogo aviatsionnogo uzla s 2014 po 2021 god [Changes in the volume of air traffic and specialization of segments of the Moscow Aviation Hub from 2014 to 2021], *Theoretical and Applied Economics*, 2022, no. 3, p. 34–54, DOI: 10.25136/2409-8647.2022.3.38427. (In Russian)
- Sorokin O.V. Transformatsiya territorial'noi struktury vnutrennikh passazhirskikh aviaperevozok v Rossii (1960–1970-e i 2010-e gody) [Transformation of territorial structure of domestic passenger air service in Russia in 1960s–70s and 2010s], *Regional'nye issledovaniya*, 2022, no. 2(76), p. 53–66, DOI: 10.5922/1994-5280-2022-2-5. (In Russian)
- Sorokin O.V., Samburov K.V. Zony tyagoteniya passazhirskikh perevozok Moskvy i Sankt-Peterburga [Attraction zones of passenger traffic to Moscow and St. Petersburg], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 6, p. 135–147. (In Russian)
- Sorokin O.V., Voloshok A.S. Otsenka uslovii i faktorov formirovaniya regional'nykh aviakhabov v Ekaterinburge, Tyumeni, Novosibirsk i Krasnoyarske [Evaluation of Conditions and Factors for the Formation of Regional Air Hubs in Yekaterinburg, Tyumen, Novosibirsk and Krasnoyarsk], *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk, Ser. Geograficheskaya*, 2023, no. 3(87), p. 100–111, DOI: 0.31857/S258755662303010X. (In Russian)
- Tarkhov S.A. *Izmenenie svyaznosti prostranstva Rossii (na primere aviapassazhirskogo soobshcheniya)* [Changes in air transport connectivity of Russian cities in 1990–2015], Moscow, Smolensk, Oecumene, 2015, 154 p. (In Russian)
- Zipf G.K. *Human behavior and the principle of least effort*, Cambridge, Massachusetts, Addison-Wesley Press, 1949, 573 p.

Received 11.07.2023

Revised 15.10.2024

Accepted 21.01.2025

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА КАШИНА И ОКРУЖАЮЩЕЙ ЕГО СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ В 2001–2024 гг.

М.Р. Давиденко¹, У.Р. Рахимова², М.С. Савоскул³, А.С. Чучкалов⁴

^{1–4} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России

¹ Студентка бакалавриата; e-mail: masha.davidenko10@yandex.ru

² Студентка бакалавриата; e-mail: marbot@bk.ru

³ Зав. кафедрой, доц., д-р геогр. наук; e-mail: savoskul@yandex.ru

⁴ Аспирант; e-mail: chuchkalov_sashka@mail.ru

Цель статьи – определение динамики территориальной подвижности постоянного населения малого города и сельской местности в Нечерноземье за два последних десятилетия на примере Кашинского района Тверской области. Под территориальной подвижностью понимается интенсивность возвратных перемещений людей по различным направлениям. Информационной основой исследования стало массовое анкетирование постоянных жителей Кашинского района в 2001 и 2024 гг. (выборка за каждый год составила более 1% всего совершеннолетнего населения района). За два десятилетия население района стало более подвижным, что является, скорее, типичной чертой для российского общества. Если в 2001 г. относительное большинство жителей вовсе не участвовало в возвратных миграциях в региональный центр и в Москву, то спустя два десятилетия жители чаще всего посещают региональный центр раз в несколько месяцев, Москву – реже раза в год. Усилилось разнообразие поездок по целям и направлениям: в несколько раз увеличилось участие населения в поездках с рекреационными целями. Усилился разрыв между горожанами и сельчанами в территориальной подвижности в направлении Москвы и других регионов России – горожане становятся более подвижными относительно сельских жителей. К числу факторов, влияющих на территориальную подвижность, можно отнести пол, возраст, уровень дохода и место рождения человека. Мужчины более мобильны, чем женщины. В возрастной структуре наиболее мобильно молодое трудоспособное население от 18 до 34 лет. Территориальная подвижность в целом имеет прямую зависимость с субъективно оцениваемым уровнем дохода. Приезжие более мобильны, чем уроженцы района. Несмотря на рост мобильности, выдвинута гипотеза, что выраженные в долгосрочных возвратных перемещениях людей социальные взаимосвязи между сельской местностью Нечерноземья и крупными городами постепенно ослабевают.

Ключевые слова: пространственная мобильность населения, возвратные миграции населения, трудовая мобильность, малый город, внутренняя периферия, Нечерноземье

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.10

ВВЕДЕНИЕ

Исследования географической (пространственной) мобильности широко распространены в социально-экономической географии. Согласно концепции мобильного перехода [Zelinsky, 1971], еще со второй половины XX в. многообразие пространственных перемещений людей, в первую очередь, выражается не в смене постоянного места жительства, а в многочисленных возвратных поездках различной частоты и интенсивности в пределах сельско-городской среды. В отличие от миграций населения под пространственной мобильностью понимают не столько потоки движущихся людей, сколько саму склонность людей к перемещению в пространстве [Bell, Ward, 2000; Между домом..., 2016]. Среди различных типов возвратной мобильности внимание исследователей уделяется маятни-

ковым поездкам в пределах городских агломераций [Махрова, Бабкин, 2018], трудовым возвратным миграциям и отходничеством [Нефедова, 2015; Антонов, 2016; Мкртчян, Флоринская, 2016], учебным возвратным миграциям [Флоринская, Рощина, 2008] и дачным рекреационным поездкам [Нефедова, Махрова, 2015].

Вместе с тем понимание специфики пространственной мобильности в условиях неполного и некачественного статистического учета является нетривиальной задачей, особенно применительно к повседневной пространственной мобильности. Научный интерес представляет, в частности, определение вовлеченности совокупности жителей какой-либо территории в возвратные поездки, интенсивности их разнонаправленных перемещений. Многочисленные примеры таких работ представ-

лены в англоязычном журнале *Mobility* [Meijering et al., 2024]. В контексте рассмотрения повседневной мобильности русскоязычные исследователи нередко используют понятие «территориальная подвижность» [Алексеев и др., 2007; Краснослободцев, Савоскул, 2004; Смирнов, Виноградов, 2017]. Согласно Т.М. Регент [Регент, 1981], территориальная подвижность – это совокупность ежедневных, периодических и эпизодических территориальных перемещений (без смены места жительства) по всем видам деятельности.

В обобщающей работе А.Г. Махровой и соавторов [Махрова и др., 2022] в качестве одного из вызовов перспективных исследований мобильности указана необходимость исследования возвратных миграций за пределами территорий с их наибольшей интенсивностью. Существующие локальные исследования немногочисленны [Мосиенко и др., 2020]. В связи с этим в настоящей статье предпринята попытка определения уровня территориальной подвижности постоянного населения малого города и сельской местности в Нечерноземье, а также изменения территориальной подвижности за два последних десятилетия. Территорией исследования являлся Кашинский район Тверской области с центром в малом городе Кашин¹. По коэффициенту миграционной подвижности населения расположенная между двумя столичными агломерациями Тверская область – один из лидеров в Центральной России [Нефедова, Махрова, 2015; Смирнов и др., 2019]. Социально-экономическая специфика нечерноземных районов в непосредственной близости от Московской агломерации предполагает рост возвратной пространственной мобильности в последние десятилетия за счет интенсификации как трудовых возвратных миграций, так и рекреационных дачных поездок [Нефедова, 2015]. Большинство малых городов Европейской России в пределах Нечерноземья свойственна интенсивная депопуляция в постсоветский период [Маркин и др., 2019; Мкртчян, 2017]. В малых городах Тверской области проблема депопуляции приобретает особую остроту из-за продолжительного миграционного оттока их жителей в столичные городские агломерации и, как следствие, сильно постаревшей возрастной структуры оставшегося населения [Смирнов и др., 2019]. Факторами депопуляции малых городов также являются ограниченное количество мест приложения труда и вариантов проведения досуга, пониженное качество предоставляемых социальных услуг [Медведева, Слемзина, 2020].

¹ Здесь и далее под Кашинским районом будем понимать единицу административно-территориального устройства Кашинский район, территориально соответствующую муниципальному образованию Кашинский муниципальный округ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационной основой исследования стал массив сведений, собранных в ходе полевых работ в Кашинском районе в июне 2001 г. и в июне 2024 г. Основным метод – анкетирование совершеннолетних постоянных жителей Кашинского района по анонимной анкете, включившей в себя 34 вопроса, которые были объединены в три блока: 1) об образе жизни анкетиремого и ведении личного подсобного хозяйства; 2) о пространственной мобильности и миграционных намерениях; 3) об объективных характеристиках анкетиремого (роде занятий, сфере профессиональной деятельности, уровне образования, субъективно оцениваемом уровне дохода, поле и возрасте). На рис. 1 приведено распределение анкетиремых по возрасту в 2001 и 2024 гг. Изменение соотношения возрастных интервалов среди ответивших на вопросы анкеты соответствует постарению возрастнo-половой структуры населения Кашинского района в целом. За 2002–2021 гг. доля лиц моложе трудоспособного возраста в населении района сократилась с 16,6 до 11,2%, а доля лиц старше трудоспособного возраста² возросла с 25,7 до 37,3%. Медианный возраст населения в 2021 г. составлял 49 лет.

Для оценки собственно мобильности населения в анкету были включены вопросы о частоте поездок по различным направлениям и о влиянии работы транспорта на возможное сокращение поездок. Для выяснения характера постоянных миграций населения были дополнительно включены вопросы о месте рождения респондентов, изначальном месте их проживания, причинах переезда и длительности проживания в Кашинском районе. В анкете 2001 г. дополнительно присутствовал вопрос для сельских жителей о частоте поездок к ним проживающих в городах родственников в 1991 г.

Как в 2001, так и в 2024 г. анкетирование проводилось непосредственно на улицах г. Кашина и в сельских населенных пунктах Кашинского района (их обозначения приведены на рис. 2). В 2024 г. анкета дополнительно распространялась через чаты родителей школьников в мессенджерах и локальные сообщества в социальных сетях «ВКонтакте» и «Одноклассники». Кроме того, по согласованию с администрацией муниципалитета на досках объявлений были размещены QR-коды со ссылками на анкету.

² Для сопоставимости расчетов границами трудоспособного возраста и возраста старше трудоспособного считались 60 лет для мужчин и 55 лет для женщин (пенсионный возраст до 1 января 2019 г.).

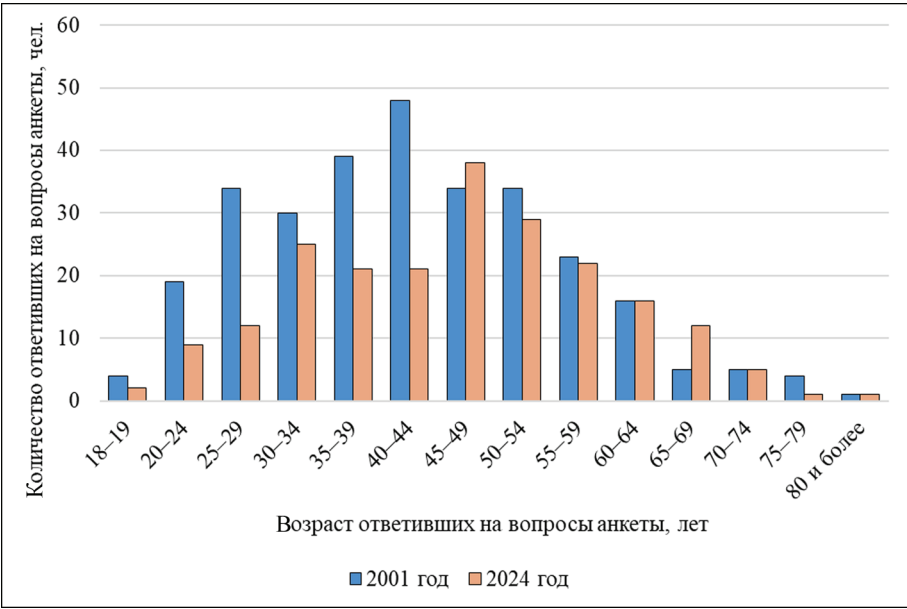


Рис. 1. Распределение по возрасту ответивших на вопросы анкеты в 2001 и 2024 гг. *Источник:* составлено авторами

Fig. 1. Age distribution of respondents to the questionnaire in 2001 and 2024. *Source:* compiled by the authors

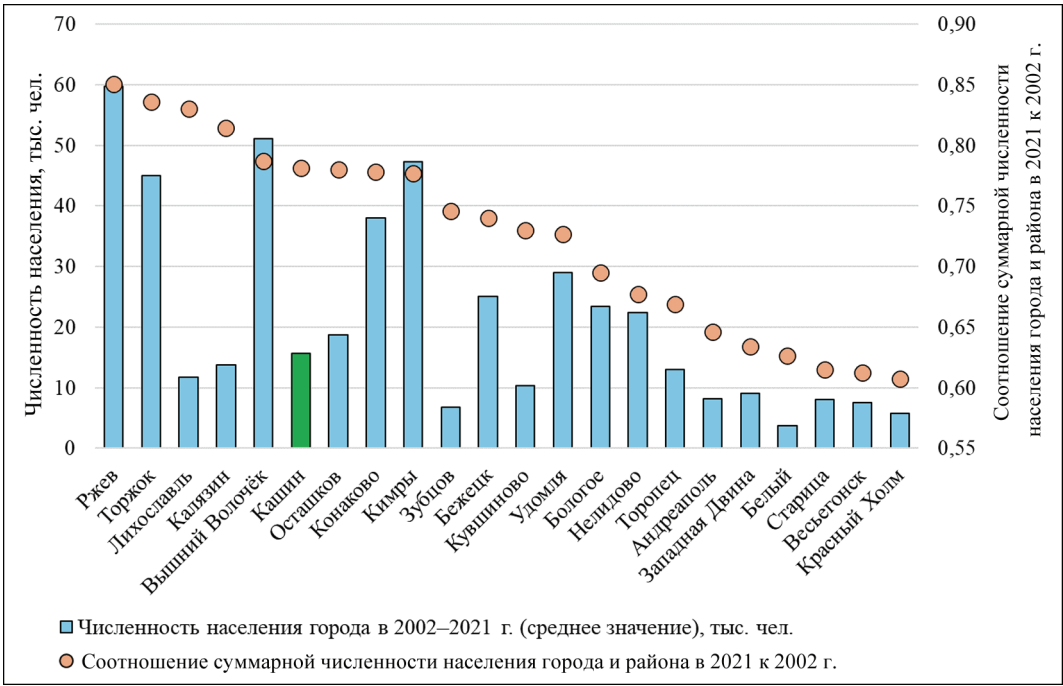


Рис. 2. Динамика численности населения городов Тверской области (за исключением Твери) и окружающих их районов в 2002–2021 гг. Для городов областного значения рассчитывалась динамика суммарного населения города и административного района, центром которого является город, для городов районного значения – динамика населения административного района. *Источник:* составлено авторами по данным [Приложение..., 2024]

Fig. 2. Population dynamics of towns in the Tver region (excluding the city of Tver) and surrounding areas in 2002–2021. *Note:* the dynamics of the total population of the town and the administrative district with the town as its center was calculated for towns of regional significance; the dynamics of the population of the administrative district was calculated for towns of district significance. *Source:* compiled by the authors

Сформированная методом «снежного кома» выборка является невероятностной. Если в 2001 г. объем выборки составил 305 чел., то в 2024 г. – 225 чел. (около 1,1% населения Кашинского района в возрасте старше 18 лет). Вследствие того что прохождение анкеты было добровольным, сформированная выборка не является строго репрезентативной. Логично предположить, что заинтересованные в прохож-

дении анкеты жители в целом наиболее активные и, как следствие, отличаются несколько повышенной пространственной мобильностью.

Вспомогательным методом исследования стало проведение около 20 полуформальных экспертных интервью в сельской местности с представителями территориальных отделов муниципальной администрации, бывшими председателями сельсоветов и руководителями колхозов, фермерами, работниками сферы культуры и торговли, краеведами и старожилами. Средняя продолжительность интервью составляла около 60 минут. Кроме того, проведен анализ статистических данных и исторических документов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Краткое описание района исследования. Интенсивность депопуляции Кашина и окружающей его сельской местности в последние два десятилетия не столь велика в сравнении с другими городами Тверской области (см. рис. 2). Существует слабая зависимость между размером города – центра административного района и сокращением совокупного населения города и района в целом. Несмотря на небольшую людность, депопуляция Кашина сдерживается за счет относительной близости к Москве при наличии прямого автобусного сообщения со столицей (удаленность по автомобильной дороге составляет около 215 км). Относительная устойчивость социально-экономического положения связана и с тем, что в городе с позднесоветского периода продолжают функционировать главные промышленные предприятия: завод низковольтной электроаппаратуры и ликероводочный завод.

Кашин обладает и рядом уникальных черт. Во-первых, это один из дореволюционных бальнеологических курортов – на протяжении 140 лет здесь работает санаторий, расположенный рядом с источниками минеральных вод (в настоящее время здравница федерального значения, рассчитанная на 350 мест) [Страхов, 2016]. Во-вторых, Кашин – важный центр православного паломничества. Вследствие хорошей сохранности исторической застройки и уникальной градостроительной планировки город обладает потенциалом для развития историко-культурного туризма.

Сельская местность Кашинского района характеризуется низкой степенью связности сельских населенных пунктов между собой (рис. 3). Транспортная сеть имеет разветвленную древовидную конфигурацию с центром в Кашине. Субцентром западной части района являются расположенные рядом деревня Верхняя Троица и поселок Тетьково [Смирнова, Виноградов, 2023]. Связи автомобильным транспортом с другими районами осущест-

вляются только по дорогам федерального значения «Золотое кольцо» и регионального значения Кашин – Бежецк. В будние дни в Тверь и обратно следует шесть автобусных пар, в Москву – пять, с Ярославлем прямое автобусное сообщение отсутствует. Несмотря на выход южной части района к Угличскому водохранилищу, дачное освоение берега Волги жителями Московской агломерации очень ограничено из-за отсутствия газоснабжения в прибрежных сельских населенных пунктах (в отличие от соседнего Калязинского района).

Сельское хозяйство Кашинского района в сравнении с другими районами Тверской области ведется более интенсивно. Оно представлено мясным и молочно-мясным скотоводством, коневодством и выращиванием однолетних культур. С 2019 г. компанией «Румелко-Агро» здесь реализуется крупный инвестиционный проект по созданию трех молочно-товарных комплексов [В Тверской..., 2024] с общим поголовьем около 25 тыс. голов (в деревнях Бузыково, Давыдово и Бурмакино, см. рис. 2). Это оказывает влияние на миграционную привлекательность района: в условиях дефицита местных трудовых ресурсов на северной окраине Кашина возводится жилой комплекс из 120 таунхаусов для работников из других регионов России и стран Центральной Азии.

Основной набор услуг, представленных в потребительской корзине жителя Кашинского района, имеет географическую привязку к районному центру (рис. 4). Услуги первой необходимости жители преимущественно получают в Кашине. Для приобретения товаров длительного пользования более 20% анкетированных предпочитает поездки в региональный центр. Несмотря на положение Кашинского района за пределами Московской столичной агломерации, 5–10% населения получают указанные на рис. 4 услуги в Москве.

Территориальная подвижность жителей малого города и сельской местности. На рис. 5 способом лепестковых диаграмм отображена интенсивность поездок разной частоты городских и сельских жителей в 2001 и 2024 гг. Отмечено изменение преобладающей частоты поездок постоянных жителей Кашинского района по большинству направлений. Неизменным остается преобладающий по интенсивности еженедельный характер поездок сельчан в районный центр (рис. 5А). В 2001 г. относительное большинство жителей как малого города, так и сельской местности вовсе не участвовало в возвратных миграциях в другие города Тверской области и в Москву (см. рис. 5Б, В). В свою очередь, спустя два десятилетия жители Кашинского района уже ездят в другие города Тверской области преимущественно раз в несколько месяцев, в Москву же – реже раза в год.

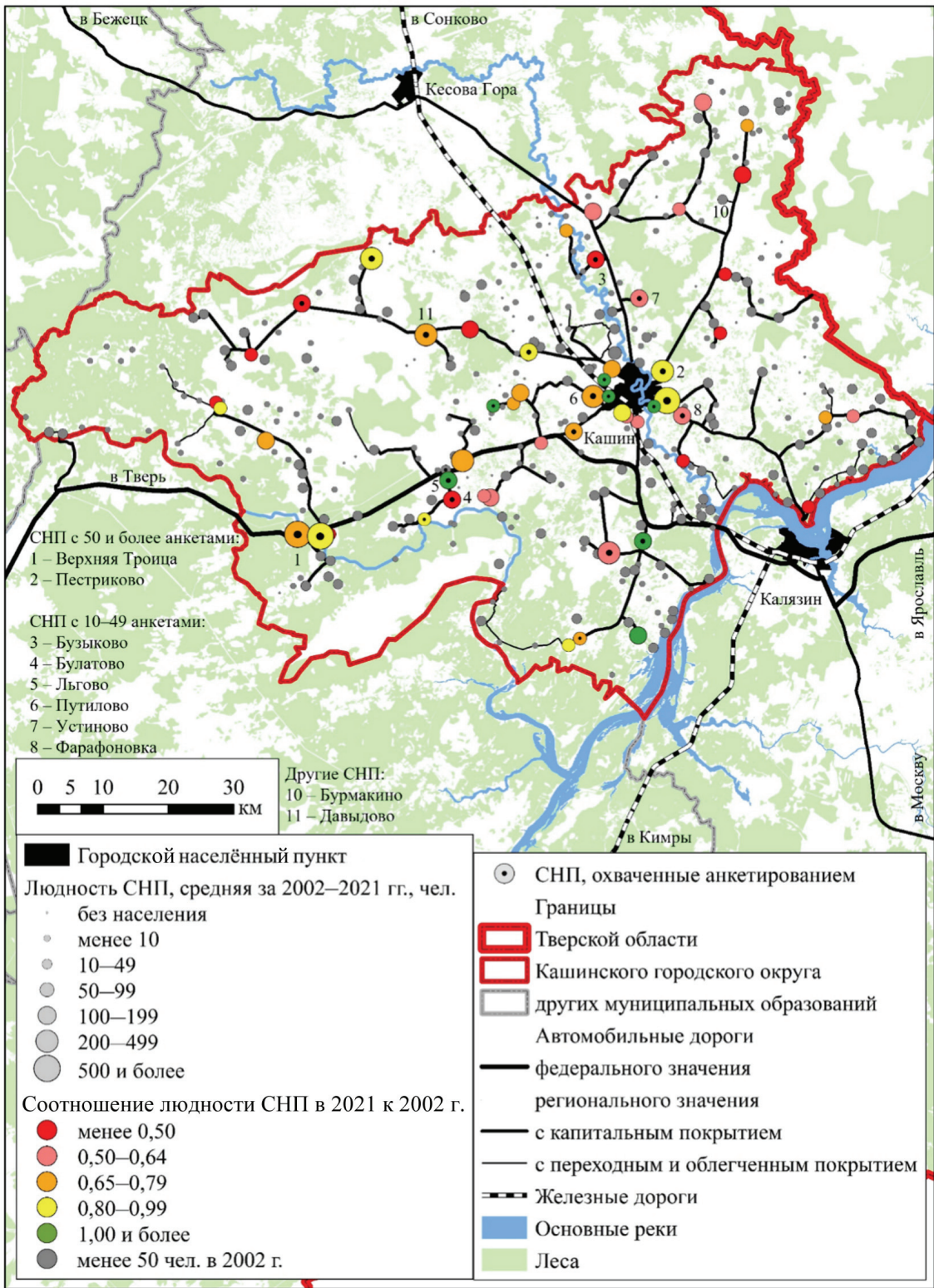


Рис. 3. Охват сельских населённых пунктов Кашинского района анкетированием (совокупно в 2002 и 2021 гг.).
Источник: составлено авторами по данным [Этно-языковой состав..., 2024]

Fig. 3. Coverage of rural settlements in the Kashinsky district by surveys (in 2001 and 2024 combined).
Source: compiled by the authors according to [Ethno-linguistic composition..., 2024]

За 2001–2024 гг. существенно возросла доля жителей, в принципе участвующих в возвратных миграциях. Например, хотя бы раз в год другие регионы России сейчас посещают 42% анкетлируемых горо-

жан, в то время как в 2001 г. доля таковых составляла 14%. Почти отсутствуют сельчане, не совершающие поездок в районный центр (в 2001 г. их доля составляла чуть менее 20%, сейчас – менее 2%).

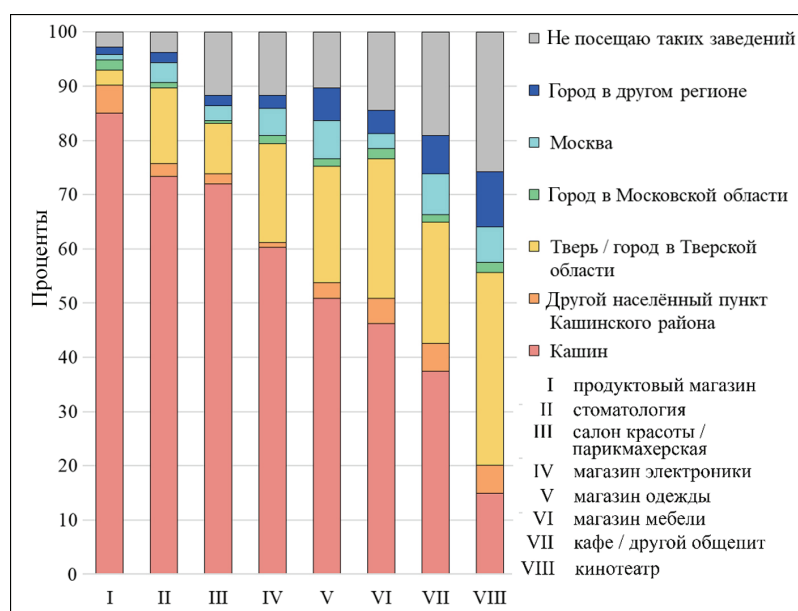


Рис. 4. Распределение ответов на вопрос анкеты «В каком населенном пункте Вы, скорее всего, будете посещать соответствующее заведение?» в 2024 г., %. Источник: составлено авторами

Fig. 4. Distribution of responses to the survey question “In which settlement will you most likely visit the relevant institution?” in 2024, %. Source: compiled by the authors

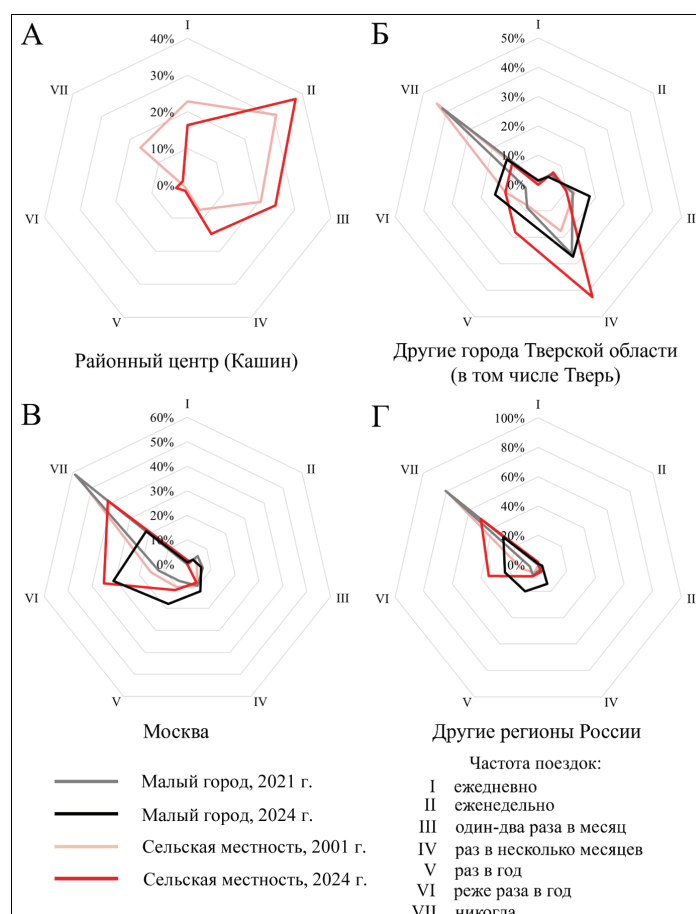


Рис. 5. Доля анкетированных жителей малого города и сельской местности, участвующих в возвратных миграциях с определенной частотой в 2001 и 2024 гг., % от определившихся с ответом. Источник: составлено авторами

Fig. 5. The share of respondents from a small town and surrounding rural area participating in return migrations with a certain frequency in 2001 and 2024, % of those who answered. Source: compiled by the authors

За два десятилетия заметно усилился разрыв между горожанами и сельчанами в территориальной подвижности в направлении Москвы и других регионов России – жители малого города более подвижны. Например, если в 2001 г. доли сельских жителей и горожан, проводивших отпуск в домах отдыха, в санаториях и турбазах в России, существенно не различались, составляя всего 2–4% от числа определившихся с ответом, то в 2024 г. среди горожан она уже составляла 19%, а среди сельчан – только 12%. Участие сельских жителей в возвратных миграциях в Тверь и в другие города области, наоборот, начало преобладать над участием горожан, притом, что сельскими жителями для поездок в Тверь общественный транспорт используется более активно (его выбирают 35% сельских жителей против 24% горожан, в то время как личный транспорт – 54% сельчан и 61% горожан). Показательным является и сокращение территориальной подвижности сельских жителей в направлении Москвы с частотой хотя бы раз в год и чаще по причине постарения возрастной структуры сельского населения и, как

следствие, сокращения потребности в поездках, а также отсутствия необходимости регулярно ездить за основными потребительскими товарами и продуктами питания («колбасные электрички»).

Живущие в городах близкие родственники сейчас приезжают на лето только к 10% ответивших на вопросы анкеты сельчан, в то время как в 2001 г. эта доля составляла 21%, а в 1991 г. – 27% (рис. 6). Таким образом, *можно сделать осторожное предположение, что по мере депопуляции выраженные в долгосрочных перемещениях людей социальные взаимосвязи между сельской местностью Нечерноземья и крупными городами постепенно ослабевают*. Дети, переезжающие в крупные города, нередко стараются перевозить к себе и родителей. За два десятилетия сельская местность Нечерноземья стала менее привлекательной для осуществления поездок туда ее уроженцами, проживающими в городах. Следствием этого является поляризация образа жизни населения столичной агломерации и «внутренней периферии», несмотря на распространение сотовой связи и мобильного интернета.

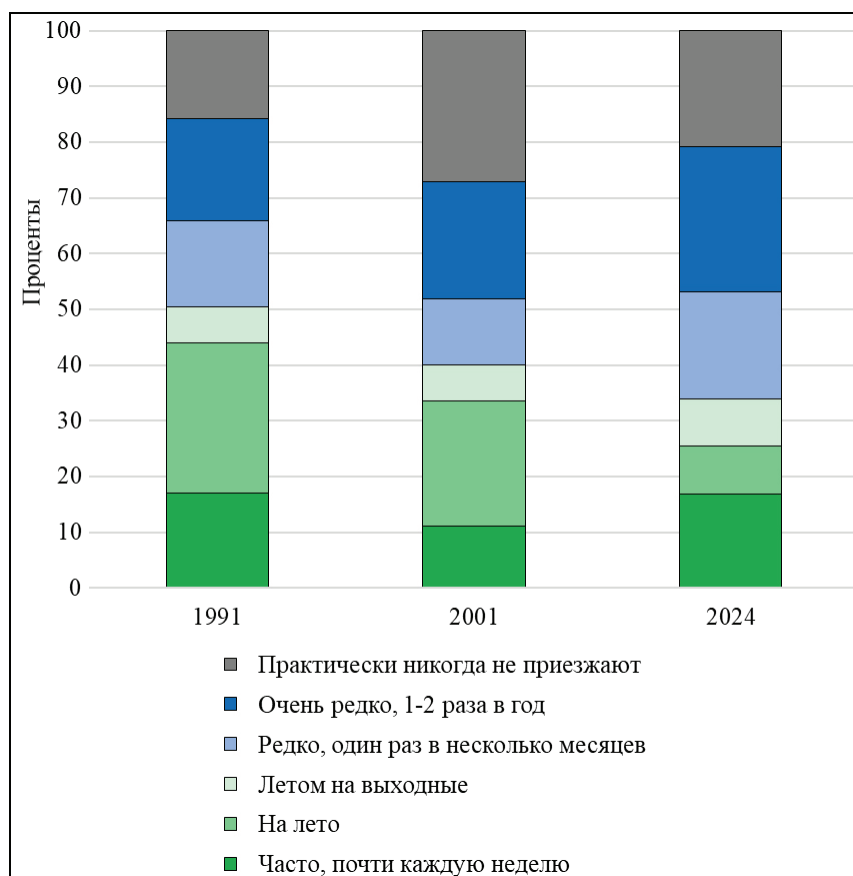


Рис. 6. Распределение ответов на вопрос анкеты «Как часто за два прошлых года к Вам приезжали близкие родственники, живущие в городе?» в 1991, 2001 и 2024 гг., % от определившихся с ответом.

Источник: составлено авторами

Fig. 6. Distribution of responses to the survey question “How often did close relatives living in the cities visit you over the past two years?” in 1991, 2001 and 2024, % of those who answered. Source: compiled by the authors

Различия в территориальной подвижности разных групп населения. Влияние места рождения на территориальную подвижность. Согласно анкетированию населения, в 2000-е и 2010-е гг. Кашинский район был миграционно привлекателен в основном для жителей соседних Кесовогорского, Калязинского и Кимрского районов Тверской области. Доля населения, родившегося в Кашинском районе, в настоящее время велика (около 75% заполнивших анкету). Среди уроженцев района доля никогда не выезжавших в другие регионы России выше. Переехавшие в Кашинский район чаще уроженцев посещают Тверь, другие города Тверской области и Москву. Приезжие в целом более мобильны в том числе и из-за большего разнообразия пространственно выраженных социальных связей.

Влияние половых различий на территориальную подвижность населения. Мужчины более мобильны. Это обусловлено большим разнообразием мест приложения труда, занятостью части мужчин вахтовым способом. За последние несколько лет мужчины чаще выезжали в сельскую местность Кашинского района, в Тверь и в другие города Тверской области (в два раза чаще женщин), в Москву (в 3 раза чаще). В другие регионы России и в районный центр (среди сельских жителей) и мужчины, и женщины выезжают с примерно равной частотой. За 2001–2024 гг. их мобильность увеличилась почти по всем направлениям. Исключением стала динамика поездок сельских женщин в г. Кашин, что может быть связано с изменениями на рынке труда, с сокращением товарного значения личных подсобных хозяйств и с развитием электронной торговли. В июне 2024 г. электронной торговлей охвачены 18 сельских населенных пунктов, в которых проживает треть сельского населения Кашинского района (деревни Верхняя Троица, Леушино и Путилово со специализированными пунктами выдачи заказов и еще 15 сел и деревень с отделениями Почты России). В самом г. Кашине размещено девять специализированных пунктов выдачи заказов интернет-магазинов.

Влияние возрастных различий на территориальную подвижность. Совокупно по всем направлениям наиболее мобильно молодое трудоспособное население (а именно в возрасте от 18 до 34 лет включительно) – все ответившие на вопросы анкеты регулярно выезжают в населенные пункты различных рангов. Однако в абсолютном выражении наибольшее число поездок из-за постарения возрастной структуры населения совершается людьми в возрасте от 45 до 54 лет. В другие города Тверской области примерно с равной частотой ездят люди всех возрастов за исключением возрастной группы от 18 до 24 лет, совершающей поездки реже остальных.

Это происходит из-за того, что студенты из Кашинского района в московские вузы поступают чаще, чем в тверские.

С 2001 г. изменилась структура поездок в отдельных возрастных группах. Среди молодежи моложе 25 лет, а также среди лиц в возрасте 35–44 лет снизились доли выезжающих в районный центр с частотой хотя бы раз в месяц. Для возвратных трудовых и образовательных мигрантов среди сельских жителей районный центр все сильнее уступает в привлекательности более крупным городам. Однако среди лиц старших возрастов поездки в районный центр, наоборот, осуществляются чаще (рост частоты поездок до 75 процентных пунктов), что является следствием сокращения сети учреждений предоставления социальных услуг в сельской местности.

За последние десятилетия у жителей Кашинского района резко возросли миграционные намерения: 24% заполнивших анкету приняли решение о будущем переезде (в 2001 г. их доля составляла менее 6%). Примечательно, что среди жителей Кашина доля желающих уехать выше, чем среди жителей окружающей сельской местности (29% против 15%). В структуре желаемых направлений для переезда Московская агломерация преобладает над Тверской, а Тверская, в свою очередь, над Санкт-Петербургской.

Влияние различий в уровне дохода на территориальную подвижность. Финансовое благополучие тесно взаимосвязано с пространственной мобильностью населения. Частота поездок в соседние села, в другие города Тверской области, в Москву и в другие регионы России имеет прямую зависимость с субъективно оцениваемым уровнем дохода – чем ниже доходы определенной группы населения, тем меньше в ней доля совершающих поездки. Отчасти это происходит из-за участия наиболее высокодоходной части общества в возвратных трудовых миграциях. Обратная ситуация наблюдается с частотой поездок в районный центр среди сельских жителей: уровень зарплат среди регулярно едущих в Кашин ниже, чем у совершающих регулярные поездки по другим направлениям.

Влияние состояния сферы общественного транспорта на территориальную подвижность. В 2024 г. общественный транспорт использовали 59% ответивших на вопросы анкеты, причем при поездках в региональный центр автобусы предпочитал каждый четвертый житель. Женщины пользуются общественным транспортом чаще. 74% прошедших анкетирование отметили ухудшение состояния общественного транспорта за последние 10 лет. Наиболее распространенной причиной негативных оценок стало сокращение числа маршрутов, следствием чего стал отказ части жителей от

поездов в соответствующих направлениях (если в 2001 г. о влиянии сокращения числа рейсов на изменение интенсивности поездок заявляло только 12% прошедших анкету, то в 2024 г. доля таковых достигла 50%).

ВЫВОДЫ

За период 2001–2024 гг. население Кашинского района стало более территориально подвижным, что является, скорее, типичной чертой для российского общества: хотя бы раз в год другие регионы России сейчас посещают 42% жителей малого города, в то время как в 2001 г. доля таковых составляла 14%.

За два десятилетия увеличилось разнообразие поездок населения по целям и направлениям: в особенности, в несколько раз увеличилось участие населения в поездках с рекреационными целями.

В 2000–2010-е гг. усилился разрыв между горожанами и сельчанами в территориальной подвижности в направлении Москвы и других регионов России – в этих направлениях жители малого города более подвижны; однако участие сельских жителей в возвратных миграциях в региональный центр, на-

оборот, начало преобладать над участием горожан.

Среди факторов, влияющих на уровень территориальной подвижности, значимыми являются пол, возраст, уровень дохода и место рождения человека: 1) мужчины более мобильны, чем женщины; 2) в возрастной структуре наиболее мобильно молодое трудоспособное население в возрастном промежутке от 18 до 34 лет; 3) территориальная подвижность в целом имеет прямую зависимость с субъективно оцениваемым уровнем дохода; 4) приезжие более мобильны, чем уроженцы района.

Можно предположить, что по мере депопуляции выраженные в долгосрочных перемещениях людей социальные взаимосвязи между сельской местностью Нечерноземья и крупными городами постепенно ослабевают. Следствием этого может являться поляризация образа жизни населения столичной агломерации и нечерноземных районов «внутренней периферии».

Состояние сферы общественного транспорта (в особенности сокращение сети внутрирегиональных автобусных маршрутов) сдерживает рост территориальной подвижности населения.

Благодарности. Авторы благодарят Леонида Ефремова и Наталью Греля за обработку результатов анкетирования 2001 г.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24–17–00107 «Малые города и сельские населенные пункты в системе расселения регионов России (1989–2021)»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.И., Краснослободцев В.П., Гладкова О.Н. Территориальная подвижность населения и системы расселения в сельской местности России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2007. № 4. С. 10–14.
- Антонов Е.В. Трудовая мобильность населения России по данным Всероссийской переписи 2010 года // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 2. С. 54–63.
- Краснослободцев В.П., Савоскул М.С. Территориальная подвижность сельского населения: изменение направлений и мотивов поездок (на примере Ставропольского края, Калужской и Архангельской областей) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2004. № 4. С. 53–58.
- Маркин В.В., Малышев М.Л., Землянский Д.Ю. Малые города России: комплексный мониторинг развития. Ч. 1 // Мониторинг правоприменения. 2019. Т. 4. № 33. С. 46–55.
- Махрова А.Г., Бабкин Р.А. Анализ пульсаций системы расселения Московской агломерации с использованием данных сотовых операторов // Региональные исследования. 2018. № 2(60). С. 68–78.
- Махрова А.Г., Бабкин Р.А., Кириллов П.Л. и др. Исследования и оценки масштабов возвратной мобильности и пульсаций населения в пространстве современной России // Известия РАН. Сер. геогр. 2022. Т. 86. № 3. С. 332–352.
- Медведева Н.В., Слемзина А.Н. Типичные проблемы развития социальной инфраструктуры малого города в современных российских условиях // Социальная политика и социология. 2020. Т. 19. № 3. С. 103–111.
- Между домом и... домом. Возвратная пространственная мобильность населения России. М.: Новый хронограф, 2016. 504 с.
- Мкртчян Н.В. Миграция молодежи из малых городов России // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. 2017. № 1(137). С. 225–242.
- Мкртчян Н.В., Флоринская Ю.Ф. Социально-экономические эффекты трудовой миграции из малых городов России // Вопросы экономики. 2016. № 4. С. 103–123.
- Мосиенко Н.Л., Иванова В.В., Дьячкова П.А. Пространственная мобильность жителей Новосибирской области (по материалам массового опроса жителей области в 2018 г.) // ЭКО. 2020. № 50(4). С. 146–165.
- Нефедова Т.Г. Миграционная подвижность населения и отходничество в современной России // Известия РАН. Сер. геогр. 2015. № 3. С. 41–56.
- Нефедова Т.Г., Махрова А.Г. Дачники между двух столиц // Путешествие из Петербурга в Москву: 222 года спустя. Кн. 1 / под ред. Т.Г. Нефедовой, А.И. Трейвиша. М.: URSS, 2015. С. 190–207.

- Регент Т.М. Социальные аспекты в географическом изучении сельского населения: дисс. ... канд. геогр. наук. М., 1981. 240 с.
- Смирнов И.П., Виноградов Д.М. Территориальная подвижность как качественная характеристика населения Тверской области // Вестн. Тверск. гос. ун-та. Сер.: Геогр. и геоэкол. 2017. № 4. С. 43–54.
- Смирнов И.П., Виноградов Д.М., Алексеев А.И. К Москве или к Санкт-Петербургу? Тяготение населения Тверской области по данным сети «ВКонтакте» // Известия РГО. 2019. Т. 151. № 6. С. 69–80.
- Смирнова А.А., Виноградов Д.М. Советский проект по преобразованию сельской местности на примере деревни Верхняя Троица Тверской области // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. № 4. С. 137–145.
- Страхов О.И. Кашинские минеральные воды, 1884 / Тверь: Печатница, 2016. 39 с.
- Флоринская Ю.Ф., Рощина Т.Г. Оценка уровня миграционной мобильности молодежи малых российских городов (по опросам выпускников школ) // Проблемы прогнозирования. 2008. № 3. С. 125–139.
- Bell M., Ward G. Comparing temporary mobility with permanent migration, *Tourism Geogr.*, 2000, vol. 2(1), p. 87–107.
- Meijering L., Osborne T., Doorne van M. et al. Seasonal differences in mobility and activity space in later life: a case study of older adults in the Northern Netherlands, *Mobilities*, 2024, vol. 19(4), p. 736–755.
- Zelinsky W. The Hypothesis of the mobility transition, *Geographical Review*, 1971, vol. 32, no. 192, p. 337–347.
- Электронные ресурсы**
- В Тверской области завершается строительство крупного молочно-товарного комплекса // Новости Твери и Тверской области – МК в Твери. URL: <https://tver.mk.ru/social/2024/08/21/v-tverskoy-oblasti-zavershaetsya-stroitelstvo-krupnogo-molochnotovarnogo-kompleksa.html> (дата обращения 18.08.2024).
- Приложение Демоскопа Weekly // Демоскоп Weekly. URL: <https://demoscope.ru/weekly/ssp/census.php> (дата обращения 18.08.2024).
- Этно-языковой состав населенных пунктов России: база данных URL: <https://lingvarium.org/russia/settlement-database.shtml> (дата обращения 18.08.2024).

Поступила в редакцию 10.10.2024

После доработки 16.12.2024

Принята к публикации 21.01.2025

TERRITORIAL MOBILITY OF POPULATION OF THE TOWN OF KASHIN AND ITS RURAL ENVIRONS DURING 2001–2024

M.R. Davidenko¹, U.R. Rakhimova², M.S. Savoskul³, A.S. Chuchkalov⁴

^{1–4} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia

¹ Undergraduate student; e-mail: masha.davidenko10@yandex.ru

² Undergraduate student; e-mail: marbot@bk.ru

³ Head of the Department, Associate Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: savoskul@yandex.ru

⁴ Graduate student; e-mail: chuchkalov_sashka@mail.ru

The aim of the article is to identify the dynamics of territorial mobility among the permanent population of a small town and rural areas in the Kashin district of the Tver oblast (the Non-Black Earth Zone) over the past two decades. Territorial mobility is understood as an intensity of return movements of people in various directions. The study is based on large-scale surveys among permanent residents of the Kashin district in 2001 and 2024 (each survey sample represented more than 1% of the district's total adult population). Over the two decades, the population of the district has become more mobile, which is typical for the Russian society. In 2001, the relative majority of residents was not engaged in return migrations to the regional center or Moscow, whereas two decades later, residents most frequently visit the regional center every few months and Moscow less than once a year. The variety of trips in terms of purposes and directions has increased significantly, with recreational trips becoming several times more common. The gap in territorial mobility between urban and rural dwellers has widened regarding trips to Moscow and other regions of Russia, with urban residents becoming more mobile compared to the rurals. Factors influencing the territorial mobility include gender, age, income level, and place of birth. Men are more mobile than women, and young working-age individuals (18–34 years) are the most mobile age group. In general the territorial mobility correlates positively with self-assessed income levels. Newcomers are more mobile than native residents of the district. The article hypothesizes that despite the growing mobility, the social ties between rural areas and large cities in the Non-Black Earth Zone, as expressed through the long-term return migrations, are gradually weakening.

Keywords: territorial mobility of the population, return migration of the population, labor mobility, small town, internal periphery, Non-Black Earth Region

Acknowledgements. The authors are grateful to Leonid Efremov and Natalia Grelya for processing the results of 2001 survey.

The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 24-17-00107 Small towns and rural settlements in the settlement system of regions of Russia (1989–2021)).

REFERENCES

- Alekseev A.I., Krasnoslobodtsev V.P., Gladkova O.N. Territorial'naya podvizhnost' naseleniya i sistemy rasseleniya v sel'skoi mestnosti Rossii [Territorial mobility of population and settlement systems in rural areas], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2007, no. 4, p. 10–14. (In Russian)
- Antonov E.V. Trudovaya mobil'nost' naseleniya Rossii po dannym Vserossiiskoi perepisi 2010 goda [Labor mobility of the population in Russia (according to the 2010 all-Russian census data)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 2, p. 54–63. (In Russian)
- Bell M., Ward G. Comparing temporary mobility with permanent migration, *Tourism Geogr.*, 2000, vol. 2(1), p. 87–107.
- Florinskaya Yu.F., Roshchina T.G. Estimating the migratory mobility of the youth living in small Russian towns: a school leavers' interview, *Studies on Russian Economic Development*, 2008, vol. 19, no. 3, p. 300–310.
- Krasnoslobodtsev V.P., Savoskul M.S. Territorial'naya podvizhnost' sel'skogo naseleniya: izmenenie napravlenii i motivov poezdok (na primere Stavropol'skogo kraja, Kaluzhskoi i Arkhangel'skoi oblastei) [Territorial mobility of rural population: changes in directions and motivations of trips: a case of Stavropol, Kaluga and Arkhangelsk regions], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2004, no. 4, p. 53–58. (In Russian)
- Makhrova A.G., Babkin R.A. Analiz pul'satsii sistemy rasseleniya Moskovskoi aglomeratsii s ispol'zovaniem dannykh sotovykh operatorov [Analysis of Moscow agglomeration settlement system pulsations based on mobile operators' data], *Regional'nye issledovaniya*, 2018, no. 2(60), p. 68–78. (In Russian)
- Makhrova A.G., Babkin R.A., Kirillov P.L. et al. Issledovaniya i otsenki masshtabov vozvratnoi mobil'nosti i pul'satsii naseleniya v prostranstve sovremennoi Rossii [Studying and estimating temporary mobility and population pulsations in space of modern Russia], *Izvestiya RAN, Ser. Geogr.*, 2022, vol. 86, no. 3, p. 332–352. (In Russian)
- Markin V.V., Malyshev M.L., Zemlyanskii D.Yu. Malye goroda Rossii: kompleksnyi monitoring razvitiya, ch. 1 [Small cities of Russia: an integrative monitoring of development, pt 1], *Monitoring pravoprimeneniya*, 2019, vol. 4, no. 33, p. 46–55. (In Russian)
- Medvedeva N.V., Slemzina A.N. Tipichnye problemy razvitiya sotsial'noi infrastruktury malogo goroda v sovremennykh rossiiskikh usloviyakh [Typical problems of the development of the social infrastructure of a small town in modern Russian conditions], *Sotsial'naya politika i sotsiologiya*, 2020, vol. 19, no. 3, p. 103–111. (In Russian)
- Meijering L., Osborne T., Doorne van M., Weitkamp G. Seasonal differences in mobility and activity space in later life: a case study of older adults in the Northern Netherlands, *Mobilities*, 2024, vol. 19(4), p. 736–755.
- Mezhdum domom i... domom. Vozvratnaya prostranstvennaya mobil'nost' naseleniya Rossii [Between home and... home. the return spatial mobility of population in Russia], Nefedova T.G., Averkieva K.V., Makhrova A.G. (eds.), Moscow, Novyi khronograf Publ., 2016, 504 p. (In Russian)
- Mkrtychyan N.V. Migratsiya molodezhi iz malykh gorodov Rossii [The youth migration from small towns in Russia], *Monitoring obshchestvennogo mneniya: ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny*, 2017, no. 1(137), p. 225–242. (In Russian)
- Mkrtychyan N.V., Florinskaya Yu.F. Sotsial'no-ekonomicheskie efekty trudovoi migratsii iz malykh gorodov Rossii [Socio-economic effects of labor migration from small towns of Russia], *Voprosy ekonomiki*, 2016, no. 4, p. 103–123. (In Russian)
- Mosienko N.L., Ivanova V.V., D'yachkova P.A. Prostranstvennaya mobil'nost' zhitelei Novosibirskoi oblasti (po materialam massovogo oprosa zhitelei oblasti v 2018 g.) [Spatial mobility of residents of the Novosibirsk region (based on the mass survey of residents of the region in 2018)], *EKO*, 2020, no. 50(4), p. 146–165. (In Russian)
- Nefedova T.G. Migration mobility of population and otkhodnichestvo in modern Russia, *Regional Research of Russia*, 2015, vol. 5, no. 3, p. 243–256.
- Nefedova T.G., Makhrova A.G. [Summer residents between two capitals], *Puteshestvie iz Peterburga v Moskvu: 222 goda spustya, kn. 1* [The journey from St. Petersburg to Moscow: 222 years later, vol. 1], T.G. Nefedova, A.I. Treivish (eds.), Moscow, URSS Publ., 2015, p. 190–207. (In Russian)
- Regent T.M. *Sotsial'nye aspekty v geograficheskom izuchenii sel'skogo naseleniya* [Social aspects in the geographical study of rural population], Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, 1981, 240 p. (In Russian)
- Smirnov I.P., Vinogradov D.M. Territorial'naya podvizhnost' kak kachestvennaya kharakteristika naseleniya Tverskoi oblasti [Territorial mobility as a qualitative characteristic of the population of the Tver region], *Vestnik Tverskogo gos. Un-ta, Seriya: Geografiya i geoekologiya*, 2017, no. 4, p. 43–54. (In Russian)
- Smirnov I.P., Vinogradov D.M., Alekseev A.I. K Moskvu ili k Sankt-Peterburgu? Tyagotenie naseleniya Tverskoi oblasti po dannym seti "VKontakte" [To Moscow or to Saint Petersburg? Population gravity of the Tver region according to the data of "VKontakte" online network], *Izvestiya RGO*, 2019, vol. 151, no. 6, p. 69–80. (In Russian)
- Smirnova A.A., Vinogradov D.M. Sovetskii proekt po preobrazovaniyu sel'skoi mestnosti na primere derevni Verkhnyaya Troitsa Tverskoi oblasti [Soviet plan for the reformation of rural areas on the example of the Verkhnyaya Troitsa village, Tver region], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, no. 4, p. 137–145. (In Russian)
- Strakhov O.I. *Kashinskie mineral'nye vody, 1884* [Kashin mineral waters, 1884], Tver, Pechatnitsa Publ., 2016, 39 p. (In Russian)
- Zelinsky W. The hypothesis of the mobility transition, *Geographical Review*, 1971, vol. 32, no. 192, p. 337–347.
- Web sources**
- Etno-yazykovoi sostav naselennykh punktov Rossii, baza dannykh [Ethno-linguistic composition of populated areas of Russia, Database], URL: <https://lingvarium.org/russia/settlement-database.shtml> (access date 18.08.2024).

Prilozhenie Demoskopa Weekly [Demoscope Weekly app], Demoskop Weekly [Demoskope Weekly], URL: <https://demoscope.ru/weekly/ssp/census.php> (access date 18.08.2024).

V Tverskoi oblasti zavershaetsya stroitel'stvo krupnogo molochno-tovarnogo kompleksa [Construction of a large

dairy complex is nearing completion in the Tver region], Novosti Tveri i Tverskoi oblasti – MK v Tveri [News of Tver and Tver region – MK in Tver], URL: <https://tver.mk.ru/social/2024/08/21/v-tverskoy-oblasti-zavershaetsya-stroitelstvo-krupnogo-molochnotovarnogo-kompleksa.html> (access date 18.08.2024).

Received 10.10.2024

Revised 16.12.2024

Accepted 21.01.2025

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 311.314

УРБАНИЗИРОВАННОСТЬ НИЗОВЫХ РАЙОНОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

Д.М. Виноградов¹, И.П. Смирнов², А.А. Ткаченко³

^{1–3} Тверской государственный университет, факультет географии и геоэкологии
кафедра социально-экономической географии и территориального планирования

¹ Аспирант; e-mail: vinogradov.dm@tversu.ru

² Доц., канд. геогр. наук; e-mail: smirnov.ip@tversu.ru

³ Проф., д-р геогр. наук; e-mail: at.tver@mail.ru

Статья посвящена урбанизированности малых территорий. Под урбанизированностью понимается уровень, или степень, развития процесса урбанизации, достигнутый в пределах конкретной территории к определенному моменту. Рассматривается территория 16 нестоличных областей Центральной России, входящих в состав Центрального и Центрально-Черноземного экономических районов. В качестве единиц наблюдения рассматриваются муниципальные образования первого уровня – муниципальные районы и округа, именуемые в работе низовыми районами. Общее количество этих районов – 383. Предложена методика оценки урбанизированности территории, основанная на сопряженном рассмотрении трех параметров: величина (людность) центра низового района, доступность крупных центров предоставления услуг в пределах района, концентрация населения. Для измерения доступности центров предложен показатель – приведенный (условный) радиус территории района. Концентрация характеризуется плотностью сельского населения. По сочетанию этих показателей выделено 7 классов низовых районов с различной степенью урбанизированности. Проанализировано распространение разных классов низовых районов и их представленность в регионах Центральной России, а также сопряженность параметров урбанизированности. В соответствии с определяющими ее факторами выделено четыре типа урбанизированности низовых районов: комплексная, «от центра», «от района» и неопределенная.

Ключевые слова: методика определения урбанизированности, людность, доступность, концентрация населения, приведенный радиус, плотность сельского населения, типы урбанизированности, Центральный экономический район, Центрально-Черноземный район

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.11

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономическая неоднородность российского пространства во многом связана с незавершенностью и неравномерностью процесса урбанизации в России. Стягивание населения и экономических ресурсов в крупнейшие городские центры приводит к опустению территорий между ними. Почти повсеместно наблюдается деградация малых территорий, которые долгое время были и в определенной степени до сих пор остаются демографическими донорами крупных городов и агломераций. В то же время наблюдается и центробежное движение, выражающееся в субурбанизации, сельской джентрификации и ревитализации сельских населенных пунктов [Аверкиева, 2022; Смирнова, 2024].

В 2020 г. Статистической комиссией ООН была принята методика оценки степени развития урбанизации [Statistical..., 2020], базирующаяся на рассмо-

трении условных ячеек вместо привычных административно-территориальных единиц, что позволяет проводить более корректные межстрановые сравнения. До этого подобный подход, связанный с определением «индекса агломераций», был использован Всемирным банком [Новый взгляд..., 2009, с. 55]. Однако для целей управления и планирования анализ территорий в официально закрепленных границах по-прежнему представляется актуальной задачей.

Для оценки результатов процесса урбанизации можно воспользоваться понятием урбанизированности (она же урбанизованность). Под урбанизированностью понимается «степень, уровень, достигнутый в результате и в ходе урбанизации» [Покшишевский, 1971, с. 100]. Иногда в том же смысле употребляется не особо удачный термин «уровень урбанизации» [Федоров, 1979]. Первые попытки определения урбанизированности в оте-

чественной географии стали появляться в начале 1970-х гг. [Зорин, Концевовская, 1972; Файбусович, 1974]. К настоящему времени накоплен довольно большой опыт исследования урбанизированности. Акцент обычно делается на методические, а не на теоретические аспекты [Полян, 1980, 1987; Попов, 2005; Балабейкина, Файбусович, 2018; Балабейкина и др., 2023; Sridhar, 2019]. В работе Э.Л. Файбусовича и О.А. Балабейкиной содержится принципиально важное положение о двух сторонах урбанизированности: населения и территории. Первая связана, прежде всего, с образом жизни, вторая – с расселением, плотностью населения, доступностью центров. Это разделение снимает многие спорные моменты, возникающие при обсуждении подходов к определению урбанизированности.

Урбанизированность территории обобщенно отражает широкий круг условий жизни и возможностей развития. Чем более урбанизирована та или иная территория, тем выше доступность для населения информации, городских услуг, внешнего транспорта, тем лучше условия для контактов между людьми и тем выше восприимчивость территории к инновациям. Более урбанизированная территория обычно обладает более значительным социальным и экономическим потенциалом и поэтому имеет лучшие перспективы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей работе рассматривается урбанизированность территории 16 нестоличных областей Центральной России (далее – ЦР). В отличие от большинства известных нам работ, посвященных урбанизированности, единицами наблюдения служат не регионы – субъекты федерации, а муниципальные образования первого уровня – муниципальные округа и муниципальные районы. Для простоты все они именуются низовыми районами (далее – НР). Общее число этих территориальных единиц составляет 383, из них 261 относится к Центральному экономическому району (ЦЭР), 122 – к Центрально-Черноземному (ЦЧР).

Самый известный показатель урбанизированности некоторой территории – доля городского населения в общей численности населения этой территории. Чаще всего степень урбанизированности определяется его значением, реже он используется как одна из составных частей более сложных показателей или как один из элементов системы, характеризующих урбанизированность показателей. По нашему мнению, при рассмотрении малых территориальных единиц, подобных НР, этот показатель не применим. При его использовании высокое значение плотности центра предопределяет высокий уровень урбанизированности, независимо от того,

какова территория, возглавляемая этим центром. В настоящей работе уровень, или степень, урбанизированности территории рассчитывается с помощью трех параметров: размер (людность) центрального населенного пункта, концентрация населения и доступность центров.

Немногим более половины от общего числа районов (196) возглавляются городами. Лишь 35 из них относятся к средним, большим и крупным, основную массу составляют малые города, причем 108 городов имеют людность менее 20, а 53 – менее 10 тыс. человек. Около $\frac{1}{3}$ всех районов возглавляются поселками городского типа. Подавляющее большинство из них (88%) имеют людность до 10 тыс. человек. В 65 районах центрами являются сельские населенные пункты, людность большинства из них – до 5 тыс. человек. На общем фоне резко выделяются два сельских райцентра в Воронежской области – села Каширское и Новая Усмань с людностью 23,1 и 36,5 тыс. человек соответственно. Территория Центрального и Центрально-Черноземного экономических районов сильно различается по составу центров НР. Корпус населенных пунктов – центров районов в ЦЭР имеет значительно более статусный состав. Доля городов среди райцентров в ЦЭР в полтора раза выше, а доля сельских населенных пунктов почти в два раза ниже, чем в ЦЧР (табл. 1). По людности все центры НР разделены на четыре класса: более 50 тыс. человек, 20–50 тыс., 10–20 тыс., до 10 тыс. человек. Более половины (58%) всех рассматриваемых НР возглавляются центрами четвертой группы, тогда как на районы первой группы приходится только 9% от их общего числа.

Доступность определяется по приведенному, или условному, радиусу территории. Он находится как радиус круга, равновеликого по площади рассматриваемой территории. Чем меньше эта величина, тем выше доступность. Если в пределах НР, кроме его центра, имеются дополнительные значимые центры (с людностью 5 тыс. чел. и более), площадь района делится на число центров, благодаря чему радиус уменьшается, а доступность возрастает.

В общем виде формула имеет вид:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi \cdot N}},$$

где R – приведенный радиус, S – площадь района, N – число центров. При отсутствии дополнительных центров N равно 1.

Дополнительных центров в ЦР насчитывается всего 45 и присутствуют они лишь в 29 районах. По величине приведенного радиуса массив НР разбит на три группы: с радиусом до 18 км, 18–23 и более 23 км. Наиболее многочисленна вторая группа – 166 единиц (43% от общего количества районов). Число районов в первой и третьей группах почти не различается.

Статус центров низовых районов Центральной России и ее частей

	Число низовых районов, единиц			Доля от общего числа, %		
	ЦЭР	ЦЧР	ЦР в целом	ЦЭР	ЦЧР	ЦР в целом
Города	148	48	196	56,7	39,3	51,1
ПГТ	78	44	122	29,9	36,1	31,9
СНП	35	30	65	13,4	24,6	17,0
Всего	261	122	383	100,0	100,0	100,0

Концентрация населения отражается показателем плотности сельского населения, выделены следующие группы: более 20, 10–20, менее 10 чел./км². Распределение районов по этим группам резко ассиметрично. Районы с высокой плотностью составляют всего примерно 1/10 от общего числа, а с низкой – почти 2/3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматриваемые характеристики связаны между собой. Разумеется, речь идет не о функциональной зависимости, а о некоторой связи-тенденции. Например, достаточно заметна зависимость величины радиуса и плотности сельского населения от плотности центра НР. Высокая плотность в основном встречается в районах, возглавляемых наиболее крупными городами. Центры 15 из 28 районов с высокой плотностью – это города с плотностью более 50 тыс. человек, а 2/3 от числа районов с низкой плотностью приходится на районы с наименьшей плотностью центра.

При любых значениях радиуса преобладают районы с низкой плотностью, но если при радиусе до 18 км доля таких районов составляет 50%, то при радиусе более 23 км – уже 74%. В больших по площади районах высокая плотность встречается только при плотности центра более 50 тыс. человек. Чем крупнее центр, тем больше доля НР с большой площадью. При высоких значениях плотности центра доля районов с большим радиусом составляет 51%, а при низких – 22%.

Агрегирование признаков осуществлялось следующим образом. Для каждого из четырех классов НР, различающихся по величине центра, было выделено по три группы районов по сочетанию значений приведенного радиуса и плотности сельского населения. Первая группа включает НР либо с высокими значениями и доступности, и концентрации, либо с высокими значениями одного и средними значениями другого признака. Во вторую группу входят НР со средними значениями обоих признаков и районы с высокими значениями одного и низкими значениями другого признака. Третью группу составляют

районы с низкими значениями обоих признаков и районы со средними значениями одного и низкими значениями другого признака. Таким образом, общее число возможных вариантов сочетания трех признаков составляет 12 (4×3). Путем объединения сходных сочетаний число вариантов было уменьшено до 7. Эти варианты рассматриваются как классы НР с убывающей степенью урбанизированности территории.

Первый класс составляют НР, возглавляемые городами с плотностью более 50 тыс. человек и имеющие высокие и средние показатели доступности центров и концентрации сельского населения. Среди центров этого класса три крупных города (областные центры – Белгород, Иваново, Липецк), а также насчитывающие более 100 тыс. жителей Муром и Железнодорожск. Самыми урбанизированными, согласно используемой методике, являются Белгородский и Щекинский (Тульская обл.) районы. Последний, 7-й класс включает НР с минимальной плотностью центра и низкими значениями доступности центров и концентрации населения. Остальные 5 классов (со 2-го по 6-й) имеют различные сочетания рассматриваемых показателей. Каждому классу даны условные названия: 1-й класс – наиболее урбанизированные, 9 НР; 2-й – с высоким уровнем урбанизированности, 24 НР; 3-й – с урбанизированностью выше среднего уровня, 24 НР; 4-й – со средним уровнем урбанизированности, 42 НР; 5-й – с урбанизированностью ниже среднего уровня, 49 НР; 6-й – с низким уровнем урбанизированности, 104 НР; 7-й класс – наименее урбанизированные, 131 НР.

На рисунке представлено распределение НР 16 нестоличных областей Центральной России по выделенным группам. В семи из одиннадцати нестоличных областей ЦЭР нет НР 1-го класса, а в двух – Калужской и Тверской – нет и районов 2-го класса. В ЦЧР только Тамбовская область не имеет районов 1-го класса. В рассматриваемых областях ЦЭР на районы двух первых классов приходится менее 7% общего числа НР, а в областях ЦЧР – более 13%.

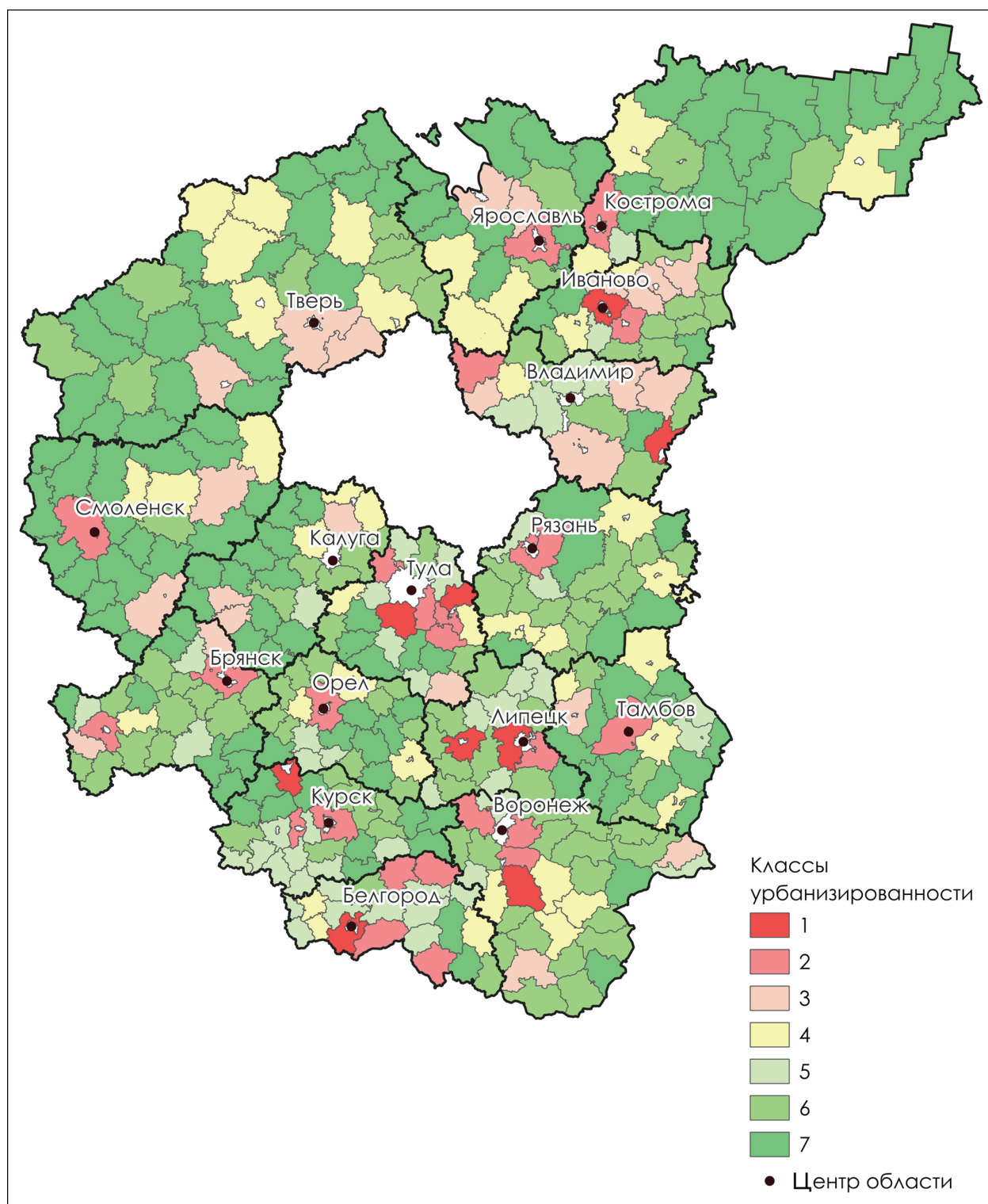


Рис. Урбанизированность территории низовых районов Центральной России (названия классов даны в тексте)

Fig. Urbanization of the territory of the lower regions of Central Russia (class names are given in the text)

Почти во всех регионах преобладают слабо урбанизированные НР. Исключение составляют Белгородская, Владимирская и Тульская области, в которых на два последних класса приходится соответственно 19, 31 и 36% от общего числа НР. В семи областях Центрального района

они составляют более 70% от общего количества низовых районов. В Костромской, Смоленской и Тверской областях НР двух последних классов составляют 75–79%. В целом в ЦЭР на районы этих классов приходится почти $\frac{2}{3}$, в ЦЧР – около половины всех НР.

В соответствии с тем, какие характеристики определяют степень урбанизированности территории каждого конкретного района, можно выделить несколько групп НР. Для этого используем данные о двух составляющих урбанизированности территории: «от центра» и «от района». В первом случае имеется в виду, что определяющим фактором является величина (людность) центра, во втором – параметры территории района (доступность центров и концентрация сельского населения). Исходя из этого, все рассматриваемые районы разделены на четыре группы, которые могут трактоваться как типы урбанизированности НР.

1. «Комплексно урбанизированные». Весомый вклад в урбанизированность вносят обе составляющие. Таких НР насчитывается 46. При этом они почти поровну распределились между двумя подтипами: «сбалансированные», где вклад факторов примерно одинаков (22 территориальных единицы), и «асимметричные» с различающимся вкладом факторов (24 единицы).

2. «Урбанизированные от центра». Определяющую роль в таких НР играют их центры, а характеристики территории проявляют себя слабо. К этому типу отнесено 44 НР. Каждый четвертый из них возглавляется центром с людностью более 50 тыс. чел., остальные – центрами от 20 до 50 тыс. чел.

3. «Урбанизированные от района», где при не-большом размере центра (3-го и 4-го рангов) определяющую роль играют характеристики территории. К этому типу отнесено 119 НР. Для $\frac{1}{3}$ этих территорий характерны высокие значения доступности центров и концентрации сельского населения, для остальных – средние.

4. «Неопределенно урбанизированные» («бесфакторные», «никакие»), в которых нет выраженного действия учитываемых в настоящем исследовании факторов. Они возглавляются центрами 3-го и 4-го рангов и имеют низкие значения доступности центров и концентрации сельского населения. К ним принадлежит почти половина (174) НР рассматриваемых областей.

В таблице 2 показано, районами каких классов по степени урбанизированности территории представлены описанные выше типы. В целом в пределах Центральной России преобладают НР 3-го и 4-го типов – урбанизированные «от района» и неопределенно урбанизированные (табл. 3). По доле комплексно урбанизированных территорий ЦЭР и ЦЧР почти не различаются. Удельный вес НР, урбанизированных «от центра», больше в ЦЭР, тогда как ЦЧР выделяется более высокой долей урбанизированных «от района» территорий. Сказанное хорошо согласуется с общим характером расселения в каждом из экономических районов.

Таблица 2

Типы и степень урбанизированности территории низовых районов

Тип урбанизированности	Классы по степени урбанизированности, число низовых районов							Итого
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	
Комплексная	9	24	13	–	–	–	–	46
«От центра»	–	–	11	33	–	–	–	44
«От района»	–	–	–	9	49	61	–	119
Неопределенная	–	–	–	–	–	43	131	174
Всего	9	24	24	42	49	104	131	383

Таблица 3

Распределение низовых районов Центральной России по типам урбанизированности

Территория	Тип урбанизированности				Всего
	Комплексная	«От центра»	«От района»	Неопределенная	
ЦЭР	11,5	12,6	24,1	51,8	100,0
ЦЧР	13,1	9,0	45,9	32,0	100,0
ЦР в целом	12,0	11,5	31,0	45,5	100,0

ВЫВОДЫ

В территориальном управлении необходимо как можно полнее использовать данные о неоднородности территории. Разнообразные варианты зонирования и районирования должны служить основой для разработки и проведения региональной политики на всех уровнях. Выявление и делимитация проблемных территорий – необходимое условие соблюдения территориальной справедливости. Одним из оснований для выделения таких территорий может служить степень урбанизированности.

С практической точки зрения наиболее важным представляется выделение слабоурбанизированных территорий [Фомкина, 2015]. В последние годы сла-

боурбанизированные территории (в англоязычной литературе low-urbanized) все чаще стали выступать в качестве пространственной рамки изучения различных аспектов жизнедеятельности населения [Hlynskyu, 2021; Heidari et al., 2024; Чамдаловна, Рощина, 2024]. Особую актуальность подобные исследования приобретают в связи с реализуемой с 2019 г. в России государственной программой «Комплексное развития сельских территорий» [Государственная..., 2019]. Слабоурбанизированные территории – в контексте данной работы к ним относятся НР 6-го и 7-го классов по уровню урбанизированности – требуют наибольшего внимания и первоочередной поддержки.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-17-00107 «Малые города и сельские населенные пункты в системе расселения регионов России (1989–2021)»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверкиева К.В. Сельская джентрификация в российском Нечерноземье // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 6. С. 119–128. DOI: 10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-119-128.
- Балабейкина О.А., Коробущенко В.Ю., Мартынов В.Л. Оценка уровня урбанизированности территории Финляндии // Региональные исследования. 2023. № 3(81). С. 81–91. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-3-7.
- Балабейкина О.А., Файбусович Э.Л. Уровень урбанизированности территории Российской Федерации: региональный разрез // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. № 1(44). С. 72–82. DOI: 10.17072/2079–7877-2018-1-72.
- Зорин И.В., Концевовская И.В. Некоторые методы измерения уровня урбанизации // Проблемы современной урбанизации. М., 1972. С. 191–203.
- Новый взгляд на экономическую географию. Доклад о мировом развитии 2009. М.: Весь Мир, 2009. 384 с.
- Покишичевский В.В. География населения СССР: экономико-географические очерки. М., 1971. 174 с.
- Полян П.М. Урбанизированность и методы ее оценки // Известия АН СССР. Серия географическая. 1980. № 5. С. 63–77.
- Полян П.М. Урбанизированность в СССР (к методике оценки и картографирования) // Известия АН СССР. Серия географическая. 1987. № 2. С. 35–40.
- Попов Р. Урбанизированность регионов России во второй половине XX века // Россия и ее регионы в XX веке: территория – расселения – миграции. М., 2005. С. 215–244.
- Смирнова А.А. Географические факторы ревитализации сельских населенных пунктов «без населения» // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. Т. 79. № 1. С. 133–140. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.11.
- Файбусович Э.Л. Степень урбанизированности территории Поволжья и сопредельных районов // Экономико-географические проблемы Нижнего Поволжья. Саратов, 1974. С. 75–83.
- Федоров Г.М. Расчет уровня урбанизации в микрорайонах // Известия РГО. 1979. Т. 111. Вып. 4. С. 354–357.
- Фомкина А.А. Слабоурбанизированные территории: критерии и особенности выделения // Вестник Тверского гос. ун-та. Серия: География и геоэкология. 2015. № 2. С. 72–79.
- Чамдаловна А.Ч., Рощина И.В. Слабоурбанизированные регионы: рынок труда // Экономика Профессия Бизнес. 2024. № 3. С. 32–40.
- Heidari M., Soleimani A., Dzikuc M. et al. Exploring synergistic ecological and economic energy solutions for low-urbanized areas through simulation-based analysis, *AIMS Energy*, 2024, vol. 12(1), p. 119–151, DOI: 10.3934/energy.2024006.
- Hlynsky N. Development Strategy Financing Tools at The Local Level: Marketing Dimension for Low-Urbanized Territories, *Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law*, Bielsko-Biala, PL, 2021, vol. 25(3), p. 12–18, DOI: 10.19192/wsfp.sj3.2021.2.
- Sridhar K.S. Is India's urbanization really too low? *Area Development and Policy*, 2019, vol. 5(1), p. 32–49, DOI: 10.1080/23792949.2019.1590153.

Электронные ресурсы

- Государственная программа «Комплексное развитие сельских территорий». Утверждена постановлением Правительства от 31 мая 2019 года № 696 / Правительство России. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/878/events/> (дата обращения 10.02.2024).
- Statistical Commission, Report on the fifty-first session (3–6 March 2020), Economic and Social Council, Official Records, 2020, Supplement, no. 4, URL: <https://unstats.un.org/unsd/statcom/51st-session/documents/2020-37-FinalReport-E.pdf> (дата обращения 10.02.2024).

Поступила в редакцию 27.11.2024

После доработки 15.12.2024

Принята к публикации 21.01.2025

URBANIZATION LEVEL OF THE PRIMARY DISTRICTS IN CENTRAL RUSSIA

D.M. Vinogradov¹, I.P. Smirnov², A.A. Tkachenko³¹⁻³ Tver State University, Department of Social and Economic Geography and Territorial Planning¹ Postgraduate student; e-mail: vinogradov.dm@tversu.ru² Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: smirnov.ip@tversu.ru³ Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: at.tver@mail.ru

The article discusses the urbanization level of small territories. Level of urbanization is understood as a degree of urbanization process development achieved within particular territory by a certain moment. The territory of 16 non-capital regions of Central Russia, which includes the Central and Central Black Earth economic regions, is considered. The units of research are municipalities of the first level – municipal districts, referred to as primary districts in the paper. The total number of these districts is 383. A methodology for assessing the urbanization level is proposed, based on the combination of three parameters, namely the size (population) of the center of a primary district, the accessibility of key service centers, and the concentration of the population. The reduced (conditional) radius of the district territory is proposed as an indicator to measure the accessibility of centers. Concentration is characterized by the density of rural population. Based on the combination of these indicators, 7 classes of primary districts with varying levels of urbanization are identified. The distribution of different classes of primary districts and their representation in the regions of Central Russia are analyzed. A combination of parameters was also considered. In accordance with the governing factors four types of urbanization of primary districts are distinguished, i. e. complex, “from the center”, “from the district” and undefined.

Keywords: methodology for determining urbanization, population numbers, accessibility, population concentration, reduced radius, rural population density, types of urbanization, Central economic region, Central Black Earth region

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 24-17-00107 Small towns and rural settlements in the settlement system of regions of Russia (1989–2021)).

REFERENCES

- Averkiova K.V. Sel'skaya dzhentrifikatsiya v rossiiskom Nechernozem'e [Rural gentrification in the Russian Non-Black Earth Region], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 6, p. 119–128, DOI 10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-119-128. (In Russian)
- Balabeikina O.A., Faibusovich E.L. Uroven' urbanizirovannosti territorii Rossiiskoi Federatsii: regional'nyi razrez [The level of urbanization of the territory of the Russian Federation: a regional breakdown], *Geograficheskii vestnik = Geographical bulletin*, 2018, no. 1(44), p. 72–82, DOI: 10.17072/2079-7877-2018-1-72. (In Russian)
- Balabeikina O.A., Korobushchenko V.Yu., Martynov V.L. Otsenka urovnya urbanizirovannosti territorii Finlyandii [Assessing the level of urbanization in Finland], *Regional'nye issledovaniya*, 2023, no. 3(81), p. 81–91, DOI 10.5922/1994-5280-2023-3-7. (In Russian)
- Chamdalovna A.Ch., Roshchina I.V. Slabourbanizirovannye regiony: rynek truda [Low-urbanization regions: labor market], *Ekonomika Professiya Biznes*, 2024, no. 3, p. 32–40. (In Russian)
- Faibusovich E.L. [Degree of urbanization of the Volga River region and adjacent areas], *Ekonomiko-geograficheskie problemy Nizhnego Povolzh'ya* [Economic geographical issues of the Lower Volga River region], Saratov, 1974, p. 75–83. (In Russian)
- Fedorov G.M. Raschet urovnya urbanizatsii v mikroraiionakh [Calculation of the level of urbanization in microdistricts], *Izvestiya RGO*, 1979, vol. 111, vyp. 4, p. 354–357. (In Russian)
- Fomkina A.A. Slabourbanizirovannye territorii: kriterii i osobennosti vydeleniya [Weakly urbanized territories: criteria and features of identification], *Vestnik Tverskogo gos. Un-ta, Ser.: Geografiya i geoekologiya*, 2015, no. 2, p. 72–79. (In Russian)
- Heidari M., Soleimani A., Dzikuć M. et al. Exploring synergistic ecological and economic energy solutions for low-urbanized areas through simulation-based analysis, *AIMS Energy*, 2024, vol. 12(1), p. 119–151, DOI: 10.3934/energy.2024006.
- Hlynskyy N. Development Strategy Financing Tools at The Local Level: Marketing Dimension for Low- Urbanized Territories, *Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law*, Bielsko-Biala, PL, 2021, vol. 25(3), p. 12–18, DOI: 10.19192/wsfip.sj3.2021.2.
- Novyi vzglyad na ekonomicheskuyu geografiyu [A New Look at Economic Geography], Doklad o mirovom razvitii, 2009, Moscow, Ves' Mir Publ., 2009, 384 p. (In Russian)
- Pokshishevskii V.V. *Geografiya naseleniya SSSR: ekonomiko-geograficheskie ocherki* [Geography of the Population of the USSR: Economic and Geographical Essays], Moscow, 1971, 174 p. (In Russian)
- Polyan P.M. Urbanizirovannost' i metody ee otsenki [Urbanization and methods of its assessment], *Izvestiya AN SSSR, seriya geograficheskaya*, 1980, no. 5, p. 63–77. (In Russian)
- Polyan P.M. Urbanizirovannost' v SSSR (k metodike otsenki i kartografirovaniya) [Urbanization in the USSR (towards the methodology of assessment and mapping)], *Izvestiya AN SSSR, seriya geograficheskaya*, 1987, no. 2, p. 35–40. (In Russian)

- Popov R. [Urbanization of Russian regions in the second half of the twentieth century], *Rossiya i ee regiony v XX veke: territoriya – rasseleniya – migratsii* [Russia and its regions in the 20th century: territory – settlement – migrations], Moscow, 2005, p. 215–244. (In Russian)
- Smirnova A.A. Geograficheskie faktory revitalizatsii sel'skikh naselennykh punktov “bez naseleniya” [Geographical factors of revitalization of rural settlements “without population”], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2024, vol. 79, no. 1, p. 133–140, DOI 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.11. (In Russian)
- Sridhar K.S. Is India's urbanization really too low? *Area Development and Policy*, 2019, vol. 5(1), p. 32–49, DOI: 10.1080/23792949.2019.1590153.
- Zorin I.V., Kontsebovskaya I.V. Nekotorye metody izmereniya urovnya urbanizatsii [Some methods for measuring the level of urbanization], *Problemy sovremennoi urbanizatsii*, Moscow, 1972, p. 191–203. (In Russian)
- Web sources*
- Gosudarstvennaya programma “Kompleksnoe razvitiye sel'skikh territorii”, Utverzhdena postanovleniem Pravitel'stva ot 31 maya 2019 goda No. 696, Pravitel'stvo Rossii [State program “Integrated development of rural areas”, Approved by Government Resolution No. 696 of May 31, 2019, Government of the Russian Federation], URL: <http://government.ru/rugovclassifier/878/events/> (data access 10.02.2024). (In Russian)
- Statistical Commission, Report on the fifty-first session (3–6 March 2020), Economic and Social Council, Official Records, 2020, Supplement, no. 4, URL: <https://unstats.un.org/unsd/statcom/51st-session/documents/2020-37-FinalReport-E.pdf> (data access 10.02.2024).

Received 27.11.2024

Revised 15.12.2024

Accepted 21.01.2025

ФТОР В ВОДАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

А.В. Савенко¹, В.С. Савенко², Д.Н. Беликов³

^{1–3} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

³ Центр морских исследований

¹ Геологический факультет, кафедра геохимии, вед. науч. сотр.,
д-р геол.-минерал. наук; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

² Географический факультет, кафедра гидрологии суши, вед. науч. сотр.,
д-р геол.-минерал. наук, проф.; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

³ Инженер; e-mail: belikov.danylo@yandex.ru

Получены первые данные о содержании фтора в водах Баренцева моря. По результатам прямых потенциометрических измерений концентрация фтора находится в диапазоне 1,14–1,29 мг/кг, увеличиваясь с ростом хлорности (солёности). Среднее значение массового отношения F/Cl составляет $(6,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$ для поверхностного распреснённого слоя с хлорностью $\leq 19\text{‰}$ и $(6,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$ для основной водной толщи с хлорностью $> 19\text{‰}$. Величина отношения F/Cl в водах Баренцева моря близко соответствует таковой для акватории Мирового океана, в том числе Северной Атлантики.

Ключевые слова: Баренцево море, морская вода, содержание фтора, массовое отношение F/Cl, прямая потенциометрия

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.2.12

ВВЕДЕНИЕ

Фтор входит в число компонентов основного солевого состава морской воды, поскольку его концентрация превышает 1 мг/л. Несмотря на наличие сведений о содержании фтора в разных районах Мирового океана, до сих пор в этом отношении остаются не изученными обширные акватории, в число которых входит Северный Ледовитый океан и, в частности, Баренцево море – крупнейшее по площади и самое глубокое из арктических морей, представляющее собой переходную зону взаимодействия водных масс атлантического происхождения и арктических вод. На долю моря приходится половина адвекции теплых соленых вод Атлантики в Северный Ледовитый океан, которая осуществляется в системе Норвежского течения. Кроме того, с севера вместе с дрейфующими льдами в море поступают арктические воды из центральной части Северного Ледовитого океана, имеющие отрицательную температуру и пониженную солёность. В сочетании с влиянием других факторов это создает сложный характер циркуляции баренцевоморских вод, главная особенность которой состоит в общей направленности их движения против часовой стрелки [Loeng, 1991; Писарев, 2021].

В настоящей статье представлены первые данные о содержании фтора в водах Баренцева моря и проведено их сравнение с концентрациями этого элемента в прилегающих районах Северной Атлантики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы морской воды для исследования были отобраны одним из авторов работы Д.Н. Беликовым в северо-восточной части Баренцева моря между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля во время экспедиции Арктического Плавучего Университета на НИС «Профессор Молчанов» 4–5 июля 2023 г. и 93-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш» 18–27 ноября 2023 г. Расположение станций показано на рис. 1, горизонты опробования приведены в табл. 1.

Измерения температуры и солёности проводили *in situ* с помощью гидрозонда CTD SBE 19 plus V2 с одновременным отбором проб воды в полипропиленовые флаконы. В лабораторных условиях в пробах определяли концентрацию фтора методом прямой потенциометрии с использованием измерительной электрохимической цепи из фторидного ионоселективного электрода «Элит-221» и хлорсеребряного электрода сравнения, заполненного 35% искусственной морской водой без бромидов. Поскольку чувствительность фторидного электрода зависит от величины pH, для оптимизации кислотности среды в пробы добавляли ацетатный буфер с pH = 6,3 в объемном соотношении 1 : 10 [Савенко, 1986]. Калибровку измерительной цепи выполняли по стандартным растворам искусственной морской воды с солёностью 35‰ и концентрацией фтора 0,65, 1,30 и

1,95 мг/кг. Поправку, связанную с отличием солености проб от 35‰, рассчитывали по зависимости от электродвижущей силы измерительной цепи в растворах искусственной морской воды с

соленостью 29, 32 и 35‰ и концентрацией фтора, равной 1,30 мг/кг. Погрешность измерений не превышала 3%. Величину хлорности вычисляли по кондуктометрическим значениям солености.

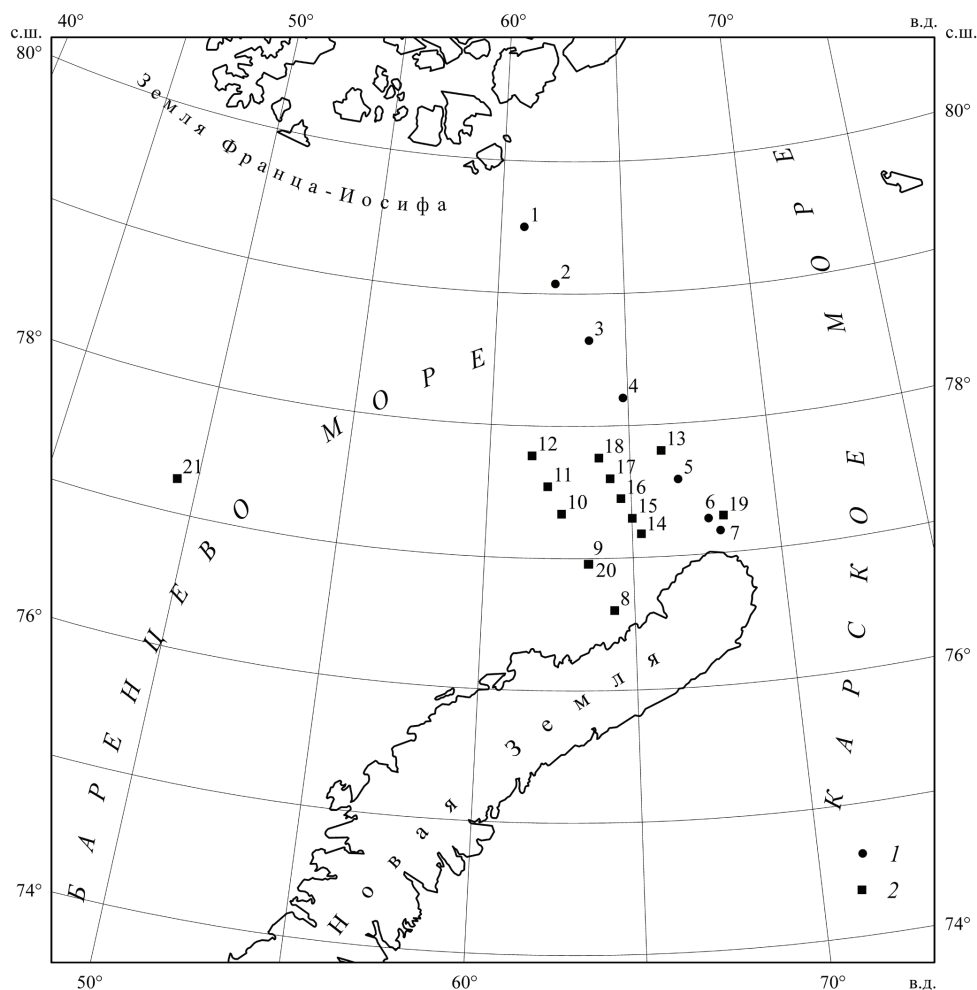


Рис. 1. Расположение станций отбора проб воды в Баренцевом море в июле (1) и ноябре (2) 2023 г.

Fig. 1. Location of water sampling stations in the Barents Sea in July (1) and November (2) 2023

Таблица 1

**Термохалинные характеристики, содержание фтора и массовое отношение F/Cl
в водах Баренцева моря**

Глубина, м	Горизонт, м	$T, ^\circ\text{C}$	$S, \text{‰}$	$[\text{Cl}], \text{‰}$	$[\text{F}], \text{мг/кг}$	$\text{F/Cl} \cdot 10^5$
Станция 1, 04.07.2023						
207	1,0	3,50	33,70	18,65	1,23	6,61
	10	1,46	33,48	18,53	1,22	6,57
	20	-0,75	34,18	18,92	1,25	6,60
	30	-0,68	34,09	18,87	1,24	6,58
	40	-1,28	34,31	18,99	1,25	6,56
	50	-1,64	34,43	19,06	1,25	6,58
	75	-1,54	34,57	19,14	1,26	6,58
	202	-1,68	34,71	19,21	1,26	6,56

Глубина, м	Горизонт, м	T, °C	S, ‰	[Cl], ‰	[F], мг/кг	F/Cl·10 ⁵
Станция 2, 04.07.2023						
185	1,0	2,00	33,10	18,32	1,21	6,59
	10	−0,01	33,03	18,28	1,21	6,61
	30	−1,70	34,42	19,05	1,25	6,58
	50	−1,75	34,47	19,08	1,26	6,60
	75	−1,77	34,48	19,09	1,26	6,59
	100	−1,67	34,52	19,11	1,26	6,57
	180	−1,61	34,70	19,21	1,27	6,61
Станция 3, 05.07.2023						
105	1,0	1,80	31,50	17,44	1,14	6,56
	10	−0,54	32,98	18,26	1,20	6,58
	30	−1,27	34,29	18,98	1,25	6,56
	50	−1,63	34,51	19,10	1,25	6,54
	75	−0,22	34,74	19,23	1,27	6,58
	100	0,32	34,77	19,25	1,27	6,58
Станция 4, 05.07.2023						
364	1,0	2,20	33,60	18,60	1,23	6,62
	10	2,06	33,95	18,79	1,23	6,56
	30	−0,47	34,32	19,00	1,25	6,60
	50	−1,11	34,50	19,10	1,26	6,60
	75	−1,51	34,54	19,12	1,27	6,62
	100	−1,30	34,76	19,24	1,27	6,61
	359	−0,85	34,81	19,27	1,27	6,60
Станция 5, 05.07.2023						
315	1,0	2,40	34,60	19,15	1,28	6,70
	10	2,44	34,47	19,08	1,28	6,68
	30	0,25	34,52	19,11	1,27	6,63
	50	−0,96	34,59	19,15	1,28	6,67
	75	−1,14	34,67	19,19	1,27	6,64
	100	−1,31	34,70	19,21	1,28	6,67
	310	−0,88	34,80	19,26	1,28	6,66
Станция 6, 05.07.2023						
234	1,0	2,30	34,80	19,26	1,27	6,62
	10	2,18	34,50	19,10	1,28	6,68
	30	1,53	34,37	19,03	1,26	6,62
	50	−1,04	34,67	19,19	1,26	6,56
	75	−0,88	34,71	19,21	1,28	6,64
	100	−0,93	34,78	19,25	1,28	6,66
	229	0,13	34,87	19,30	1,27	6,58
Станция 7, 05.07.2023						
263	1,0	2,20	34,80	19,26	1,26	6,55
	10	2,27	34,49	19,09	1,27	6,63
	30	−0,05	34,44	19,06	1,26	6,63
	50	−1,03	34,55	19,12	1,27	6,62

Продолжение таблицы 1

Глубина, м	Горизонт, м	$T, ^\circ\text{C}$	$S, \text{‰}$	$[\text{Cl}], \text{‰}$	$[\text{F}], \text{мг/кг}$	$\text{F/Cl} \cdot 10^5$
	75	-1,12	34,68	19,20	1,27	6,61
	100	-1,17	34,71	19,21	1,27	6,61
	257	-0,02	34,87	19,30	1,28	6,65
Станция 8, 18.11.2023						
38	1,5	0,15	34,53	19,11	1,27	6,63
	33	0,86	34,60	19,15	1,27	6,64
Станция 9, 19.11.2023						
200	54	-0,05	34,54	19,12	1,27	6,65
	195	0,12	34,82	19,27	1,29	6,67
Станция 10, 19.11.2023						
165	2,5	0,56	34,65	19,18	1,27	6,64
	100	1,16	34,82	19,28	1,28	6,62
	160	0,66	34,84	19,29	1,29	6,67
Станция 11, 20.11.2023						
300	1,5	0,64	34,68	19,20	1,27	6,61
	80	1,10	34,79	19,26	1,28	6,63
	295	0,39	34,85	19,29	1,28	6,65
Станция 12, 20.11.2023						
347	5,0	-1,45	34,51	19,10	1,26	6,60
	25	-1,44	34,51	19,10	1,26	6,60
	190	-1,06	34,72	19,22	1,27	6,63
	342	-0,68	34,80	19,26	1,28	6,64
Станция 13, 21.11.2023						
215	80	0,21	34,65	19,18	1,27	6,64
	156	-0,59	34,75	19,24	1,28	6,64
	210	0,09	34,83	19,28	1,28	6,65
Станция 14, 22.11.2023						
110	1,5	-0,37	34,54	19,12	1,26	6,61
	65	0,47	34,79	19,26	1,28	6,65
	105	0,45	34,81	19,27	1,29	6,68
Станция 15, 22.11.2023						
220	61	-0,25	34,59	19,15	1,28	6,67
	215	0,31	34,83	19,28	1,29	6,67
Станция 16, 22.11.2023						
139	3,0	-0,08	34,58	19,14	1,28	6,67
	65	0,30	34,65	19,18	1,27	6,64
	82	1,15	34,81	19,27	1,28	6,66
	134	-0,08	34,83	19,28	1,28	6,65
Станция 17, 22.11.2023						
254	2,5	0,45	34,67	19,19	1,26	6,58
	62	0,50	34,67	19,19	1,27	6,61
	90	1,32	34,82	19,28	1,28	6,65
	249	0,72	34,84	19,29	1,29	6,67

Глубина, м	Горизонт, м	T, °C	S, ‰	[Cl], ‰	[F], мг/кг	F/Cl·10 ⁵
Станция 18, 22.11.2023						
298	2,0	0,25	34,64	19,18	1,27	6,64
	52	0,27	34,65	19,18	1,27	6,61
	130	0,67	34,81	19,27	1,28	6,65
	293	0,24	34,85	19,29	1,29	6,67
Станция 19, 24.11.2023						
360	2,5	−0,26	34,63	19,17	1,26	6,59
	180	−0,20	34,64	19,17	1,27	6,61
	270	−0,43	34,79	19,26	1,29	6,68
	355	−0,42	34,80	19,27	1,29	6,68
Станция 20, 25.11.2023						
197	2,0	−0,14	34,53	19,11	1,26	6,60
	55	0,02	34,56	19,13	1,27	6,62
	75	0,84	34,81	19,27	1,29	6,68
	192	0,12	34,82	19,27	1,29	6,67
Станция 21, 27.11.2023						
211	2,0	−0,97	34,55	19,13	1,27	6,62
	95	0,99	34,85	19,29	1,28	6,66
	140	0,49	34,86	19,29	1,29	6,67
	206	−0,02	34,84	19,29	1,29	6,67
Средние значения						
Поверхностный слой с [Cl] ≤19‰			33,58±0,80	18,59±0,44	1,22±0,03	6,58±0,02
Основная водная толща с [Cl] >19‰			34,68±0,14	19,19±0,08	1,27±0,01	6,63±0,04

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно представленным в табл. 1 результатам измерений, общей для летней и зимней съемок закономерностью распределения фтора в водах Баренцева моря, содержащих 1,14–1,29 мг F/кг, служит тенденция увеличения его концентрации с глубиной, которая коррелирует с возрастающей в этом же направлении величиной хлорности (соленостью). При этом наблюдается разделение проб с хлорностью ≤19‰, взятых в июле из поверхностного распресненного слоя, и с хлорностью >19‰, отобранных в оба сезона из основной водной толщи: в распресненных водах концентрация фтора линейно зависит от величины хлорности, описываясь уравнением

[F, мг/кг] = 0,0658[Cl, ‰], *r* = 0,992,

тогда как остальные пробы группируются около среднего значения 1,27 ± 0,01 мг F/кг, образуя довольно плотное облако точек (рис. 2). Это находится в соответствии с внутригодовой изменчивостью термохалинных характеристик баренцевоморских вод [Ившин, 2004; Писарев, 2021]. В летний пе-

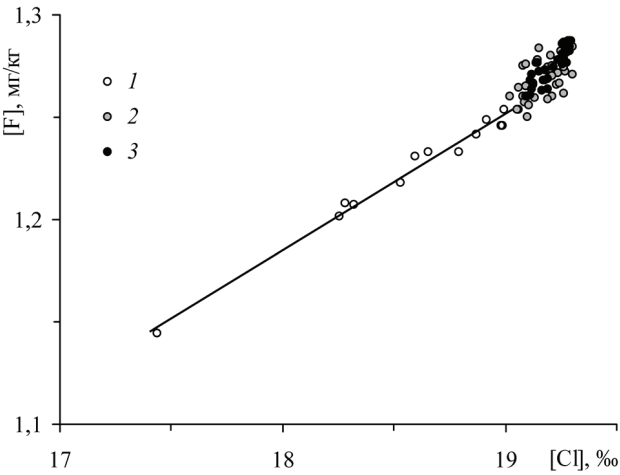


Рис. 2. Зависимость содержания фтора в водах Баренцева моря от величины хлорности:
1 – поверхностный слой с хлорностью ≤19‰, июль 2023 г.;
основная водная толща с хлорностью >19‰: 2 – июль 2023 г.;
3 – ноябрь 2023 г.

Fig. 2. Relationship of the fluorine content in the Barents Sea waters on chlorinity value:
1 – surface layer with chlorinity ≤19‰, July 2023; main water column with chlorinity >19‰: 2 – July 2023; 3 – November 2023

риод происходит распреснение прогревающегося верхнего слоя и перемещение зимней водной массы в придонные горизонты. В начале зимнего периода состояние водной толщи контролируется процессом термической конвекции, которая ко второй половине ноября достигает глубины 70–100 м, и компенсационным поднятием более теплых Атлантических вод к поверхности.

По величине массового отношения F/Cl поверхностные распресненные воды, хотя и несильно, но тоже значительно отличаются от вод с хлорностью >19‰: для первых среднее значение указанного параметра составляет $(6,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$, для вторых – $(6,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$. Формирование летом поверхностного распресненного слоя формально можно связать с действием двух факторов: таянием морского льда и проникновением речного стока половодья. Однако роль речного источника пресных вод в данном случае представляется несуще-

ственной, поскольку в стоке растворенных веществ арктических рек отношение F/Cl многократно превышает таковое в морской воде [Savenko, Savenko, 2024], приводя к его повышению в распресненных водах по сравнению с нижележащей водной толщей, тогда как материал наблюдений показывает прямо противоположную картину.

Полученные для Баренцева моря значения массового отношения F/Cl хорошо согласуются с данными для наиболее близко расположенных районов Северной Атлантики: пролива между Гренландией и Шпицбергом $((6,68 \pm 0,11) \cdot 10^{-5})$ и окрестностей Фарерско-Исландского порога $((6,75 \pm 0,08) \cdot 10^{-5})$ [Jones, Warner, 1975]. Эти и определенные нами в водах Баренцева моря величины отношения F/Cl являются типичными для открытого океана (табл. 2), что подтверждает известный факт высокой степени однородности основного солевого состава морской воды.

Таблица 2

Массовое отношение F/Cl в водах Мирового океана

Местоположение, число проб	F/Cl·10 ⁵	Ссылка
Северная Атлантика, $n = 63$, в том числе:	6,97	[Thompson, Taylor, 1933]
открытый океан	6,85	«
прибрежные воды	7,18	«
Северная и Южная Атлантика, Тихий и Индийский океаны*, $n = 300$	$6,7 \pm 0,1$	[Greenhalgh, Riley, 1963; Riley, 1965]
Северная Атлантика**, $n = 28$	7,03 (6,65–7,99)	[Riley, 1965]
Северная Атлантика, $n = 200$	$6,9 \pm 0,1$	[Brewer et al., 1970]
Северная Атлантика, юго-восточный склон Большой Банки	6,9–7,6	[Kester, 1971]
Северная Атлантика, разрез юго-восточный склон Большой Банки – Азорские о-ва	$6,70 \pm 0,1$	«
Северная Атлантика, южнее Азорских о-вов, $n = 26$	$6,82 \pm 0,18$	[Bewers, 1971]
Срединно-Атлантический хребет, 45–46° с.ш., 27–28° з.д., $n = 126$	$6,81 \pm 0,12$	«
Северная Атлантика, прибрежные воды штата Джорджия, США, $n = 100$	$6,9 \pm 0,1$	[Windom, 1971]
Северная Атлантика, 61–65 с. ш., 6–14° з. д., $n = 19$	$6,75 \pm 0,08$	[Jones, Warner, 1975]
То же, 76–80° с.ш., 5° з.д. – 7° в.д., $n = 97$	$6,68 \pm 0,11$	«
То же, 70–74 с.ш., 7–33° в.д., $n = 35$	$6,59 \pm 0,11$	[Савенко и др., 2023]
Северная Атлантика, Тихий океан, Карибское море, $n = 224$	$6,75 \pm 0,03$	[Warner, 1971]
Тропики северной части Тихого океана, Карибское море, Лабрадорский бассейн, район хребта Рейкьянес, $n = 4$	$6,71 \pm 0,07$	[Warner et al., 1975]
Индийский океан, Бенгальский залив, 0–3000 м, $n = 197$	$6,81 \pm 0,02$	[Sen Gupta et al., 1978]
То же, Манарский залив, 0–2000 м, $n = 31$	$6,92 \pm 0,04$	«
То же, Аравийское море, 0–1000 м, $n = 38$	$6,97 \pm 0,03$	«
То же, прибрежные воды западного побережья Индии	$6,83 \pm 0,02$	[Naik, Dias, 1982]

Примечание. * «Нормальные» воды, не показывающие значительного увеличения концентрации фтора с глубиной.

** Воды из районов, в которых наблюдалось аномальное повышение концентрации фтора с глубиной.

ВЫВОДЫ

Для Баренцева моря средняя концентрация растворенного фтора в образующемся в летний период поверхностном распресненном слое с хлорностью $\leq 19\%$ равна $1,22 \pm 0,03$ мг/кг, тогда как в основной водной толще с хлорностью $>19\%$ она составляет $1,27 \pm 0,01$ мг/кг. Массо-

вое отношение F/Cl для вод с хлорностью $\leq 19\%$ и $>19\%$ принимает значения $(6,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$ и $(6,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$. По величине отношения F/Cl воды Баренцева моря близко соответствуют акватории открытого океана, что подтверждает высокую степень однородности основного солевого состава морской воды.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00088, <https://rscf.ru/project/24-17-00088/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ившин В.А. Вертикальная термохалинная и плотностная структура Баренцева моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2004. 98 с.
- Писарев С.В. Обзор гидрологических условий Баренцева моря // Система Баренцева моря. М.: ГЕОС, 2021. С. 153–166.
- Савенко А.В., Савенко В.С., Новигатский А.Н. Фтор в водах Северной Атлантики // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. № 1. С. 143–147.
- Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 77 с.
- Bewers J.M. North Atlantic fluoride profiles, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 2, p. 237–241.
- Brewer P.G., Spencer D.W., Wilkiss P.E. Anomalous fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1970, vol. 17, no. 1, p. 1–7.
- Greenhalgh R., Riley J.P. Occurrence of abnormally high fluoride concentration at depth in the oceans, *Nature*, 1963, vol. 197, no. 4865, p. 371–372.
- Jones M.M., Warner T.B. Fluoride in seawater north and east of Iceland, *J. Geophys. Res.*, 1975, vol. 80, no. 18, p. 2695.
- Kester D.R. Fluoride chlorinity ratio of seawater between the Grand Banks and the Mid-Atlantic Ridge, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 11, p. 1123–1126.
- Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea, *Polar Res.*, 1991, vol. 10, no. 1, p. 5–18.
- Naik S., Dias C.M. On the distribution of fluoride, calcium and magnesium in the waters of the central west coast of India, *Mahasagar. Bull. Nat. Inst. Oceanogr.*, 1982, vol. 15, no. 1, p. 23–28.
- Riley J.P. The occurrence of anomalously high fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1965, vol. 12, no. 2, p. 219–220.
- Savenko A.V., Savenko V.S. Trace element composition of the dissolved matter runoff of the Russian Arctic rivers, *Water*, 2024, vol. 16, no. 4, article number 565, p. 1–13.
- Sen Gupta R., Naik S., Singbal S.Y.S. A study of fluoride, calcium and magnesium in the Northern Indian Ocean, *Marine Chem.*, 1978, vol. 6, no. 2, p. 125–141.
- Thompson T.G., Taylor H.J. Determination and occurrence of fluorides in seawater, *Ind. Eng. Chem., Anal. ed.*, 1933, vol. 5, no. 2, p. 87–89.
- Warner T.B. Normal fluoride content of seawater, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 12, p. 1255–1263.
- Warner T.B., Jones M.M., Miller G.R. et al. Fluoride in seawater: Intercalibration study based on electrometric and spectrophotometric methods, *Analyt. Chim. Acta*, 1975, vol. 77, no. 1, p. 223–228.
- Windom H.L. Fluoride concentration in coastal and estuarine waters, *Limnol. and Oceanogr.*, 1971, vol. 16, no. 5, p. 806–810.

Поступила в редакцию 19.09.2024

После доработки 15.12.2024

Принята к публикации 21.01.2025

FLUORINE IN THE BARENTS SEA WATERS

A.V. Savenko¹, V.S. Savenko², D.N. Belikov³

^{1–3} Lomonosov Moscow State University

³ Marine Research Center

¹ Faculty of Geology, Department of Geochemistry, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

² Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy, Professor; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

³ Engineer; e-mail: belikov.danylo@yandex.ru

First data on the fluorine content in the Barents Sea waters were obtained. According to the results of direct potentiometric measurements, the fluorine concentration is in the range of 1,14–1,29 mg/kg, increasing with

growing chlorinity (salinity). The average F/Cl mass ratio is equal to $(6,58 \pm 0,02) \cdot 10^{-5}$ for surface desalinated layer with chlorinity $\leq 19\text{‰}$ and to $(6,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$ for the main water column with chlorinity $>19\text{‰}$. The value of the F/Cl ratio in the Barents Sea waters closely corresponds to that of the World Ocean, including the North Atlantic.

Keywords: Barents Sea, seawater, fluorine content, F/Cl mass ratio, direct potentiometry

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 24-17-00088; <https://rscf.ru/en/project/24-17-00088/>).

REFERENCES

- Bewers J.M. North Atlantic fluoride profiles, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 2, p. 237–241.
- Brewer P.G., Spencer D.W., Wilkiss P.E. Anomalous fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1970, vol. 17, no. 1, p. 1–7.
- Greenhalgh R., Riley J.P. Occurrence of abnormally high fluoride concentration at depth in the oceans, *Nature*, 1963, vol. 197, no. 4865, p. 371–372.
- Ivshin V.A. *Vertikal'naya termokhalinnaya i plotnostnaya struktura Barentseva moray* [Vertical thermohaline and density structure of the Barents Sea], Murmansk, Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography Publ., 2004, 98 p. (In Russian)
- Jones M.M., Warner T.B. Fluoride in seawater north and east of Iceland, *J. Geophys. Res.*, 1975, vol. 80, no. 18, p. 2695.
- Kester D.R. Fluoride chlorinity ratio of sea water between the Grand Banks and the Mid-Atlantic Ridge, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 11, p. 1123–1126.
- Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea, *Polar Res.*, 1991, vol. 10, no. 1, p. 5–18.
- Naik S., Dias C.M. On the distribution of fluoride, calcium and magnesium in the waters of the central west coast of India, *Mahasagar. Bull. Nat. Inst. Oceanogr.*, 1982, vol. 15, no. 1, p. 23–28.
- Pisarev S.V. [Review of the Barents Sea hydrological conditions], *Sistema Barentseva moray* [The Barents Sea system], Moscow, GEOS Publ., 2021, p. 153–166. (In Russian)
- Riley J.P. The occurrence of anomalously high fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1965, vol. 12, no. 2, p. 219–220.
- Savenko A.V., Savenko V.S. Trace element composition of the dissolved matter runoff of the Russian Arctic rivers, *Water*, 2024, vol. 16, no. 4, article number 565, p. 1–13.
- Savenko A.V., Savenko V.S., Novigatsky A.N. Ftor v vodakh Severnoi Atlantiki [Fluorine in the North Atlantic waters], *Vestn. MGU, Ser. 5, Geogr.*, 2023, no. 1, p. 143–147. (In Russian)
- Savenko V.S. *Vvedeniye v ionometriyu prirodnikh vod* [Introduction to the ionometry of natural waters], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 77 p. (In Russian)
- Sen Gupta R., Naik S., Singbal S.Y.S. A study of fluoride, calcium and magnesium in the Northern Indian Ocean, *Marine Chem.*, 1978, vol. 6, no. 2, p. 125–141.
- Thompson T.G., Taylor H.J. Determination and occurrence of fluorides in sea water, *Ind. Eng. Chem., Anal. ed.*, 1933, vol. 5, no. 2, p. 87–89.
- Warner T.B. Normal fluoride content of seawater, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 12, p. 1255–1263.
- Warner T.B., Jones M.M., Miller G.R., Kester D.R. Fluoride in sea water: Intercalibration study based on electrometric and spectrophotometric methods, *Analyt. Chim. Acta*, 1975, vol. 77, no. 1, p. 223–228.
- Windom H.L. Fluoride concentration in coastal and estuarine waters, *Limnol. and Oceanogr.*, 1971, vol. 16, no. 5, p. 806–810.

Received 19.09.2024

Revised 15.12.2024

Accepted 21.01.2025

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 компонуются **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. Подписи;
12. Рисунки;
13. Перевод на английский язык пунктов 2–6, 8–9;
11. В пункте 4 просьба использовать в переводе официальное наименование организации на английском языке (а не собственный вариант перевода).

Подготовка текста

Текст набирается 12 кеглем через один интервал, поля слева, сверху и снизу – 2 см, справа – 1,5 см. Не допускается использование табулятора или пробелов для обозначения абзаца, ручных переносов в словах, переносов строк клавишей Enter в рамках одного предложения, разрывов страниц и разделов. В тексте статьи возможно использование полужирного шрифта и курсива для смысловых выделений, однако не должно использоваться подчеркивание. Десятичная часть чисел отделяется запятой.

Формулы набираются в редакторе формул в отдельную строку и имеют сквозную нумерацию по всей статье, выровненную по правому краю строки.

Таблицы набираются в Word, не допускается разделение ячеек косой линией. Ручные переносы не допускаются.

Рисунки представляются отдельными файлами, названными по их номерам (например: рис.1.tiff, рис.2.jpg), в графическом формате (eps, tif, jpg) разрешением не менее 300 dpi для полутоновых и 600 dpi для черно-белых изображений и графиков. Для графиков, выполненных в Excel, дополнительно прилагаются соответствующие файлы Excel. Картинки должны быть полностью готовы к изданию. Представление рисунков в виде схем Word или набранного текста с добавлением графических элементов, наложенных сверху, **не допускается**.

Ссылка на источник в тексте документа указывается в квадратных скобках. В тексте ссылки через запятую указывается фамилия автора и год издания. Если ссылок несколько – они отделяются друг от друга точкой с запятой. Ссылка на источник на иностранном языке указывается на языке оригинала. Список русскоязычной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, 7.82–2001 и 7.0.5–2008. DOI (при наличии) указывается в конце ссылки. Ссылка на источник на английском языке оформляется единообразно и в русскоязычном, и в переведенном на английский язык списке литературы. **При наличии у русскоязычного издания, которое фигурирует в списке литературы, оригинальной или переводной англоязычной версии в ссылке должна быть указана именно она, а не русскоязычный вариант.**

Более подробные инструкции по подготовке статей для авторов можно найти на сайте журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться автору на переработку.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел. +7(495)9392923. Сайт журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Электронная почта: vestnik_geography@mail.ru.

Плата за публикацию не взимается

У ЧРЕДИТЕЛИ:

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
географический факультет МГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.А. ДОБРОЛЮБОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН (главный редактор)
В.С. ТИКУНОВ, доктор географических наук, профессор (зам. главного редактора)
Е.А. ЕРЕМЕНКО, кандидат географических наук (ответственный секретарь)
А.И. АЛЕКСЕЕВ, доктор географических наук, профессор
С.И. БОЛЫСОВ, доктор географических наук, профессор
А.Н. ГЕННАДИЕВ, доктор географических наук, профессор
К.Н. ДЬЯКОНОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН
С.С. ЗИЛИТИНКЕВИЧ, доктор географических наук, профессор (Метеорологический институт Финляндии)
О.Г. ЗОЛИНА, профессор (Университет Ж. Фурье, г. Гренобль, Франция)
В.Ю. ИВАНОВ, профессор (Мичиганский университет, США)
Н.С. КАСИМОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН
А.В. КИСЛОВ, доктор географических наук, профессор
В.А. КОЛОСОВ, доктор географических наук, профессор
К.П. КОЛТЕРМАНН, профессор
М. КОНЕЧНЫ, профессор (Университет г. Брно, Чешская Республика)
С.Б. КРООНЕНБЕРГ, профессор (Технологический университет г. Делфт, Нидерланды)
С.М. МАЛХАЗОВА, доктор географических наук, профессор
Г. МОУРИ, профессор (Университет г. Токио, Япония)
С.А. СОКРАТОВ, кандидат географических наук, PhD
П.Е. ТАРАСОВ, доктор наук, профессор (Берлинский Свободный университет, Германия)
Н.Л. ФРОЛОВА, доктор географических наук, профессор
В.Е. ШУВАЛОВ, кандидат географических наук, доцент
Т.А. ЯНИНА, доктор географических наук, профессор
В.В. ЯНКО-ХОМБАХ, доктор геолого-минералогических наук, профессор (Институт прикладных исследований Авалон, г. Виннипег, Канада)

EDITORIAL BOARD:

S.A. DOBROLUBOV, doctor of science, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor (Editor-in-chief)
V.S. TIKUNOV, doctor of science, professor (Deputy Editor-in-chief)
E.A. EREMENKO, candidate of science (Secretary-General)
A.I. ALEKSEEV, doctor of science, professor
S.I. BOLYSOV, doctor of science, professor
A.N. GENNADIYEV, doctor of science, professor
K.N. D'YAKONOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor
S.S. ZILITINKEVICH, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)
O.G. ZOLINA, professor (Fourier University, Grenoble, France)
V.YU. IVANOV, professor (Michigan University, USA)
N.S. KASIMOV, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor
A.V. KISLOV, doctor of science, professor
V.A. KOLOSOV, doctor of science, professor
K.P. KOLTERMANN, professor
M. 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

А.И. АЛЕКСЕЕВ, А.В. КИСЛОВ

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.