

# Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 5 ГЕОГРАФИЯ

№ 4 • 2022 • ИЮЛЬ–АВГУСТ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

## СОДЕРЖАНИЕ

### *Теория и методология*

- Колбовский Е.Ю., Алексеева Н.Н., Банчева А.И., Климанова О.А.* Проблемы геоинформационного моделирования природно-зональной дифференциации в географии ..... 3

### *География и экология*

- Новикова С.А., Мартынов Д.Н.* Влияние зеленых насаждений на снижение уровня шума от автотранспортных потоков в Иркутске ..... 16
- Бабаян Г.Г.* Оценка экологического состояния городского участка реки Раздан (г. Ереван) по гидрохимическим показателям ..... 26

### *Методы географических исследований*

- Имамвердиев Н.С.* Выбор оптимального места для установки солнечных электростанций в Нахичеванской АР ..... 36
- Юдина Т.Н., Богомолова А.В., Петухова О.В., Вайниток А.П.* ГИС-технологии для социально-экономических исследований ..... 52

### *Региональные исследования*

- Егоров Д.О., Николаев Р.С.* Основные этапы, направления и факторы реформирования школьной сети в сельской местности России ..... 64
- Власова Г.А., Марченко С.С., Рудых Н.И.* Весенний гидродинамический режим в Камчатском проливе за 1950–2017 гг. .... 79
- Шеремецкая Е.Д., Каревская И.А., Самусь А.В., Гаранкина Е.В., Шоркунов И.Г.* Новые данные о стратиграфической значимости разреза «Черемошник» (Ярославская область) ..... 88
- Демидова К.В., Медведникова Д.М., Алексеев А.И.* Реализация крупных угледобывающих проектов как фактор трансформации сельской местности в Алтайском районе Республики Хакасия ..... 101
- Герасимов А.А.* Территориальная и возрастная дифференциация соотношения полов населения России ..... 113
- Волошенко К.Ю., Новикова А.А.* Влияние изменений территориального распределения внешней торговли на развитие Калининградской области ..... 127
- Мискевич И.В., Алабян А.М., Демиденко Н.А., Коробов В.Б., Панченко Е.Д.* Формирование высокой мутности вод в малых приливных эстуариях Белого и Баренцева морей ..... 142

CONTENTS

**Theory and methodology**

- Kolbowsky E. Yu., Alekseeva N.N., Bancheva A.I., Klimanova O.A.* Problems of geoinformation modeling of natural-zonal differentiation in geography ..... 3

**Geography and Ecology**

- Novikova S.A., Martynov D.N.* Effect of green spaces on the reduction of noise from road traffic flows in Irkutsk ..... 16
- Babayan G.H.* Assessment of the ecological state within the urban section of the Hrazdan River (Yerevan city) based on hydrochemical indicators ..... 26

**Methods of geographical research**

- Imamverdiyev N.S.* Optimal site selection for solar power stations in the Nakhichevan AR ..... 36
- Yudina T.N., Bogomolova A.V., Petuhova O.V., Vainshtok A.P.* GIS-technologies for social investigations ..... 52

**Regional studies**

- Egorov D.O., Nikolaev R.S.* Reforming the school network in rural areas of Russia: main stages, directions and factors ..... 64
- Vlasova G.A., Marchenko S.S., Rudykh N.I.* Spring hydrodynamic regime in the Kamchatka strait for the period of 1950–2017 ..... 79
- Sheremetskaya E.D., Karevskaya I.A., Samus' A.V., Garankina E.V., Shorkunov I.G.* New data on stratigraphic importance of the Cheremoshnik section (Yaroslavl oblast) ..... 88
- Demidova K.V., Medvednikova D.M., Alekseev A.I.* Large-scale coal mining as a transformation factor of rural areas in the Altai district of the Republic of Khakassia ..... 101
- Gerasimov A.A.* Sex ratio by region and age in Russia ..... 113
- Voloshenko K.Y., Novikova A.A.* Impact of changes in the territorial distribution of foreign trade on the development of the Kaliningrad region ..... 127
- Miskevich I.V., Alabyan A.M., Demidenko N.A., Korobov V.B., Panchenko E.D.* Formation of high water turbidity in small tidal estuaries of the White and Barents Seas ..... 142

---



---

**ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ**


---



---

УДК 911.2(4)

**ПРОБЛЕМЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРИРОДНО-ЗОНАЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ В ГЕОГРАФИИ**
**Е.Ю. Колбовский<sup>1</sup>, Н.Н. Алексеева<sup>2</sup>, А.И. Банчева<sup>3</sup>, О.А. Климанова<sup>4</sup>**
<sup>1-4</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,  
кафедра физической географии мира и геоэкологии*
<sup>1</sup> *Вед. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: kolbowski@mail.ru*
<sup>2</sup> *Доцент, канд. геогр. наук; e-mail: nalex01@mail.ru*
<sup>3</sup> *Науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: ban-sai@mail.ru*
<sup>4</sup> *Доцент, канд. геогр. наук; e-mail: oxkl@yandex.ru*

Природная зона – одно из базовых понятий физической географии, отражающее горизонтальную дифференциацию ландшафтной оболочки от экватора к полюсам. Разнообразие глобальных геопространственных данных и совершенствование методов автоматической компьютерной классификации открывают новые возможности для применения алгоритмов геоинформационного анализа для дифференциации суши по зонально-климатическим условиям. Цель статьи – выделить природно-зональные границы средствами геоинформационного моделирования с использованием глобальных климатических данных, а также выявить ограничения и сложности, возникающие при неконтролируемой классификации. В работе использовались нормализованные показатели из глобальной базы климатических данных Эдинбургского университета, составленной на основе WorldClim. На первом этапе методом анализа главных компонент обоснован набор значимых климатических параметров, необходимых для моделирования зонально-климатических группировок природных комплексов (годовая амплитуда температур, сезонность ежемесячных средних температур, годовая сумма среднесуточных температур выше 0°C, годовая сезонность осадков, индекс аридности Торнтвейта и сезонность потенциальной эвапотранспирации – всего 6 показателей). Далее проведена неконтролируемая классификация указанных параметров по разному количеству классов (15, 22, 72). Для получения картины, сходной с глобальной природно-зональной дифференциацией, в модели использовано 22 класса. Сравнение новых зонально-климатических рубежей, полученных в результате моделирования, с границами природных зон на картах, составленных на основе иных методических подходов, проведено на примере Европы. Новые границы в целом отражают основные закономерности поясно-зональной дифференциации территории и могут служить основой для дальнейшей типологии ландшафтов средствами геоинформационного моделирования. В ходе исследования определены основные методологические ограничения геоинформационного моделирования природных зон на глобальном и материковом уровнях. Ограничения кластерного анализа для мелкомасштабного картографирования зонально-климатических группировок природных комплексов связаны также со сложностью выбора оптимального числа классов для получения адекватной визуализации пространственной структуры природных зон, а также с фактором «равного вклада» всех используемых климатических переменных в моделировании. Показано, что при реализации автоматических алгоритмов моделирования помимо климатических параметров (даже в разнообразных комбинациях) необходимо привлечение других геопространственных данных. Несомненным преимуществом подхода является воспроизводимость алгоритма классификации и возможность получения на выходе данных требуемой степени детальности в зависимости от конкретных задач геоэкологических исследований.

**Ключевые слова:** природная зональность, зонально-климатические рубежи, климатические данные, геоинформационное моделирование

**ВВЕДЕНИЕ**

Природная зональность – особая форма территориальной дифференциации ландшафтной оболочки Земли, выраженная в последовательном изменении природных условий и ландшафтов от экватора к полюсам [Мильков, 1959]. Различия в

природных комплексах, обусловленные неравномерным распределением тепла и влаги по земной поверхности, анализировались выдающимися естествоиспытателями прошлого – Ч. Дарвином, А. Уоллесом, А. Гумбольдтом и др. Концепция «зон природы» как сложных комплексов, объеди-

няющих климатические условия с типами почв и растительных сообществ, впервые предложенная В.В. Докучаевым [Докучаев, 1899], на протяжении XX в. детально разрабатывалась в нашей стране (Л.С. Берг, А.А. Григорьев, М.И. Будыко, Г.Д. Рихтер, И.П. Герасимов, Е.Н. Лукашова, А.М. Рябчиков, А.Г. Исаченко и др.) и за рубежом (К. Тролль, Л. Холридж, Р. Бейли и др.).

С позиций ландшафтоведения природные (ландшафтные) зоны – «типы природно-территориальных комплексов, различающиеся главным образом вследствие неравномерного распределения тепла и влаги на поверхности Земли» [Лукашова, Игнатъев, 1964, с. 293], название природных зон традиционно дается по типу доминирующей растительности. В настоящее время они рассматриваются как ландшафтные сообщества с однородными в масштабе исследования климатогенными и биогенными природными компонентами [Романова и др., 2015]. В разное время отечественными исследователями выделялось от 24 [Григорьев, Будыко, 1956] до 43 [Романова и др., 2015] природных зон.

Авторы первых карт природных зон полагали, что зональная дифференциация определяется различием в соотношении тепла и влаги, которое можно представить в виде количественных коэффициентов: радиационного индекса сухости [Григорьев, Будыко, 1956], гидротермического коэффициента Селянинова [Лукашова, Игнатъев, 1964] и др. По мере накопления знаний и использования объективно измеряемых климатических показателей оказалось, что определяющими дискретность феномена и «прорисовывающими» границы являются более сложные производные факторы, тем или иным способом выражающие сочетание тепла и влаги на фоне внутrigодового климатического цикла, например количество осадков в теплый период года, изменение индексов аридности и влажности по сезонам, средние минимальные температуры воздуха за период их положительных значений и т. п. Существенную роль в зонально-климатической дифференциации играет соотношение различных гидротермических фаз в течение вегетационного периода, определяющих специфику растительных группировок, почв, ежегодной биологической продуктивности и пр. [Isachenko, 1998]. Так, фазы теплообеспеченности вегетационного периода (выделено семь типов) и влагообеспеченности (четыре типа) и их продолжительность образуют уникальные сочетания, формирующие зонально-климатическое разнообразие типов ландшафтов/экосистем. Различные климатические показатели используются для расчета первичной фитопродуктивности ландшафтов [Дьяконов, Шиловцев, Харитонов, 2005].

Очевидно, что более детальное понимание зависимостей между климатом и растительностью (как наиболее физиономичным компонентом ландшафта) одновременно с накоплением разнородных климатических данных глобального охвата мотивируют исследователей обращаться к вопросу создания доказательной современной средствами ГИС-моделирования картографической модели, отражающей связь между абиогенными (в первую очередь, климатическими) и биогенными (растительность) компонентами ландшафтной оболочки. Результаты подобного моделирования при помощи инструментов кластеризации ISODATA изложены в работе [Metzger et al., 2013], где на основе использования климатических данных глобального охвата проведено экологическое районирование суши. При этом авторы указанного исследования не ставили задачу выделения легко распознаваемых биомов, а предлагали вариант дифференциации (стратификации) суши на относительно схожие по биоклиматическим параметрам ареалы, пригодные для дальнейшего статистического анализа и моделирования. Отметим, что процедура стратификации основывается в большей степени на технических параметрах классов, а не на предварительно разработанных классификационных схемах. В связи с этим в данной работе цель ставится по-иному, а именно: возможно ли при помощи средств геоинформационного моделирования на основе глобальных климатических данных решить проблему выделения природно-зональных границ в соответствии с принятыми в отечественной географии подходами, а также выявить ограничения и сложности, возникающие при неконтролируемой классификации. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) обоснование набора значимых климатических параметров (переменных) методом анализа главных компонент, необходимых для моделирования зонально-климатических группировок природных комплексов; 2) проведение неконтролируемой классификации нормализованных климатических переменных для выявления значимых зонально-климатических рубежей. В отличие от стратификации [Metzger et al., 2013], изначально были определены условия моделирования с выделением определенного (заданного) числа категорий; 3) сравнение новых зонально-климатических рубежей, полученных в результате моделирования, с границами природных зон на картах, составленных на основе иных методических подходов; 4) выявление преимуществ и ограничений геоинформационного моделирования для мелкомасштабных ландшафтных исследований.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Методологические подходы к выделению природных зон.** В настоящее время при выделении природных зон и близких им единиц, используемых в зарубежной литературе (ecological zones, environmental zones, ecological land units), существует два основных подхода: первый определяет климат как первичный параметр классификации, второй в качестве такового выбирает биогеографические особенности территории. К исследованиям первой группы относится, например, одна из первых схем зонально-климатического районирования суши Земли, предложенная В. Кёппеном в 1900 г. и обновленная на основе современных климатических данных [Kottek et al., 2006]. Эта же классификация используется FAO для выделения экологических зон мира (5 доменов, 20 типов зон) [Global Ecological Zoning..., 2001]. Среди других классификационных подходов, отражающих связь между климатом и зональной растительностью, – схема жизненных зон мира Л. Холдриджа (1947, 1967), схема географической зональности на основе радиационного индекса сухости А.А. Григорьева и М.И. Будыко (1956), дифференциация ландшафтных зон на основе соотношения теплообеспеченности и увлажнения А.Г. Исаченко (1991) и др.

Другой подход в членении ландшафтной оболочки на относительно гомогенные ареалы, определяемые в том числе и климатом, основан на приоритете выделения биогеографических различий и распределения видов [Olson et al., 2001]. Этот подход тесно связан с разделением суши на крупные относительно гомогенные (по растительности и животному миру) ареалы, известные как биомы, предложенные американскими экологами Ф. Клементом и В.Э. Шелфордом в 1939 г. [Clement, Shelford, 1939]. При этом биомы «вложены» в климатические пояса, что позволяло Г. Вальтеру ссылаться на биомы как на зонобиомы, в отличие от оробиемов и педобиемов, формирование которых обусловлено высотным положением в горах и эдафическими условиями. Зонобиом позиционируется как типологическая и кластерная сущность, границы которой задаются климатическими переменными. Классификационная схема Г. Вальтера [Walter, 1968] включает девять основных типов зонобиемов, границы которых определяются условиями увлажнения и холодового стресса (наиболее низкими температурами), детерминирующими типы зональной растительности [Walter, Breckle, 2002]. Схожий подход отражает и концепция экологических зон (экозон) / экорегионов как региональных выделов, представляющих собой относительно крупный участок суши или акватории с относительно однородным биотическим сообществом [Bailey,

2009]. Она получила широкое применение в природоохранной деятельности и используется во многих проектах для мониторинга биоразнообразия.

В эпоху традиционного картографирования границы природных зон, как и многих других «синтетических» феноменов, выделялись экспертно-интуитивно, с мануальным конфигурированием границ. В этом случае важнейшее значение имела квалификация эксперта, проводившего сопряженный анализ основных ландшафтообразующих факторов, поэтому примеры таких классификаций и в отечественной, и в зарубежной науке крайне немногочисленны. К ним можно отнести все упомянутые выше примеры классификаций, появившиеся примерно до начала 1990-х гг. Наряду с неоспоримыми достоинствами данных карт, к числу которых относится прежде всего огромная работа по обобщению и систематизации материала, их важным недостатком является отсутствие четко прописанных критериев выделения ландшафтных единиц, что делает крайне затруднительным повторение алгоритмов картографирования.

После появления ГИС-технологий в ходе геоинформационного моделирования природно-экологических единиц во многом воспроизводились подходы экспертно-мануального картографирования [Eetvelde, Antrop, 2009], в частности наложение и синтез слоев. Такой метод применен при составлении карты экосистем Южной Америки, на которой в результате наложения (комбинирования с конкатенацией индексов) нескольких предварительно классифицированных растров – абсолютной высоты, типов мезоформ рельефа, основных типов подстилающих пород, биоклиматов, земельного покрова – выделено 659 классов экосистем [Sayre et al., 2008]. Аналогичным образом составлена Глобальная карта экосистем суши, на которой выделено 3923 класса экосистем (Ecological Land Units) из первоначально полученных 48 872 уникальных комбинаций грид-кодов. Каждая выделенная единица отражает четыре характеристики в последовательности, по мнению авторов, учитывающие значимость входных параметров для характеристики экосистем (биоклимат – рельеф – литология – земельный покров) [Sayre et al., 2014].

Р. Бейли [Bailey, 1998] и К. Лоуэлл [Lowell, 1990] отмечали, что, хотя наложение карт может быть полезным для идентификации экосистем, этот подход имеет недостатки: несовпадающий исходный масштаб слоев, несоответствующие границы, произвольное число классов (таксонов) разных тематик (которые изначально подбирались под другие задачи). В целом опыт использования алгоритма оверлея показал, что этот метод мало пригоден для делимитации сложных интегральных феноменов, к каковым относятся и геосистемы всех иерархиче-

ских рангов – начиная от природных зон и заканчивая ландшафтами. Когда этот метод используется, то «поверх» ландшафтных растров иногда проводятся новые границы, очерченные вручную путем целостной интерпретации полученных структур. Их проведение дополнительно корректируется с помощью спутниковых изображений. Далее «холистическая» пространственная структура, сформированная на основе сетки ландшафтных единиц, описывается с использованием ландшафтных метрик, после чего путем иерархической кластеризации определяются типы ландшафтов. Такой трехступенчатый подход применялся, например, в процессе составления ландшафтной карты Бельгии [Eetvelde, Antrop, 2009].

Кластерный анализ используется как способ полуавтоматического моделирования и классификации многофакторных сущностей, он применялся для решения данной задачи рядом авторов [Hargrove, Hoffman, 2005; Metzger et al., 2013]. В указанных выше источниках использован неконтролируемый метод классификации (ISODATA – Iterative Self Organizing Data Analysis), автоматически разбивающий пиксели композитного растрового слоя на определенное число таксонов («классов»), имеющих сходные «спектры» по всей совокупности использованных входных переменных.

Как и все другие методы неконтролируемой классификации, ISODATA-кластеризация чувствительна к следующим характеристикам входных данных:

- выбор переменных (набор используемых показателей);
- общее число переменных;
- использование исходных («сырых») или обработанных (нормализованных либо стандартизированных) данных;
- наличие взаимной корреляции (ковариации) между переменными.

Очевидно, что в этом перечне важнейшим является собственно выбор показателей – характеристик, которые служат входными данными для классификации. На сегодняшний день в распоряжении исследователей имеется несколько наборов данных глобального охвата, различающихся по составу и характеру обработки переменных:

- реанализы, обеспечивающие многолетние сеточные архивы климатических данных за 1970–2000 гг. (например, WorldClim version 2.1) [Fick, Hijmans, 2017];
- нормализованные и стандартизованные биоклиматические данные (например, база Global Environmental Stratification, разработанная университетом Эдинбурга).

Для задач нашего исследования первоначально были использованы биоклиматические данные Эдинбургского университета [Metzger et al., 2013],

содержащие 42 переменные. Они отличаются от данных WorldClim не только большим набором показателей (здесь рассчитаны дополнительные ограничивающие или критические для выделения природных зон факторы), но и тем обстоятельством, что все переменные (за исключением абсолютной высоты) подверглись либо нормализации (с использованием диапазона значений), либо стандартизации (с использованием стандартных отклонений). Исходя из этого, именно эти данные были выбраны для параметризации.

**Алгоритм моделирования.** На первом этапе из указанной базы данных экспертным путем были отобраны 15 климатических переменных, предпочтение отдавалось параметрам двух типов: 1) характеризующим тепло- и влагообеспеченность и 2) соотношение тепла и влаги. Выбор именно таких параметров был связан с гипотезой исследования – построение границ природных зон средствами ГИС-моделирования возможно на основе глобальных климатических данных.

Для определения вклада каждой из 15 климатических переменных в делимитацию зонально-климатических рубежей и выявления потенциальной взаимосвязи между переменными был использован метод анализа главных компонент (моделирование проводилось в программном пакете ArcMAP 10.5). По результатам анализа была построена матрица корреляции, показывающая возможные взаимосвязи между указанными переменными (переменная «абсолютная высота» не учитывалась) (табл.). Как и следовало ожидать, параметры, послужившие основой для расчета других характеристик, показали коэффициент ковариации с ними выше 0,85. Среди таких параметров (рис. 1):

- среднегодовая температура и количество месяцев со средней температурой выше 10°C (четыре взаимосвязанных показателя);
- средняя температура самого холодного месяца, средняя температура самого теплого месяца, годовое количество осадков, плювиотермический коэффициент Эмбержера (три взаимосвязанных показателя);
- годовая сумма среднесуточных температур более 0°C, количество осадков за месяцы со среднемесячными температурами выше 0°C, индекс аридности Торнтвейта (два взаимосвязанных показателя).

По итогам анализа главных компонент на следующем этапе моделирования были выбраны шесть переменных:

- годовая амплитуда температур;
- сезонность ежемесячных средних температур;
- годовая сумма среднесуточных температур более 0°C;
- годовая сезонность осадков;
- индекс аридности Торнтвейта;

Матрица корреляции для климатических переменных (фрагмент)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,000	-0,482	-0,314	0,978	0,933	0,884	0,945	-0,040
2	-0,482	1,000	0,938	-0,377	-0,742	-0,040	-0,264	-0,502
3	-0,314	0,938	1,000	-0,192	-0,580	0,128	-0,087	-0,590
4	0,978	-0,377	-0,192	1,000	0,883	0,927	0,982	-0,137
5	0,933	-0,742	-0,580	0,883	1,000	0,673	0,811	0,167
6	0,884	-0,040	0,128	0,927	0,673	1,000	0,947	-0,333
7	0,945	-0,264	-0,087	0,982	0,811	0,947	1,000	-0,210
8	-0,040	-0,502	-0,590	-0,137	0,167	-0,333	-0,210	1,000

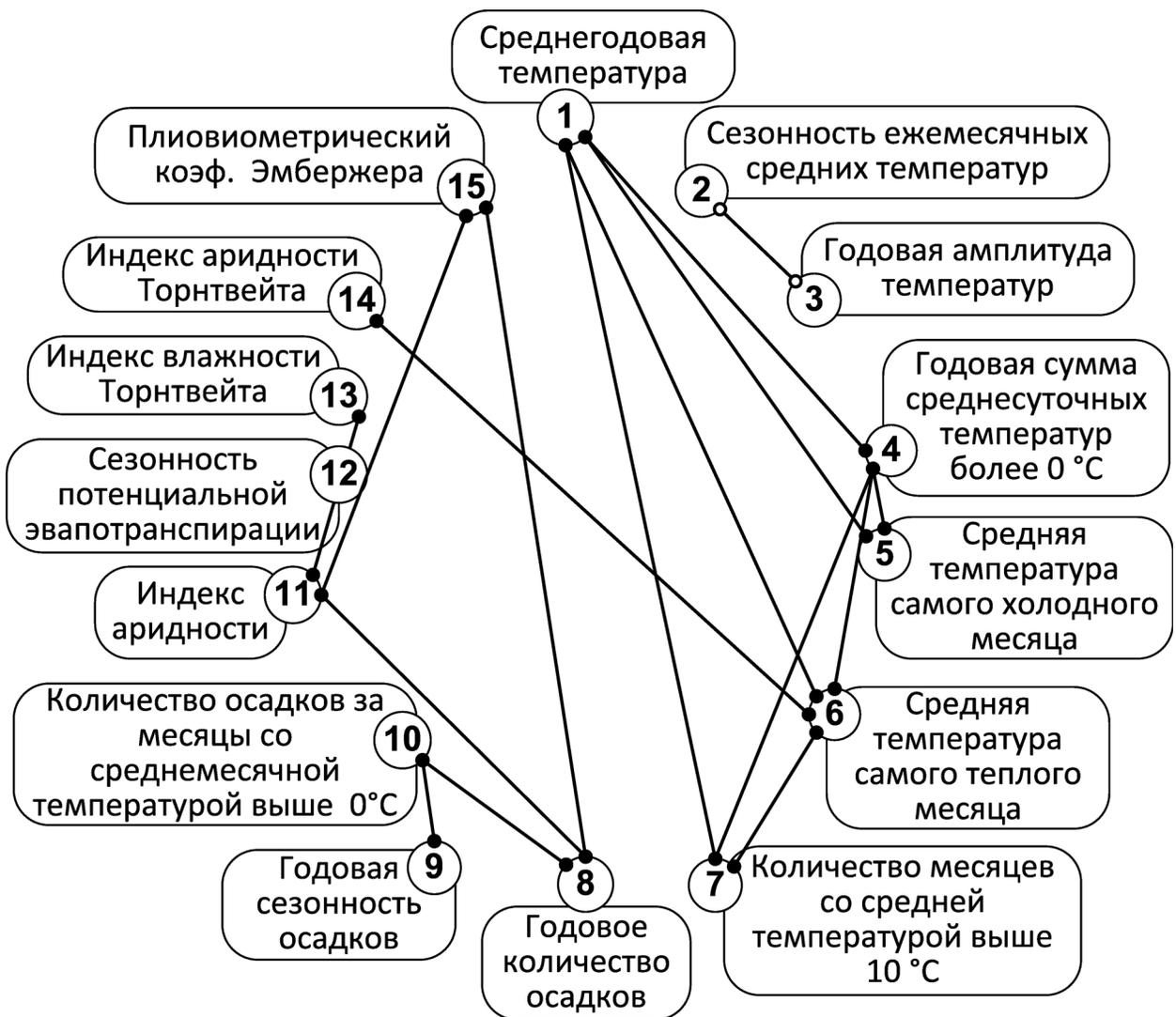


Рис. 1. Взаимосвязи между переменными по результатам анализа главных компонент для 15 климатических переменных

Fig. 1. Relationships between variables as a result of principal components analysis for 15 climate variables

– сезонность потенциальной эвапотранспирации. на годовая сумма среднесуточных температур более 0°C, которая определяет общую теплообеспечен-  
 К пяти независимым переменным была добавле-

ность территории – важный дифференцирующий показатель для географических поясов. Отметим, что четыре из шести переменных (2–5) использовались М. Метцгером с соавторами для процедуры глобальной «экологической классификации» (Environmental stratification), в результате которой было выделено 18 природно-экологических зон (environmental zones) и 125 групп внутри них [Metzger et al., 2013]. В нашем исследовании перечень переменных расширен.

Далее переменные использовались в процедуре неконтролируемой классификации (Iso Cluster Unsupervised Classification пакета ArcMAP 10.5)<sup>1</sup>. При использовании данного метода решающее значение для результата имеет указываемое число кластеров (в данной работе кластеризация проводилась по 15, 22 и 72 классам); для получения корректной картины распределения целесообразно выбирать значение «ожидаемое число классов плюс один или плюс два». При большом разнообразии количества выделяемых природных (ландшафтных) зон на мировых картах<sup>2</sup> для инструмента неконтролируемой классификации нами было указано значение 22, которое позволило получить в целом генерализованную зонально-климатическую картину. Отметим, что количество кластеров устанавливается для конкретных задач экологических исследований эмпирическим путем [Ergüner et al., 2019].

Полученный растр для избавления от «информационного шума» был подвергнут генерализации с использованием инструментов «фокальная статистика» (опция Majority) и «удаление границ» Boundary Clean (опция Descent). Далее, для выявления физических значений полученных ареалов растр природных зон был переведен в векторную форму с попутным удалением всех полигонов площадью менее 6 км<sup>2</sup>. Процедурой Dissolve были слиты все полигоны одного типа (класса), т. е. все множество превращено в 22 полигона.

<sup>1</sup> Отметим, что на предварительном этапе исследований авторы рассматривали разнообразные варианты (взвешенное и нечеткое наложение, нейронная сеть, дерево решений и т. д.), но их последовательный обзор, вероятно, представляет интерес для профильного ГИС-издания.

<sup>2</sup> На карте «Географические пояса и зоны» в монографии А.М. Рябчикова (1972) выделено 25 географических зон, на мировой карте «Географические пояса и зональные типы ландшафтов» (1988) – 29 природных зон, в монографии А.Г. Исаченко (1991) – 25 зональных групп ландшафтов, в монографии А.Г. Исаченко и А.А. Шляпникова (1989) – 20 зональных серий, в монографии А.Г. Исаченко (2008) – 28 ландшафтных зон, в разделе Э.П. Романовой в семитомнике «География, общество, окружающая среда» (2004) – 35 природных зон, на карте в статье Э.П. Романовой с соавторами (2015) – 43 природные зоны.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### *Верификация независимых показателей.*

Шесть показателей, отобранных как независимые для последующей кластеризации, были классифицированы в пакете ArcMap для оценки их вклада в дифференциацию зонально-поясных ареалов (рис. 2). Очевидно, что одни параметры в большей мере определяют дифференциацию поясную, другие – секторную.

Так, показатель годовой амплитуды температур (см. рис. 2А) маркирует рубежи экваториального и субэкваториального поясов с наименьшими амплитудами, а также хорошо отражает смену секторов в умеренном и субтропическом поясах (от западно-приокеанических до резко континентальных), особенно на огромном пространстве Евразии. Зоны со значительными амплитудами соответствуют континентальным секторам на всех материках.

Дифференциация показателя сезонности ежемесечных средних температур по 10 классам позволяет выделить примерно те же закономерности, что и предыдущий показатель: также проявляется четкое секторное (с запада на восток) деление материков (особенно Западной и Восточной Европы), в то же время более обобщенно определяются районы экваториального и субэкваториальных поясов обоих полушарий.

Показатель «Годовая сумма среднесуточных температур выше 0°C» (см. рис. 2Б) отражает преимущественно широтные тепловые пояса Земли, осложненные проявлением высотной поясности в горах (за исключением Австралии). Хорошо прослеживаются южные границы бореального подпояса в Евразии и Северной Америке, границы субтропических поясов, в то же время в высоких широтах дифференцирующая роль этого фактора не проявляется.

Параметр годовой сезонности осадков имеет чрезвычайно сложное распределение, отражающее как секторные, так и поясные (широтные) закономерности. Так, на рис. 2В отчетливо виден восточно-приокеанический сектор в умеренном и субтропических поясах Северной Америки (равномерно обеспеченный как зимними фронтальными, так и летними муссонными осадками), а также смена гумидного климата атлантического типа в Западной Европе субгумидным, характерным для умеренно-континентального сектора. Выделяется также восточно-приокеанический сектор в тропическом поясе Южной Америки. В то же время на карте обнаруживается и широтная смена климатических условий: увеличение сезонности осадков с широтой местности четко проявляется в Сахаро-Сахельской зоне, на северо-западе Индийского субконтинента, где в этом направлении увеличивается продолжительность сухого сезона.

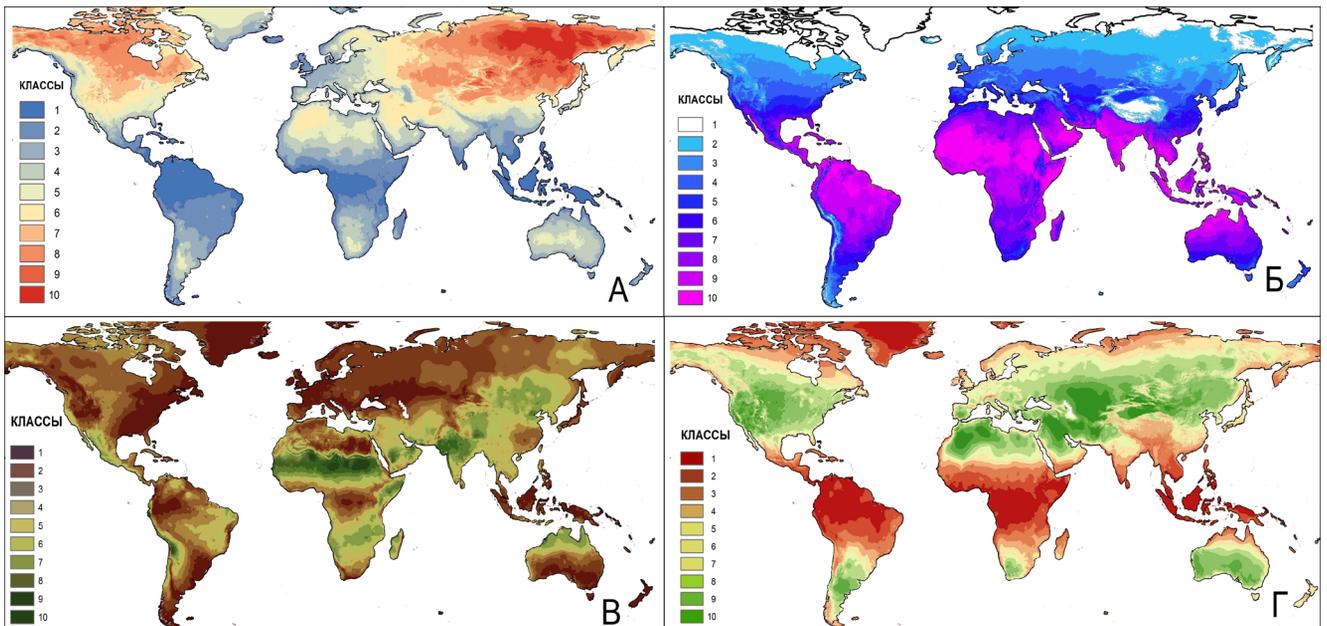


Рис. 2. Годовые стандартизированные значения величин, 10 классов – интервалы – «естественные границы»: А – амплитуда температур; Б – сумма среднесуточных температур выше 0°C; В – сезонность осадков; Г – сезонность потенциальной эвапотранспирации.  
Расшифровка легенды:

Класс	А	Б	В	Г
1	1–15	0–9169	0–26	246–1322
2	16–21	9170–19 714	27–43	1323–2049
3	22–27	19 715–30 718	44–58	2050–2840
4	28–32	30 719–43 096	59–74	2841–3599
5	33–36	43 097–56 392	75–90	3600–4264
6	37–42	56 393–68 771	91–106	4265–4865
7	43–47	68 772–79 774	107–124	4866–5434
8	48–53	79 775–88 943	125–144	5435–5972
9	54–60	88 944–97 196	145–170	5973–6636
10	61–73	97 197–116 910	171–265	6637–8313

Fig. 2. Annual standardized values of parameters, 10 classes – intervals – “natural boundaries”: A – temperature amplitudes; Б – sums of mean daily temperatures above 0°C; В – seasonality of precipitation; Г – seasonality of potential evapotranspiration. For legend see the table above

Индекс аридности Торнтвейта маркирует в основном макрорегионы-экстремумы как в полярных, так и в тропических поясах земного шара. С его помощью легко дифференцируются безлесные аридные и семиаридные области, например сухие саванны в Африке и Азии, каатинга в Южной Америке, степи и пустыни Центральной Азии, пустынное «ядро» Австралии и пр. Выделяются и секторы с избыточным увлажнением – центрально-восточная часть Гренландии, а также запад Скандинавии, береговая и горная зоны Аляски и западной Канады.

Сезонность потенциальной эвапотранспирации (см. рис. 2Г), отражающая внутригодовое соотношение режимов тепла (поскольку фактическая эвапотранспирация в любой точке определяется

температурой) и влаги, конфигурирует как широтно-зональные, так и секторные закономерности, маркируя крупные характерные континентальные секторы во внутренних частях материков. В то же время очевидна большая дифференцирующая роль этого показателя в аридных и семиаридных областях переходных и континентальных секторов, чем в гумидных и семигумидных. Таким образом, каждая из шести переменных, выбранных для кластеризации, определенным образом влияет на дифференциацию природно-ландшафтных зон.

**Картографическая модель природно-зональной дифференциации.** Полученные в результате кластеризации шести ключевых переменных зонально-климатические рубежи сравнивались с по-

ясно-секторно-зональными границами на мировых и материковых картах, составленных ранее с использованием различных методических подходов. Поскольку объем статьи не позволяет провести анализ по всем материкам, остановимся на сравнении границ в пределах «ключевого макрорегиона» зарубежной Европы (рис. 3).

Для этого использовались несколько карт: географические пояса и зональные типы ландшафтов зарубежной Европы [Романова, 2004] (см. рис. 3А), экологическое районирование зарубежной Европы [Metzger et al., 2005] (см. рис. 3Б), экологические зоны Европы ФАО [Global Ecological Zoning..., 2001] (см. рис. 3В). Известная иерархическая классификация ландшафтов Европы (European Landscape Classification, LANMAP), основанная на многоуровневой сегментации геопространственных данных, нами не учитывалась, так как слой биоклиматических данных, имевший более низкое пространственное разрешение, использовался авторами для типологии, а не для картографирования ландшафтных единиц [Mucher et al., 2010].

Полученная в результате кластеризации природно-зональная модель Европы отражает комбинацию условий по шести биоклиматическим переменным (см. рис. 3Г). Она не противоречит приведенным картам ни по простиранию большей части поясных и секторных границ, ни по основным природно-зональным рубежам. Полученным зональным группировкам были даны условные названия, принятые в российских типологических зональных классификациях.

Очевидно, что новые границы (см. рис. 3Г) отражают распределение зональных группировок природных комплексов точнее, чем на иных рассмотренных схемах. На всех картах с разной степенью детальности прослеживаются гумидные ландшафты приокеанического сектора суббореального подпояса (для них типичны буково-широколиственные леса), их смена семигумидными типами (дубово-широколиственные леса) на Среднеевропейской равнине в умеренно-континентальном секторе. Положение северной границы субтропиков совпадает с рубежом на карте экологического районирования Европы М. Метцгера (2005), особенно в пределах Паданской равнины и приморских районов Франции. Четко выделяются термофильные типы ландшафтов на юге субтропического пояса на Пиренейском полуострове и востоке Балкан. Детально отразилась высотная зональность высокогорий (Альпы, Пиренеи) и среднегорий (Карпаты, Шотландское нагорье). В то же самое время есть и некоторые расхождения с составленными ранее поясно-зональными схемами. Так, территория к югу от Луары, соответствующая зоне термофильных дубово-широколиственных лесов, попала в ту же биоклиматическую зону, что и широколиственные

лесостепи и степи Придунайских равнин. Запад Аквитании и Галисия оказались в условиях субтропического или переходного к нему климата. Заметим, что на карте экологических зон Европы (см. рис. 3Б) они выделяются в виде особой Лузитанской экозоны. Такого рода несоответствия отмечаются и в других работах [Metzger et al., 2005; Ergüner et al., 2019], что рассматривается авторами как стандартная ошибка. В данном случае, вероятно, она связана с неполным учетом (отбором) климатических параметров, которые адекватно фиксировали бы различия между хорошо обеспеченными теплом ландшафтами суббореального подпояса с гумидными, семигумидными и семиаридными условиями. Отметим, что изменение данных, используемых для кластеризации или процедуры классификации, может уточнить класс некоторых растров, но не приведет к изменению общей картины, отражающей пространственную структуру биоклиматических условий. Как показали аналогичные исследования, проведенные с использованием кластеризации для разных стран Европы [Bunce et al., 2002], основные экологические структуры, полученные на основе классификаций, стабильны независимо от деталей, относящихся к используемым переменным и алгоритмам.

Таким образом, границы, полученные в результате кластеризации климатических переменных, носят отчетливый поясно-зональный характер, в целом выявляют основные закономерности природно-климатической дифференциации Европы и могут служить для дальнейшей типологии ландшафтов с помощью геопространственного моделирования.

Результаты моделирования с увеличением числа выходных классов (например, до 72) в границах Европы с тем же набором из шести климатических переменных показали, что модель неплохо «работает» на территориях с дифференциацией форм мезорельефа (особенно это заметно в поясе герцинских низкогорий) и мозаичной морфолитогенной основой (например, в пределах Центрального массива). Здесь получилась весьма дробная структура группировок, при том что собственно растры рельефа в модели не использовались. В то же время распределение зонально-климатических группировок вдоль постепенных градиентов, где нет четких орографических границ (например, в европейской части России или на Среднеевропейской равнине), демонстрирует классическое широтное простирание с появлением целого набора «подзон», отражающих постепенную смену биоклиматических показателей. В горных областях увеличение числа классов приводит к дроблению привычных очертаний поясов высотной поясности, которые при мелкомасштабном традиционном картографировании неоправданно генерализовались.

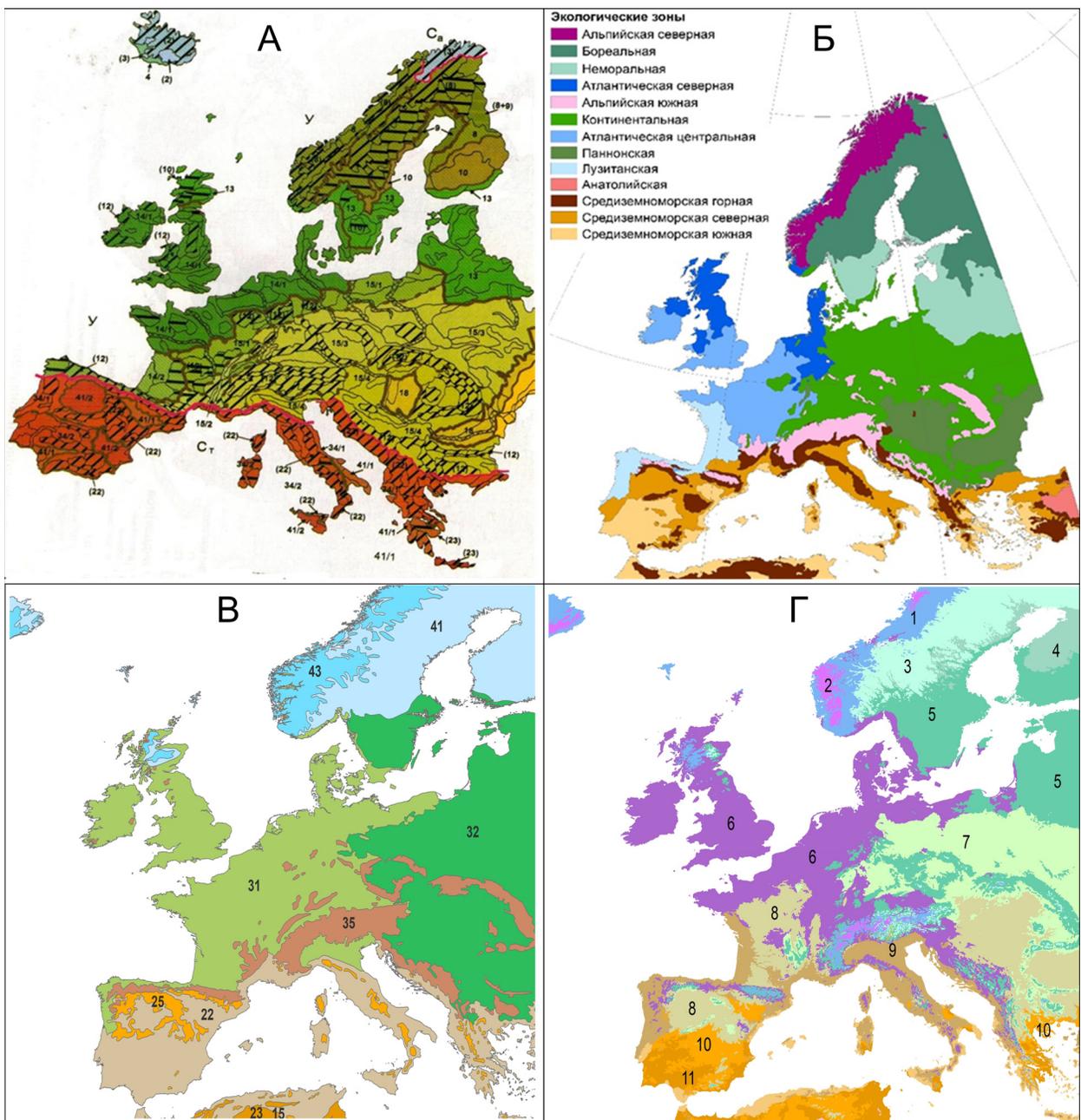


Рис. 3. Зонально-климатическая дифференциация Европы: А – географические пояса и природные зоны по [Романова, 2004]; Б – экологические зоны по [Metzger et al., 2005]; В – экологические зоны ФАО (2001): субтропические: 22 – сухие леса; 23 – степи; 24 – пустыни; 25 – горные экосистемы; умеренные: 31 – океанические леса; 32 – континентальные леса; 33 – степи; бореальные: 41 – хвойные леса; 43 – горные системы; Г – новая модель зональных группировок природных комплексов: бореальные: 1 – горные тундры; 2 – избыточно-влажные горные мелколиственные леса; 3 – умеренно-влажные среднетаежные леса; 4 – умеренно-влажные южнотаежные и смешанные леса; суббореальные: 6 – влажные (приатлантические) широколиственные леса; 7 – умеренно-влажные широколиственные леса; 8 – умеренно-влажные термофильные широколиственные леса и лесостепи; субтропические и переходные к ним: 9 – смешанные и жестколистные леса; 10 – термофильные жестколистные леса; 11 – термофильные жестколистные редколесья

Fig. 3. Zonal-climatic differentiation of Europe: A (top left) – geographical zones and natural zones according to [Romanova, 2004]; Б – ecological zones according to [Metzger et al., 2005]; В – ecological zones of FAO (2001): subtropical: 22 – dry forests; 23 – steppes; 24 – deserts; 25 – mountain ecosystems; temperate: 31 – oceanic forests; 32 – continental forests; 33 – steppes; boreal: 41 – coniferous forests; 43 – mountain systems; Г – new model of zonal groupings of natural complexes: boreal: 1 – mountain tundra; 2 – excessively moist mountain small-leaved forests; 3 – moderately humid middle taiga forests; 4 – moderately humid southern taiga forests; 5 – moderately humid southern taiga and mixed forests; subboreal: 6 – humid (Atlantic) broad-leaved forests; 7 – moderately humid broadleaved forests; 8 – moderately humid thermophilic deciduous forests and forest-steppe; subtropical and transitional to them: 9 – mixed and sclerophyllous forests; 10 – thermophilic sclerophyllous forests; 11 – thermophilic sclerophyllous woodlands

Использование геоинформационных методов для мелкомасштабного картографирования показало, что основное ограничение связано со сложностью выбора оптимального числа классов для получения адекватной картины пространственной дифференциации природных комплексов. Очевидно, что выбор большего числа конечных классов при моделировании и меньшего диапазона значений между входными переменными обеспечивает получение на выходе анализа более крупномасштабных географических мозаик. Однако, в реальности получающиеся классы объектов сложны для интерпретации в качестве природных зон, кроме того, они имеют более низкий таксономический ранг. В то же время вопрос о том, что это за единицы, остается дискуссионным, поскольку в парадигме моделирования размерность получаемых матриц достаточно условна. Полученные более детальные комбинации однородных экоклиматических условий окружающей среды могут быть использованы для решения иных задач, в том числе при изучении местообитаний и биоразнообразия, для оценки экосистемных услуг, разработки сети экологического мониторинга и др.

### ВЫВОДЫ

При реализации автоматических алгоритмов, примененных в данной работе, становится понятно, что использование только климатических переменных (пусть и в разнообразных комбинациях) для моделирования зональных группировок природных комплексов недостаточно. Иными словами, хотя природная зона и представляет собой во многом климатически обусловленный феномен, получить только на основании параметризации климатиче-

ских переменных глобальную картографическую модель зональной дифференциации (как при экспертном картографировании) вряд ли возможно. Одним из возможных путей разрешения этого противоречия может быть добавление в процедуру кластерного анализа переменных, характеризующих свойства ландшафтного покрова (land cover).

Использование наборов глобальных климатических данных для ГИС-моделирования зональных рубежей позволяет переосмыслить и дополнить классификацию природных зон, развиваемую в отечественной физической географии. Вовлечение в анализ на глобальном уровне большего, чем при мануальном картографировании, числа переменных дает не просто качественно иные результаты при выделении зональных группировок, но и позволяет выявить вклад различных климатических факторов в дифференциацию природных комплексов в разных географических поясах.

Результаты параметризации климатических данных (в частности, полученные зонально-климатические границы) в значительной степени соотносятся с имеющимися схемами поясно-секторно-зональной структуры материков и могут служить для разработки типологии ландшафтов на основе геопространственного моделирования. При этом локализация модели (ограничение пространства моделирования одним материком или частью света) означает уменьшение диапазона разброса значений характеристик, используемых для анализа. Чем более локализована модель, тем большей точности можно достигать в отношении очертаний границ природных зон, а также в выделении «подзон» и экотонных зон с более резкими климатическими градиентами.

**Благодарность.** Исследование выполнено в рамках темы Госзадания «Анализ региональных геоэкологических проблем в условиях глобальных изменений окружающей среды» кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Географические пояса и зональные типы ландшафтов мира / карта под ред. Е.Н. Лукашовой; м-б 1:15 000 000. М.: ГУГК, 1988.
- Григорьев А.А., Будыко М.И. О периодическом законе географической зональности // Доклады АН СССР. 1956. Т. 110. № 1. С. 129–132.
- Докучаев В.В. К учению о зонах природы. Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны. СПб., 1899. 27 с.
- Дьяконов К.Н., Шиловцев О.А., Харитонов Т.И. Пространственные закономерности использования солнечной радиации (ФАР) ландшафтами Восточной Европы // Известия РАН. Серия географическая. 2005. № 1. С. 24–32.
- Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 366 с.
- Исаченко А.Г. Ландшафтная структура Земли, расселение, природопользование. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008. 320 с.
- Исаченко А.Г., Шляпников А.А. Ландшафты. М.: Мысль, 1989. 504 с.
- Лукашова Е.Н., Игнатьев Г.М. Ландшафты суши и физико-географическое районирование материков. Пояснительный текст. Физико-географический атлас мира. М., 1964. 293 с.

- Мильков Ф.Н. К вопросу о существовании ландшафтной сферы Земли и о месте ландшафтоведения в системе физико-географических наук // Науч. докл. Высшей школы. Геол.-геогр. науки. 1959. № 1. С. 15–20.
- Романова Э.П. Ландшафтная структура суши Земли. География, общество, окружающая среда. Т. II: Функционирование и современное состояние ландшафтов. М.: Городец, 2004. С. 303–318.
- Романова Э.П., Алексеева Н.Н., Аршинова М.А., Климанова О.А., Ковалева Т.А., Кондратьева Т.И., Медведев А.А. Новая карта мира «Географические пояса и природные зоны суши Земли» // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 4. С. 3–11.
- Рябчиков А.М. Структура и динамика геосферы. Ее естественное развитие и изменение человеком. М.: Мысль, 1972. 224 с.
- Bailey R.G. *Ecoregions: the Ecosystem Geography of the Oceans and Continents*, New York, Springer, 1998, 176 p.
- Bailey R.G. *Ecosystem Geography. From Ecoregions to Sites*, New York, Springer-Verlag, 2009, 251 p.
- Bunce R.G.H., Carey P.D., Elena-Rosselló R., Orr J., Watkins J.W., Fuller R. A comparison of different biogeographical classifications of Europe, Great Britain and Spain, *Journal of Environmental Management*, 2002, no. 65, p. 121–134.
- Clement F.E., Shelford V.E. *Bio-ecology*, New York, John Wiley & Sons, 1939, 425 p.
- Eetvelde van V., Antrop M. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterization for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium, *Landscape and Urban Planning*, 2009, no. 91, p. 160–170.
- Ergüner Y., Kumar J., Hoffman F.M., Dalfes H.N., Hargrove W.W. Mapping ecoregions under climate change: a case study from the biological ‘crossroads’ of three continents, Turkey, *Landscape Ecology*, 2019, no. 34, p. 35–50.
- Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas, *International Journal of Climatology*, 2017, no. 37(12), p. 4302–4315.
- Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment 2000*, Final Report, Rome, FAO, 2001, 211 p.
- Hargrove W., Hoffman F. Potential of Multivariate Quantitative Methods for Delineation and Visualization of Ecoregions, *US Department of Energy Publications*, 2005, no. 10, p. 41–59.
- Isachenko A.G. Seasonal hydrothermic phases of landscapes, *Resources and Environment: World Atlas*, Ed. Holzel, Vienna and IG RAS, Moscow, 1998, vol. 2, plate 133.
- Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift*, 2006, vol. 15, no. 3, p. 259–263.
- Lowell K.E. Differences between ecological land type maps produced using GIS or manual cartographic methods, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990, no. 56, p. 169–173.
- Metzger M.J., Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Mucho C.A., Watkins J.W. A climatic stratification of the environment of Europe, *Global Ecology and Biogeography*, 2005, no. 14(6), p. 549–563.
- Metzger M.J., Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Sayre R., Trabucco A., Zomer R. A high-resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research and monitoring, *Global Ecology and Biogeography*, 2013, no. 22, p. 630–638.
- Mucher C.A., Klijn J.A., Wascher D.M., Schamine'e J.H.J. A new European Landscape Classification (LANMAP): A transparent, flexible and user-oriented methodology to distinguish landscapes, *Ecological Indicators*, 2010, no. 10, p. 87–103.
- Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'Amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P., Kassem K.R. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth, *Bioscience*, 2001, no. 51(11), p. 933–938.
- Sayre R., Bow J., Josse C., Sotomayor L., Touval J. Terrestrial Ecosystems of South America, *North America Land Cover Summit*, 2008, p. 131–152.
- Sayre R., Dangermond J., Frye C., Vaughan R., Aniello P., Breyer S.P., Cribbs D., Hopkins D., Nauman R., Derrenbacher W., Wright D.J., Brown C., Convis C., Smith J.H., Benson L., VanSistine D.P., Warner J., Cress J.J., Danielson S.L., Hamann T., Cecere A.D., Reddy D., Burton A., Grosse D., True H., Metzger M., Hartmann J., Moosdorf N., Durr H., Paganini M., Defourny P., Arino O., Maynard S., Anderson M., Comer P. A New Map of Global Ecological Land Units – An Ecophysiological Stratification Approach, Washington, DC, Association of American Geographers, 2014, 46 p.
- Walter H. Die Vegetation der Erde in ökologischer Betrachtung, bd. 2, *Gemässigten und arktischen Zonen*, Jena, G. Fischer, 1968, 1001 p.
- Walter H., Breckle S.W. *Walter's Vegetation of the Earth: The Ecological Systems of the Geo-Biosphere*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2002, 527 p.

Поступила в редакцию 20.05.2021

После доработки 16.11.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## PROBLEMS OF GEOINFORMATION MODELING OF NATURAL-ZONAL DIFFERENTIATION IN GEOGRAPHY

E.Yu. Kolbowski<sup>1</sup>, N.N. Alekseeva<sup>2</sup>, A.I. Bancheva<sup>3</sup>, O.A. Klimanova<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of World Physical Geography and Geoecology*

<sup>1</sup> *Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: kolbowski@mail.ru*

<sup>2</sup> *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: nalex01@mail.ru*

<sup>3</sup> *Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ban-sai@mail.ru*

<sup>4</sup> *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: oxkl@yandex.ru*

The natural zone is a basic concept of physical geography, reflecting the horizontal differentiation of the geographic sphere from the equator to the poles. Diversification of global geospatial data and the improvement of automatic computer classification methods offer new opportunities for the application of geoinformation analysis algorithms for delimitation of land units by zonal climatic features. The aim of the article is to apply geoinformation modeling to identify natural zonal boundaries, as well as to reveal limitations and problems associated with the uncontrolled classification. We use normalized indicators from the University of Edinburgh database (compiled on the basis of WorldClim data). At the first step, a set of significant climatic parameters necessary to model zonal-climatic groupings of natural complexes: annual temperature range, seasonality of monthly average temperatures, annual sum of average daily temperatures above 0°C, annual seasonality of precipitation, Thornthwaite aridity index and seasonality of potential evapotranspiration, was substantiated by the analysis of the main components. Further, uncontrolled classification of these parameters was carried out according to a different number of classes (15, 22, 72). To obtain a picture similar to the global natural-zonal differentiation, 22 classes are allocated in the model. New zonal-climatic boundaries obtained as a result of modeling were compared with the boundaries of natural zones on maps compiled on the basis of other methodological approaches using the case of Europe. In general new boundaries reflect major regularities of the belt-zonal differentiation of the land and could provide background for further typology of landscapes by means of geoinformation modeling. The study made it possible to identify principal methodological limitations of the geoinformation modeling of natural zones at the global and continental levels. Limitations of the cluster analysis for small-scale mapping of natural complexes are also associated with the complexity of choosing the optimal number of classes to obtain adequate visualization of the spatial structure of natural zonal systems, as well as with the “equal contribution” factor of all climatic variables used for modeling. It is shown that realization of automated modeling algorithms requires other geospatial data, in addition to climatic parameters (even in various combinations). The undoubted advantage of the described approach is the reproducibility of classification algorithms and the possibility to obtain the required degree of detail at the output, depending on specific tasks of particular geo-ecological studies.

**Keywords:** natural zoning, zonal-climatic boundaries, climatic data, GIS-modeling

**Acknowledgements.** The study was carried out under the State assignment topic “Analysis of regional geo-ecological problems under global environmental change” of the Department of the World Physical Geography and Geoecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University and the Program of Development of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of the Lomonosov Moscow State University “The future of the planet and global environmental change”.

### REFERENCES

- Bailey R.G. *Ecoregions: the Ecosystem Geography of the Oceans and Continents*, New York, Springer, 1998, 176 p.
- Bailey R.G. *Ecosystem Geography. From Ecoregions to Sites*, New York, Springer-Verlag, 2009, 251 p.
- Bunce R.G.H., Carey P.D., Elena-Rosselló R., Orr J., Watkins J.W., Fuller R. A comparison of different biogeographical classifications of Europe, Great Britain and Spain, *Journal of Environmental Management*, 2002, 65, p. 121–134.
- Clement F.E., Shelford V.E. *Bio-ecology*, New York, John Wiley & Sons, 1939, 425 p.
- D’jakonov K.N., Shilovcev O.A., Haritonova T.I. Prostranstvennyye zakonomernosti ispol’zovaniya solnechnoy radiatsii (FAR) landshaftami Vostochnoy Evropy [Spatial peculiarities of solar radiation use (FAR) by the landscapes of Eastern Europe], *Izvestiya RAN, ser. Geograficheskaya*, 2005, no. 1, p. 24–32. (In Russian)
- Dokuchaev V.V. *K ucheniyu o zonakh prirody. Gorizontal’nye i vertikal’nye pochvennyye zony* [On the Theory of Natural Zones: Lateral and Vertical Soil Zones], St. Petersburg, 1899, 27 p. (In Russian)
- Eetvelde van V., Antrop M. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterization for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium, *Landscape and Urban Planning*, 2009, no. 91, p. 160–170.
- Ergüner Y., Kumar J., Hoffman F.M., Dalfes H.N., Hargrove W.W. Mapping ecoregions under climate change: a case study from the biological ‘crossroads’ of three continents, Turkey, *Landscape Ecology*, 2019, no. 34, p. 35–50.

- Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas, *Int. Journal of Climatology*, 2017, no. 37(12), p. 4302–4315.
- Geograficheskie pojasa i zonal'nye tipy landshaftov* [Geographical belts and zonal types of landscapes], E.N. Lukashova (ed.), map, scale 1 : 15 000 000, Moscow, GUGK Publ., 1988. (In Russian)
- Global Ecological Zoning for the Global Forest Resources Assessment 2000*, Final Report, Rome, FAO, 2001, 211 p.
- Grigor'ev A.A., Budyko M.I. O periodicheskom zakone geograficheskoi zonal'nosti [About the periodic law of geographical zoning], *Doklady AN SSSR*, 1956, vol. 110, no. 1, p. 129–132. (In Russian)
- Hargrove W., Hoffman F. Potential of Multivariate Quantitative Methods for Delineation and Visualization of Ecoregions, *US Department of Energy Publications*, 2005, no. 10, p. 41–59.
- Isachenko A.G. *Landshaftnaja struktura Zemli, rasselenie, prirodopol'zovanie* [Landscape pattern of the Earth, resettlement, and nature management], St. Petersburg, Izdvo S.-Peterb. un-ta, 2008, 320 p. (In Russian)
- Isachenko A.G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rajonirovanie* [Landscape science and physical-geographical regionalization], Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1991, 366 p. (In Russian)
- Isachenko A.G., Shljapnikov A.A. *Landshafty* [Landscapes], Moscow, Mysl' Publ., 1989, 504 p. (In Russian)
- Isachenko A.G. Seasonal hydrothermic phases of landscapes, *Resources and Environment: World Atlas*, Ed. Holzel, Vienna and IG RAS, Moscow, 1998, vol. 2, 133 p.
- Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B., Rubel F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated, *Meteorologische Zeitschrift*, 2006, vol. 15, no. 3, p. 259–263.
- Lowell K.E. Differences between ecological land type maps produced using GIS or manual cartographic methods, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990, no. 56, p. 169–173.
- Lukashova E.N., Ignat'ev G.M. [Terrestrial landscapes and physical geographical regionalization of the continents. Explanatory notes], *Fiziko-geograficheskii atlas mira* [Physical-Geographical Atlas of the World], Moscow, 1964, 293 p. (In Russian)
- Metzger M.J., Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Muche C.A., Watkins J.W. A climatic stratification of the environment of Europe, *Global Ecology and Biogeography*, 2005, no. 14(6), p. 549–563.
- Metzger M.J., Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Sayre R., Trabucco A., Zomer R. A high-resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research and monitoring, *Global Ecology and Biogeography*, 2013, no. 22, p. 630–638.
- Mil'kov F.N. K voprosu o sushhestvovanii landshaftnoj sfery Zemli i o meste landshaftovedenija v sisteme fiziko-geograficheskikh nauk [To the existence of the Earth's landscape sphere and the place of landscape science within the system of physical-geographical sciences], *Nauchn. dokl. Vyshej shkoly. Geol.-geogr. nauki*, 1959, no. 1, p. 15–20. (In Russian)
- Mucher C.A., Klijn J.A., Wascher D.M., Schamine'e J.H.J. A new European Landscape Classification (LANMAP): A transparent, flexible and user-oriented methodology to distinguish landscapes, *Ecological Indicators*, 2010, no. 10, p. 87–103.
- Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'Amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P., Kassem K.R. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth, *Bioscience*, 2001, no. 51(11), p. 933–938.
- Rjabchikov A.M. *Struktura i dinamika geosfery. Ejo estestvennoe razvitie i izmenenie chelovekom* [Structure and dynamics of the geosphere. Its natural evolution and man-made changes], Moscow, Mysl' Publ., 1972, 224 p. (In Russian)
- Romanova E.P. [Landscape structure of terrestrial areas of the Earth], *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda, t. II, Funktsionirovanie i sovremennoe sostoyanie landshaftov* [Geography, Society, Environment, vol. II, Functioning and current state of landscapes], Moscow, Gorodets Publ., 2004, p. 303–318. (In Russian)
- Romanova E.P., Alekseeva N.N., Arshinova M.A., Klimanova O.A., Kovaleva T.A., Kondratyeva T.I., Medvedev A.A. Novaya karta mira "Geograficheskie poyasa i prirodnye zony sush' 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)
- Sayre R., Bow J., Josse C., Sotomayor L., Touval J. Terrestrial Ecosystems of South America, *North America Land Cover Summit*, 2008, p. 131–152.
- Sayre R., Dangermond J., Frye C., Vaughan R., Aniello P., Breyer S.P., Cribbs D., Hopkins D., Nauman R., Derrenbacher W., Wright D.J., Brown C., Convis C., Smith J.H., Benson L., VanSistine D.P., Warner J., Cress J.J., Danielson S.L., Hamann T., Cecere A.D., Reddy D., Burton A., Grosse D., True H., Metzger M., Hartmann J., Moosdorf N., Durr H., Paganini M., Defourny P., Arino O., Maynard S., Anderson M., Comer P. *A New Map of Global Ecological Land Units. An Ecophysiological Stratification Approach*, Washington, DC, Association of American Geographers, 2014, 46 p.
- Walter H., Breckle S.W. *Walter's Vegetation of the Earth: The Ecological Systems of the Geo-Biosphere*, New York, Springer-Verlag, 2002, p. 86.
- Walter H. Die Vegetation der Erde in ökologischer Betrachtung, bd. 2, *Gemässigten und arktischen Zonen*, Jena, G. Fischer, 1968, 1001 p.

Received 20.05.2021

Revised 16.11.2021

Accepted 27.12.2021

УДК 656.13:534.6(571.53)

## ВЛИЯНИЕ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ШУМА ОТ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ИРКУТСКЕ

С.А. Новикова<sup>1</sup>, Д.Н. Мартынов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, факультет «Строительство железных дорог», кафедра «Техносферная безопасность», старший преподаватель; e-mail: eco-science@mail.ru

<sup>2</sup>Балтийский федеральный университет имени И. Канта, факультет экологии и природопользования, кафедра географии, природопользования и пространственного развития, магистрант; e-mail: razerdazer@gmail.com

Работа посвящена оценке эффективности полос зеленых насаждений на участках автомобильных дорог в городе Иркутске. С этой целью в часы пик проводилось видеонаблюдение за составом и интенсивностью потоков автотранспортных средств. На территориях с зелеными насаждениями и без них, расположенных вдоль автомобильных дорог, с помощью шумомеров измерены уровни звукового давления. Проведено сравнение полученных результатов с установленными санитарными нормами допустимых шумовых нагрузок. Осуществлен расчет статистических характеристик уровня шума, зафиксированного на ключевых участках. Анализ полученных результатов позволил выявить превышение акустических нормативов, установленных в Российской Федерации, и способность исследуемых полос зеленых насаждений снижать уровень автотранспортного шума в среднем на 9,7 дБА. Выявлено, что зеленые насаждения рассматриваемых ключевых участков не обладают достаточной эффективностью для обеспечения уровня шума, соответствующего установленным санитарным нормам (55 дБА). Анализ данных, полученных в ходе натурных измерений уровня звука на различном удалении от автомобильной дороги с различной интенсивностью движения транспортного потока, свидетельствует о создании акустической нагрузки на территорию, превышающей гигиенический норматив в дневное время на 15,2–23,8 дБА. Установлено, что транспортные потоки создают уровень шума, соответствующий низким частотам, однако наибольшего поглощающего эффекта зеленые насаждения достигают на высоких частотах (свыше 1000 Гц). Шум, создаваемый на проезжей части автодорог, распространяется как на территорию первого эшелона зданий, так и вглубь селитебной зоны. Предложены рекомендации по снижению уровня звукового давления для обеспечения акустического благополучия населения жилых зон, прилегающих к автомобильным дорогам. Повышение эффективности зеленых насаждений на всем протяжении территории, подверженной акустической нагрузке, следует достигать путем размещения многорядных полос насаждений одновременно вблизи источников шума и защищаемых объектов. Необходимо проведение целого комплекса градостроительных, инженерно-технических и административно-организационных мероприятий, позволяющих снижать акустическое загрязнение среды в результате применения традиционных и альтернативных способов на участках автомобильных дорог.

**Ключевые слова:** автотранспорт, шумовое загрязнение, санитарные нормативы, шумомеры

### ВВЕДЕНИЕ

Автомобильный транспорт является одним из источников шумового загрязнения территорий крупных городов. Не является исключением и транспорт г. Иркутска: состояние дорог и организация дорожного движения не позволяют выдерживать режимы эксплуатации двигателей с низким уровнем шума. Кроме того, особенности современной застройки таковы, что расстояние между трамвайными путями, автомобильными магистралями и жилыми домами постоянно сокращается.

Шум приводит к серьезным физиологическим и психологическим последствиям для человека: по-

вышению утомляемости, снижению умственной активности, росту сердечно-сосудистых заболеваний, шумовым стрессам, ухудшению зрения. Отсутствие тишины в ночное время приводит к преждевременной усталости. Шумы высоких уровней могут явиться хорошей почвой для развития стойкой бессонницы, неврозов и атеросклероза. Под воздействием шума от 85–90 дБА снижается слуховая чувствительность на высоких частотах [Медицина труда..., 2008].

Снижение уровня шума с помощью зеленых насаждений не является первостепенной функцией лесозащитных посадок, поэтому необходимо оце-

нить существующие придорожные полосы зеленых насаждений вдоль автодорог с этой точки зрения. Шумозащитная функция в определенной степени зависит от приемов озеленения и пород деревьев, кустарников и травяных культур. Так, например, лиственные породы, лучшие из которых для защиты от шума – липа, граб, способны поглощать до 25% звуковой энергии, а 74% – отражать и рассеивать. Согласно литературным источникам, по мере удаления от автомагистрали на 50 м лиственные древесные насаждения, например акация, тополь, дуб, снижают уровень звука на 4,2 дБА, лиственные кустарниковые – на 6 дБА. Согласно исследованиям, проведенным в Венгрии, хвойные породы, такие как ель и пихта, по сравнению с лиственными лучше регулируют шумовой режим: ель снижает уровень шума на 7 дБА, сосна – на 9 дБА. Посадка хвойных пород деревьев эффективно снижает шум в течение всего года, посадка же лиственных пород – только в летний период. Защитная функция лесополос снижается в зимний период в 3–4 раза [Пчелин, 2007].

Что касается приемов озеленения, то однорядная посадка деревьев с живой изгородью из кустарника шириной в 10–15 м снижает уровень шума на 3–4 дБА, а шириной 16–20 м – на 5–8 дБА, двухрядная посадка шириной 20–30 м способна снижать уровень шума на 6–8 дБА, трех-четырёхрядная посадка шириной 25–30 м – на 8–10 дБА, бульвар шириной 70 м с групповой посадкой деревьев и кустарников – на 10–14 дБА; многорядная посадка (зеленый массив) шириной 100 м – на 12–15 дБА [Исупова, Шарапов, 2011]. Наличие шумозащитного эффекта зеленых насаждений, а также возможная его недооцененность в практике благоустройства городского пространства, прилегающего к мощным источникам шума, обуславливают актуальность этой работы.

**Объект исследования.** Город Иркутск – крупный транспортный узел, расположенный на террасах долины р. Ангары и прилежащих возвышенностях при впадении в нее рек Иркутка и Ушаковка, окраины располагаются на коренных склонах долины. Площадь города составляет 27 998 га: застройка занимает порядка 43% (11 950 га), территория леса – 23% (6350 га). Рельеф пересеченный, ландшафт представляет собой всхолмленную эрозионно-денудационную равнину [Инвестиционный паспорт..., 2020].

Климат Иркутска резко континентальный, со значительными суточными и годовыми колебаниями температур воздуха. Разница летних и зимних температур может превышать 70°C. Отрицательная температура устанавливается в конце октября и держится до начала апреля. С приходом Сибирского антициклона устанавливается ясная, морозная и безветренная погода. Самый холодный месяц

в году – январь, средняя температура составляет –17,8°C. Зима суровая и затяжная. Весна сухая, короткая, снег сходит в начале апреля, плюсовая температура устанавливается к началу мая. Первая половина лета жаркая и сухая, на вторую приходятся затяжные дожди. Самый теплый месяц – июль, средняя температура составляет 18,3°C. Осень теплая и сухая, с резкими суточными перепадами температур. В зимний период наиболее заметен эффект «острова тепла», когда из-за нагретых зданий средняя суточная температура воздуха в центре Иркутска на 1–2°C выше, чем за его пределами. Безморозный период в среднем длится 95 дней в году. Среднесуточная температура воздуха выше 0°C держится в течение 200 дней. На теплый период года приходится 78% всех осадков, на холодный – 22%. Среднегодовая скорость ветра – 2,1 м/с. Наибольшее количество ветреных дней приходится на весну и осень. Среднегодовая влажность воздуха умеренная, составляет 72%. Незамерзающая полынья р. Ангары вызывает регулярные туманы в осенне-зимний период, увеличение влажности воздуха в прибрежной зоне [Погода и климат, 2020].

Как известно, на распространение звука в атмосфере влияет комплекс метеорологических параметров. Атмосферное поглощение не вызывает сильного затухания низких частот. Для проведения измерений на незначительных расстояниях от источника (не более 50 м) влияние ветра на уровень звука не является значительным. Ветровые градиенты могут приводить к увеличению уровня шума на 5 дБА и дополнительному затуханию – на 20 дБА. С наветренной стороны формируется зона тени, а с подветренной – зона концентрации звуковой энергии, в связи с чем для получения надежного результата с минимальными отклонениями измерения проводятся с подветренной стороны от источника. Температура и относительная влажность меняются в течение дня, вместе с тем изменяется и скорость распространения звука. Температурные градиенты способны изменять уровень шума в среднем на ±5 дБА. Температурные составляющие однородны во всех направлениях от источника. В солнечный безветренный день уменьшение температуры с высотой создает «теневого» эффект в отношении звука. Атмосферные осадки способны влиять на эффект поверхностного затухания. Например, снег может стать причиной существенного затухания, либо создать высокие плюсовые градиенты температуры. В подобных условиях проведение измерений запрещено [Методические рекомендации..., 2003]. Средние многолетние значения климатических характеристик по данным метеостанции г. Иркутска представлены в табл. 1, роза ветров исследуемой территории приведена на рис. 1.

## Метеорологические параметры территории Иркутска [Погода и климат, 2020]

Показатель	Период, месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Абсолютный максимум, °С	2,3	10,2	20,0	29,2	34,5	35,6	37,2	34,7	31,0	24,5	14,4	5,3	37,2
Средний максимум, °С	-12,8	-7,8	0,3	9,4	18,1	22,7	24,8	22,2	15,7	7,7	-2,8	-10,6	7,2
Средняя температура, °С	-17,8	-14,4	-6,4	2,5	10,2	15,4	18,3	15,9	9,2	1,8	-7,6	-15,3	1,0
Средний минимум, °С	-21,8	-19,6	-12,2	-2,8	3,6	9,3	13,0	10,9	4,3	-2,5	-11,6	-19,1	-4
Абсолютный минимум, °С	-49,7	-44,7	-37,3	-31,8	-14,3	-6	0,4	-2,7	-11,9	-30,5	-40,4	-46,3	49,7
Норма осадков, мм	13	8	12	18	37	78	114	91	52	21	20	16	480

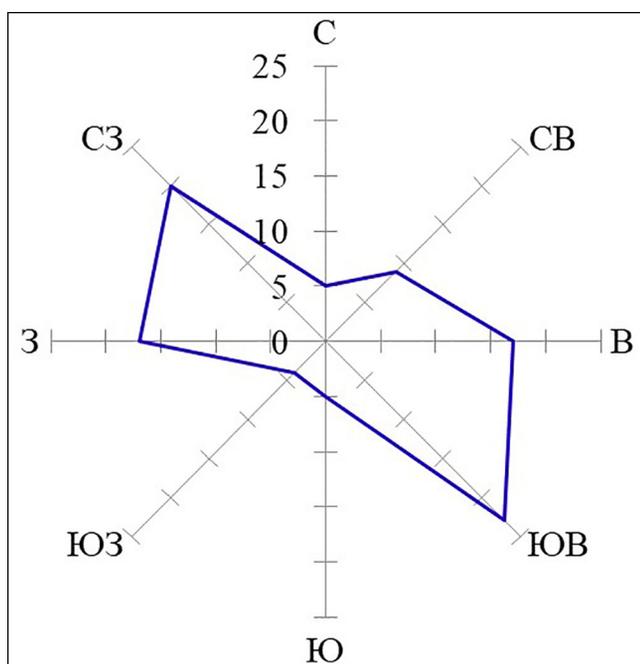


Рис. 1. Роза ветров исследуемой территории

Fig. 1. Wind chart of the study area

**Состояние изученности вопроса.** Многими зарубежными учеными рассматривалось положительное влияние зеленых насаждений на снижение уровня шума. Так, например, в работе [Herni et al., 2015] была изучена разница снижения уровня шума вблизи шоссе с помощью зеленых насаждений и бетонных конструкций. Измерения шума проводились в пиковое и непииковое время движения автотранспортных потоков с помощью шумомеров. Результаты исследований показали, что наибольшей шумопоглощающей способностью обладают бетонные панели, снижая уровень шума на 4,5–9,4 дБА, сборные железобетонные панели позволили снизить уровень шума в среднем на 5,8–8,2 дБА, придорожная растительность – на 0,3–2,2 дБА.

Авторами [Horoshenkov et al., 2012; 2013] разработана полупирическая модель для прогнозирования затухания звука, распространяемого через густые насаждения с увеличением плотности лиственной поверхности, толщины и частоты насаждений. Установлено, что затухание связано с эффективным удельным сопротивлением потока, пропорционального доле заполнения пространства, занимаемого растением, и обратно пропорционального среднему значению рассеяния листьями растения, коэффициент поглощения растениями звука находится в диапазоне частот 50–1200 Гц.

Учеными [Klingberg et al., 2017] проведено исследование эффективности зеленых насаждений в защите от некоторых загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и воздействия шума автомобильного транспорта, в результате выведены корреляционные зависимости уровня шума и загрязнения атмосферного воздуха, свидетельствующие о том, что придорожная растительность оказывает благоприятный эффект в сфере улучшения качества городской окружающей среды. В среднем уровень шума снижается на 0,6–2,3 дБА, максимальная шумопоглощающая эффективность достигает значений в 3 дБА за счет густой листвы деревьев.

В работах [Renterghem, Botteldooren, 2016; Renterghem, 2019] выполнен опрос населения с целью получения информации о раздражении от шума автомобилей вблизи жилых домов с наличием и отсутствием зеленых насаждений. Выявлено преувеличение гражданами положительных эффектов в снижении уровня шума зелеными насаждениями в среднем на 10 дБА, основанное на личном восприятии. Значительное число респондентов (55%) переоценили фактическую способность растений ослаблять шум. Так, исследование велосипедной дорожки на насыпи, граничащей с главной кольцевой дорогой, с большим количеством видимой

растительности и с измеренными эквивалентными уровнями звукового давления, превышающими 70 дБА, показало, что 45% респондентов оценили эту территорию как «спокойную». Кроме того, выявлены случаи, когда удаление одного ряда деревьев, граничащих с автомобильной дорогой из соображений технического обслуживания и безопасности, привело к увеличению жалоб на шум со стороны жителей, однако такое действие не сопровождалось фактическим повышением уровня звукового давления, что было подтверждено инструментальными измерениями.

Многие отечественные ученые исследовали проблему шумового загрязнения от автомобильного транспорта в городах. Так, например, авторами [Милина и др., 2020] выполнен теоретический обзор источников акустического загрязнения, способов снижения уровня шума, а также существующих конструкций шумозащитных полос из зеленых насаждений на основе ранее проведенных исследований отечественных и зарубежных ученых. В исследовании [Цыганков, Кумекина, 2015] предложена методика расчета акустического эффекта озеленения внутридворовых пространств с применением основных и декоративных пород деревьев и кустарников. Работы [Абрашкина, Довганюк, 2016; Оказова, 2015; Шимкив, 2017] посвящены анализу участков автомобильных дорог, имеющих разную транспортную нагрузку в Москве, Владикавказе и Абакане соответственно. С помощью натурных измерений проведена оценка шумового загрязнения, а также выявлена способность зеленых насаждений снижать акустическое воздействие в зависимости от ряда факторов: сомкнутости крон деревьев и кустарников, рельефа местности, погодных условий, высоты и плотности городской застройки.

Авторами [Балакин и др., 2016] установлено, что наиболее эффективные шумозащитные посадки формируются при значительных по ширине санитарных разрывах между дорогой и застройкой, при этом растительные массивы рекомендуется расчленять на составные части с учетом дополнительных потерь энергии на пути распространения звука и затухания дифрагирующих звуковых волн, попадающих на большую поверхность зеленых насаждений шириной 25–30 м, состоящих из обособленных рядов деревьев (5–6 рядов) с подлеском и кустарником. Каждый ряд такой полосы дает эффект снижения около 1,8 дБА. В работе [Июффе, Гаврилова, 2018] предложено альтернативное архитектурно-планировочное решение по снижению транспортного шума – зеленые крыши, а также изучены способности шумопоглощения различных древесных и кустарниковых пород на примере г. Петрозаводска.

Учеными [Богуславец, Братошевская, 2020] исследовано вертикальное озеленение зданий как способ защиты от шума на примере г. Краснодара. Проведенные расчеты подтвердили эффективность применения модульных систем озеленения в строительстве, позволяющих обеспечить шумовую безопасность урбанизированных территорий и значительно снизить экологические риски, оказывающие комплексное негативное воздействие на здоровье человека в городских условиях.

Что касается исследований акустического загрязнения, проводимых в городах Иркутской области и Иркутске в частности, то замеры шума от стационарных источников периодически осуществляют проектные институты при подготовке изыскательской документации и проведении экологической экспертизы по объектам капитального строительства. Исследованиям уровня шума на участках улично-дорожной сети, а также рабочих местах автотранспортных предприятий и медицинских учреждений в городах Иркутской области посвящен ряд работ [Новикова, 2018; 2019]. Однако вопросы, связанные с оценкой эффективности полос зеленых насаждений как способа борьбы с шумовым загрязнением в городах Иркутской области, ранее не рассматривались.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки акустической эффективности зеленых насаждений осенью – зимой 2019–2020 гг. осуществлялись инструментальные измерения уровня шума на ключевых участках ул. Лермонтова (Академгородок), расположенной фактически в центре г. Иркутска. Улица является практически единственным проездом между разными районами города. Выбор территорий исследования обусловлен наличием массивов зеленых полос вблизи автодороги с интенсивным транспортным потоком. Измерения уровня шума производились на участках дорог в зоне, примыкающей к линейным источникам шумового загрязнения, и зоне звуковой тени, одновременно в «створе» насаждений и рядом – без насаждений с целью выявления эффективности зеленых полос.

Для измерения уровня шума на территориях с зелеными насаждениями в г. Иркутске были выбраны ключевые участки (рис. 2) на ул. Лермонтова рядом с жилыми домами и автомобильной дорогой:

- зеленые насаждения на ключевом участке № 1 (рис. 3) представляют собой ели высотой 2–5 м и лиственницы высотой до 10 м, высаженные в два ряда;
- зеленые насаждения на ключевом участке № 2 (рис. 4) представляют собой ели высотой 5–10 м и лиственницы высотой до 15–20 м, высаженные в два ряда;



Наряду с замерами уровня шума выполнялись натурные наблюдения за составом и интенсивностью движения автотранспортных средств во всех направлениях в утренние (7.00–9.00) и вечерние (17.00–19.00) часы пик с помощью видеозаписывающего устройства. Полученные видео дешифровались при просмотре на персональном компьютере вручную. Данные мониторинга акустического загрязнения были обработаны с помощью методов математической статистики и представлены в табличном и графическом виде.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Уровень уличного шума зависит от интенсивности, скорости и характера транспортного потока, планировочных решений, высоты и плотности застройки, покрытия проезжей части и наличия зеленых насаждений. Оценка состояния улично-дорожной сети показывает, что рассмотренный участок автомобильной дороги г. Иркутска характеризуется двумя полосами движения, ширина проезжей части составляет не более 15 м и не соответствует возрастающей нагрузке. Интенсивность движения транспортного потока по автодороге, расположенной вблизи зеленых насаждений на ул. Лермонтова, согласно проведенному подсчету, составила 1430 автомобилей / час пик. Грузовые и легковые автомобили создают на территории населенных пунктов повышенный шумовой режим. Присутствие в общем транспортном потоке на ул. Лермонтова грузовых автомобилей, особенно большегрузных с дизельными двигателями, приводит к повышению уровня шума на 10 дБА.

Измерения проводились одновременно с помощью анализатора шума и вибрации «Октава-111» и шумомера «Testo 816» на участках с зелеными насаждениями и без них на предмет установления ошибки и выявления эффективности зеленых полос на удалении 1, 7,5, 15 и 20 м от автомобильной дороги. Выбранные значения обусловлены максимальным расстоянием расположения полос зеленых насаждений на каждом из рассматриваемых ключевых участков от дороги. Общее количество проведенных измерений на данных участках равно 16. Здания расположены на расстоянии ~10 м от оси первой полосы движения автотранспортных потоков.

На ключевом участке № 1 с зелеными насаждениями уровень шума превышал дневные нормы ПДУ шума [Постановление Главного государственного санитарного врача..., 2021] в среднем на 15,7 дБА при удалении на 1 м от автодороги, на том же удалении от дороги без зеленых насаждений уровень шума превышал норматив на 20,8 дБА. На ключевом участке № 2 с зелеными насаждениями

уровень шума превышал установленный ПДУ шума на 19,1 дБА при удалении на 1 м от автодороги, на том же удалении от дороги на территории без насаждений – на 23,8 дБА. На ключевом участке № 3 с зелеными насаждениями уровень шума превышал норматив на 15,2 дБА при удалении на 1 м от автодороги, на том же расстоянии от дороги без насаждений – на 19,4 дБА (табл. 2). Полосы зеленых насаждений показали эффективность в снижении уровня шума на расстоянии 7,5 м от автомобильной дороги при их сравнении с минимальными значениями на ключевом участке № 1 в 5,2 дБА, на расстоянии 15,0 м от автодороги на ключевом участке № 2 – в 7 дБА и на удалении 20,0 м от дороги на ключевом участке № 3 – в 17 дБА.

Из результатов акустических измерений можно сделать вывод, что эквивалентные уровни звука вблизи первого эшелона жилых зданий превышены на 15,2–23,8 дБА согласно установленным санитарным нормам для дневного времени суток [Постановление Главного государственного санитарного врача..., 2021] на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам. В условиях застройки, характерной для выбранных участков территории Иркутска с ее малоэтажными плотно застроенными зданиями, шириной тротуаров порядка 2 м и высокой интенсивностью движения автотранспорта, шум, возникающий на проезжей части автомобильной дороги, распространяется не только на территорию первого эшелона жилых зданий, но и вглубь жилой застройки.

Таким образом, рядовые посадки деревьев с открытым подкронным пространством оказывают незначительное влияние на улучшение шумового режима в Иркутске. Поглощающий эффект зеленых насаждений наиболее выражен на частотах свыше 1000 Гц: затухание звука на этих частотах обусловлено рассеянием и поглощением звука листьями, ветками и стволами деревьев. Однако уровни шума транспортных потоков соответствуют в основном низким частотам.

Результаты расчетов статистических характеристик уровня шума, зарегистрированного на ключевых участках ул. Лермонтова в ходе инструментальных измерений, представлены в табл. 2. Анализ средних квадратических отклонений и коэффициентов вариации (<17%) показал удовлетворительную статистическую однородность как на территориях с полосами зеленых насаждений, так и на территориях без них. Таким образом, статистическая обработка позволяет сделать выводы о степени однородности данных, полученных во время проведения натурных обследований ключевых участков, а также корректности зафиксированного уровня звукового давления в Иркутске.

**Результаты проведенных измерений уровня шума на ключевых участках  
ул. Лермонтова в Иркутске**

Прибор измерения / расстояние от дороги, м	Максимальное значение, дБА	Среднее значе- ние, дБА	Минимальное значение, дБА	Среднее квадрати- ческое отклонение, дБА	Коэффициент вариации, %
<b>Участок № 1 с зелеными насаждениями</b>					
«Октава–111» / 1,0	83,0	70,7	60,2	1,4	1,0
«Testo 816» / 7,5	80,0	69,0	49,8	0,7	0,9
<b>Участок № 1 без зеленых насаждений</b>					
«Октава–111» / 1,0	91,2	75,8	63,9	0,7	1,9
«Testo 816» / 7,5	88,2	71,9	61,3	0,7	1,0
<b>Участок № 2 с зелеными насаждениями</b>					
«Октава–111» / 1,0	88,5	74,1	65,0	1,0	1,3
«Testo 816» / 15,0	66,3	57,1	48,0	0,5	0,8
<b>Участок № 2 без зеленых насаждений</b>					
«Октава–111» / 1,0	90,6	78,8	66,9	3,7	4,6
«Testo 816» / 15,0	70,6	59,5	48,4	3,7	6,1
<b>Участок № 3 с зелеными насаждениями</b>					
«Октава–111» / 1,0	85,2	70,2	57,2	0,6	0,9
«Testo 816» / 20,0	79,8	58,9	38,1	0,8	1,4
<b>Участок № 3 без зеленых насаждений</b>					
«Октава–111» / 1,0	86,8	74,4	61,1	0,7	1,0
«Testo 816» / 20,0	77,3	69,3	61,3	0,1	0,1

### ВЫВОДЫ

Результаты проведенных инструментальных замеров на ключевых участках ул. Лермонтова позволяют сделать вывод о невысокой эффективности полос зеленых насаждений: акустическая эффективность деревьев и кустарников на обследованных участках находится в пределах 9,7 дБА в сравнении с минимальными значениями уровня шума, зарегистрированными на территории исследования. Существующей эффективности полос зеленых насаждений недостаточно для того, чтобы довести уровень шума до установленного санитарного норматива (55 дБА) на всем протяжении территории, расположенной за насаждениями. На всех ключевых участках средний (эквивалентный) уровень превышал дневные нормы ПДУ шума в среднем на 15,2–23,8 дБА.

Несмотря на выявленное незначительное подавление зелеными насаждениями автотранспортного шума, положительного эффекта можно достичь при размещении полос насаждений одновременно вблизи источников шума и защищаемых объектов. Насаждения целесообразно конструировать многорядными. Посадки хвойных пород деревьев эффективнее лиственных снижают шум в течение всего года, однако необходимо учитывать, что в город-

ских условиях они часто плохо растут и поэтому их применение ограничено. Защитные лесополосы следует формировать с обеспечением плотного прижима кроны деревьев между собой и заполнением пространства под кронами до поверхности земли кустарниками, высота деревьев при этом должна быть не менее 5–8 м, чего не наблюдается на исследуемых участках ул. Лермонтова. Кроме того, в некоторых районах Иркутска автомобильные дороги близко прилегают к жилой застройке, что во все исключает возможность использования на этих участках полос зеленых насаждений. В связи с этим следует проводить:

– административно-организационные мероприятия, позволяющие бороться с шумовым загрязнением окружающей среды посредством дифференциации автомобильных дорог и улиц по их назначению, составу и скорости движения транспортных потоков;

– комплекс градостроительных и инженерно-технических мероприятий, таких как функциональное зонирование – выделение рекреационной, селитебной зон с целью их отделения от территорий с повышенной акустической нагрузкой, сооружение объездных дорог, возведение домов со специальной архитектурной структурой, которая предусматрива-

ет их ориентацию относительно источников шума, а также применение повышенной звукоизоляции.

Таким образом, исследование способности деревьев и кустарников к шумопоглощению позволит в будущем грамотно планировать посадку зеленых

насаждений на придорожных территориях в Иркутске и городах Иркутской области в целом, а также решать проблему шумового загрязнения альтернативными методами в местах, где создание дополнительного озеленения не представляется возможным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрашкина А.С., Довганюк А.И.* Снижение уровня шумового загрязнения с помощью живых изгородей // Вестник ландшафтной архитектуры. 2016. № 7. С. 3–5.
- Балакин В.В., Сидоренко В.Ф., Сидоренко И.В.* Комплексная оценка средозащитного воздействия линейно-полосных структур зеленых насаждений на городских дорогах и улицах // Вестник Волгоградского гос. архитектурно-строительного ун-та. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 44–2(63). С. 19–32.
- Богуславец Е.А., Братошевская В.В.* Вертикальное озеленение зданий как метод защиты от шумового загрязнения на урбанизированных территориях // Вестник науки. 2020. Т. 1. № 5(26). С. 84–87.
- Исупова М.А., Шаронов А.В.* Развитие системы зеленых насаждений г. Воронежа // Вестник Пермского ун-та. 2011. № 1. С. 205–209.
- Медицина труда и промышленная экология. Научно-практический рецензируемый журнал Роспотребнадзора. М.: ГУ НИИ медицины труда РАМН, 2008. № 8. 41 с.
- Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения. Минтранс России № ОС-362-р от 21.04.2003. 97 с.
- Методы контроля. Физические факторы. Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях. Методические указания (МУК 4.3.2194–07). М., 2007. 10 с.
- Милина М.Ю., Тарусова М.С., Васильева В.В., Ставцева А.А.* Роль зеленых насаждений в защите от транспортного шума в городах // Молодежь и наука: шаг к успеху. 2020. Т. 4. С. 185–187.
- Новикова С.А.* Оценка шумового загрязнения города Иркутска автомобильным транспортом // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 5. С. 111–120. DOI: 10.31857/S2587-556620195111-120.
- Новикова С.А.* Превышение санитарных норм по шуму от автотранспорта в городах Иркутск и Ангарск (Иркутская агломерация) // Вестник Российского ун-та дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 4. С. 409–418. DOI: 10.22363/2313-2310-2018-26-4-409-418.
- Пчелин В.И.* Дендрология. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 520 с.
- Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместе с «СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы...») (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 г. № 62296).
- Цыганков В.В., Кумекина В.В.* Методика расчета акустической эффективности проектируемых внутриквартальных шумозащитных зеленых насаждений // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4(12). С. 88–92.
- Шимкив А.В.* Зеленые насаждения, как основной метод борьбы с шумом в городе Абакане // Символ науки. 2017. Т. 2. № 2. С. 120–123.
- Herni H., Ramdzani A., Abang A.A.A., Jailani M.N.* Effectiveness of existing noise barriers: comparison between vegetation, concrete hollow block, and panel concrete, *Procedia Environmental Sciences*, 2015, no. 30, p. 217–221, DOI: 10.1016/j.proenv.2015.10.039.
- Horoshenkov K.V., Khan A., Benkreira H., Yang H., Cheal C., Smyrnova J., Kang J.* Acoustical properties of living plants, *Proceedings of the Institute of Acoustic*, 2012, no. 34, p. 68–75.
- Horoshenkov K.V., Khan A., Benkreira H.* Acoustic properties of low growing plants, *Journal of the acoustical society of America*, 2013, no. 133:5, p. 2554–2565.
- Klingberg J., Broberg M., Strandberg B., Thorssond P., Pleijel H.* Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure – A case study in Gothenburg, Sweden, *Science of The Total Environment*, 2017, no. 599–600, p. 1728–1739.
- Renterghem T.V., Botteldooren D.* View on outdoor vegetation reduces noise annoyance for dwellers near busy roads, *Landscape and Urban Planning*, 2016, no. 148, p. 203–215.
- Renterghem T.V.* Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise, *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, no. 40, p. 133–144.
- Электронные ресурсы*
- Инвестиционный паспорт г. Иркутска. URL: <http://www.irkutsk.ru> (дата обращения 10.07.2020).
- Июффе А.О., Гаврилова О.И.* Зеленые растения и зеленые крыши как способ борьбы с шумовым загрязнением // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4(51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenye-rasteniya-i-zelenye-kryshi-kak-sposob-borby-s-shumovym-zagryazneniem/viewer> (дата обращения 10.07.2020).
- Оказова З.П.* Шумовое загрязнение как одна из экологических проблем современного города // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=21364> (дата обращения 10.07.2020).
- Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/30710.htm> (дата обращения 10.07.2020).

Поступила в редакцию 17.08.2020

После доработки 15.09.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## EFFECT OF GREEN SPACES ON THE REDUCTION OF NOISE FROM ROAD TRAFFIC FLOWS IN IRKUTSK

S.A. Novikova<sup>1</sup>, D.N. Martynov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Irkutsk State Transport University, Faculty of Railway Construction, Department of Technosphere Safety, Senior Lecturer; e-mail: eco-science@mail.ru*

<sup>2</sup>*Immanuel Kant Baltic Federal University, Faculty of Ecology and Nature Management, Department of Geography, Nature Management and Spatial Development, Master's student; e-mail: razerdazer@gmail.com*

The work is devoted to the assessment of the efficiency of green belts on road sections in the city of Irkutsk. For this purpose video surveillance of the composition and traffic intensity of vehicles was carried out during rush hours. Sound pressure levels were measured in areas with and without green spaces located along highways, using sound level meters. The obtained results were compared with the prescribed sanitary norms of permissible noise loads. Statistical characteristics of the noise level recorded in key areas were calculated. The analysis of the results obtained made it possible to reveal the excess of acoustic standards established in the Russian Federation, and the ability of investigated strips of green spaces to reduce the level of traffic noise by an average of 9,7 dBA. It was found that green spaces of the key areas under study are not sufficiently efficient to ensure the noise level that meets the established sanitary standards (55 dBA). Analysis of the data obtained during field measurements of the sound level at various distances from the road with different traffic intensity indicates the acoustic load on the territory exceeding the daytime hygienic standard by 15,2–23,8 dBA. It was found that traffic flows create a low frequencies noise level, but green spaces achieve the greatest absorption effect at high frequencies (above 1000 Hz). The noise generated on the carriageway propagates both to the first echelon of houses and deeper into residential buildings. Recommendations for reducing the sound pressure level to ensure the acoustic well-being of the population in residential areas adjacent to highways are proposed. Increasing the efficiency of green spaces throughout the territory subject to acoustic load should be achieved by placing multi-row tree belts near both noise sources and protected objects. A whole range of urban planning, engineering and administrative and organizational measures is necessary to reduce acoustic pollution of the environment by application of traditional and alternative methods on road sections.

**Keywords:** vehicles, noise pollution, sanitary standards, sound level meters

### REFERENCES

- Abrashkina A.S., Dovganjuk A.I. Snizhenie urovnja shumovogo zagryaznenija s pomoshh'ju zhivyh izgorodej [Reducing the level of noise pollution using hedgegrows], *Vestnik landshaftnoj arhitektury*, 2016, no. 7, p. 3–5. (In Russian)
- Balakin V.V., Sidorenko V.F., Sidorenko I.V. Kompleksnaja ocenka sredozashhitnogo vozdejstviya linejno-polosnyh struktur zelenyh nasazhdenij na gorodskih dorogah i ulicach [Comprehensive assessment of the environmental protection impact of linear-strip structures of green spaces on city roads and streets], *Vestnik Volgogradskogo gos. arhitekturno-stroitel'nogo un-ta, Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, no. 44–2(63), p. 19–32. (In Russian)
- Boguslavac E.A., Bratoshevskaja V.V. Vertikal'noe ozelelenie zdaniy kak metod zashhity ot shumovogo zagryaznenija na urbanizirovannyh territorijah [Vertical gardening of buildings as a method of protection against noise pollution in urbanized areas], *Vestnik nauki*, 2020, vol. 1, no. 5(26), p. 84–87. (In Russian)
- Cyganok V.V., Kumekina V.V. Metodika rascheta akusticheskoj jeffektivnosti proektiruemyh vnutrikvartal'nyh shumozashhitnyh zelenyh nasazhdenij [Procedures of calculating the acoustic efficiency of projected intra-quarter noise-protective green spaces], *Biosfernaja sovremistost': chelovek, region, tehnologii*, 2015, no. 4(12), p. 88–92. (In Russian)
- Herni H., Ramdzani A., Abang A.A.A., Jailani M.N. Effectiveness of existing noise barriers: comparison between vegetation, concrete hollow block, and panel concrete, *Procedia Environmental Sciences*, 2015, no. 30, p. 217–221, DOI: 10.1016/j.proenv.2015.10.039.
- Horoshenkov K.V., Khan A., Benkreira H., Yang H., Chelal C., Smyrnova J., Kang J. Acoustical properties of living plants, *Proceedings of the Institute of Acoustic*, 2012, no. 34, p. 68–75.
- Horoshenkov K.V., Khan A., Benkreira H. Acoustic properties of low growing plants, *Journal of the acoustical society of America*, 2013, no. 133:5, p. 2554–2565.
- Isupova M.A., Sharapov A.V. Razvitie sistemy zelenyh nasazhdenij g. Voronezh [Development of the system of green spaces in Voronezh], *Vestnik Permskogo un-ta*, 2011, no. 1, p. 205–209. (In Russian)
- Klingberg J., Broberg M., Strandberg B., Thorsson P., Pleijel H. Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure – A case study in Gothenburg, Sweden, *Science of The Total Environment*, 2017, no. 599–600, p. 1728–1739.
- Medicina truda i promyshlennaja ekologija* [Occupational medicine and industrial ecology], Nauchno-prakticheskij recenziruemyj zhurnal Rospotrebnadzora, Moscow, GU NII mediciny truda RAMN, 2008, no. 8, 41 p. (In Russian)
- Metodicheskie rekomendacii po ocenke neobhodimogo snizhenija zvuka u naseleennyh punktov i opredeleniju trebuemoj akusticheskoj jeffektivnosti ekranov s uchedom zvukopogloshhenija* [Guidelines for assessing the required sound reduction in settlements and determining

- the required acoustic efficiency of screens, taking into account sound absorption], Ministry of Transport of Russia, no. IS-362-r dated 21.04.2003, 97 p. (In Russian)
- Metody kontrolja. Fizicheskie faktory. Kontrol' urovnja shuma na territorii zhiloy zastrojki, v zhilyh i obshhestvennyh zdaniyah i pomeshhenijah [Methods of control. Physical factors. Control of the noise level on the territory of residential buildings, in residential and public buildings and premises], Metodicheskie ukazaniya (MUK 4.3.2194–07), Moscow, 2007, 10 p. (In Russian)
- Milina M.Ju., Tarusova M.S., Vasil'eva V.V., Stavceva A.A. Rol' zelenyh nasazhdenij v zashhite ot transportnogo shuma v gorodah [The role of green spaces for protection against traffic noise in cities], *Molodezh' i nauka: shag k uspehu*, 2020, vol. 4, p. 185–187. (In Russian)
- Novikova S.A. Ocenka shumovogo zagryaznenija goroda Irkutsk avtomobil'nym transportom [Assessment of the noise pollution of the city of Irkutsk by road transport], *Izvestija RAN. Serija geograficheskaja*, 2019, no. 5, p. 111–120, DOI: 10.31857/S2587-556620195111–120. (In Russian)
- Novikova S.A. Prevyszenie sanitarnyh norm po шуму ot avtotransporta v gorodah Irkutsk i Angarsk (Irkutskaja aglomeracija) [Exceeding sanitary standards for noise from vehicles in the cities of Irkutsk and Angarsk (the Irkutsk agglomeration)], *Vestnik Rossijskogo un-ta družby narodov. Serija: Ekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*, 2018, vol. 26, no. 4, p. 409–418, DOI: 10.22363/2313-2310-2018-26-4-409-418. (In Russian)
- Pchelin V.I. *Dendrologija* [Dendrology], Joshkar-Ola, MarGTU Publ., 2007, 520 p. (In Russian)
- Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28.01.2021 g. no. 2, Ob utverzhenii sanitarnyh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 “Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya” (vmeste s SanPiN 1.2.3685-21. Sanitarnye pravila i normy...) [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of January 28, 2021, no. 2, On the approval of sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21, “Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans”]. (In Russian)
- Renterghem T.V. Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise, *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, no. 40, p. 133–144.
- Renterghem T.V., Botteldooren D. View on outdoor vegetation reduces noise annoyance for dwellers near busy roads, *Landscape and Urban Planning*, 2016, no. 148, p. 203–215.
- Shimkiv A.V. Zelenye nasazhdenija kak osnovnoj metod bor'by s шумом v gorode Abakane [Green spaces as a main method of noise control in the city of Abakan], *Simvol nauki*, 2017, vol. 2, no. 2, p. 120–123. (In Russian)
- Web sources*
- Investicionnyj passport g. Irkutskaja* [Investment passport of the city of Irkutsk], URL: [irkutsk.ru](http://irkutsk.ru) (access date 10.07.2020). (In Russian)
- Ioffe A.O., Gavrilova O.I. Zelenye rasteniya i zelenye kryshi kak sposob bor'by s шумовым zagryazneniem [Green plants and green roofs as a way to combat noise pollution], *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2018, no. 4(51), URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zelenye-rasteniya-i-zelenye-kryshi-kak-sposob-borby-s-shumovym-zagryazneniem/viewer> (access date 10.07.2020). (In Russian)
- Okazova Z.P. Shumovoe zagryaznenie kak odna iz jekologicheskikh problem sovremennogo goroda [Noise pollution as an environmental problem of a modern city], *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2015, no. 4, URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=21364> (access date 10.07.2020). (In Russian)
- Pogoda i klimat* [Weather and climate], URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/30710.htm> (access date 10.07.2020). (In Russian)

Received 17.08.2020

Revised 15.09.2021

Accepted 27.12.2021

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРОДСКОГО УЧАСТКА РЕКИ РАЗДАН (Г. ЕРЕВАН) ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Г.Г. Бабаян

Центр эколого-ноосферных исследований НАН РА, Республика Армения, 0025, г. Ереван, ул. Абовяна, 68, координатор аналитических работ, д-р тех. наук; e-mail: gayane.babayan@cens.am

Оценено качество воды реки Раздан в пределах города Ереван по гидрохимическим показателям с использованием канадского индекса качества воды (CCME WQI) и экологических (региональных) нормативов Республики Армения (функционалирование экосистем, рыбоводство и защита). Гидрохимические наблюдения проводились два раза в год (период паводка и межени) на восьми стационарных пунктах в 2012–2018 гг. по 21 показателю. По значению индекса вода реки классифицирована на пять категорий качества: отличное (95–100), хорошее (80–94), удовлетворительное (60–79), неудовлетворительное (45–59) и плохое (0–44).

Показано, что вниз по течению реки качество воды ухудшается: значение индекса качества воды на входе в город (пункт Нг<sub>w</sub>-6) составило 41, на выходе из него (Нг<sub>w</sub>-8) – 37. Наблюдается также ухудшение качества в последние годы – с 47 в 2012 г. до 37 в 2018 г. По коэффициенту детерминации степень (амплитуда) отклонения от нормативов (F<sub>3</sub>) и число превышающих нормативы показателей (F<sub>1</sub>) в большей степени влияют на конечный результат индекса, составляя 82 и 80% соответственно. В наибольшей степени ухудшение качества воды обусловлено минеральными соединениями азота (24%), хлоридами (24%), фосфатами (23%), натрием (14%), сульфатами (6%), тяжелыми металлами (2%).

По результатам исследований заключено, что вода в реке Раздан в пределах Еревана в целом плохого качества. Именно антропогенные факторы, такие как изменение естественного гидрологического режима, регулирование стока, одновременность и неравномерность поступления загрязняющих веществ из рассеянных и точечных источников загрязнения, определяют аномалию распределения гидрохимических показателей по станциям отбора проб городского участка реки Раздан в различные годы.

Предложено при планировании дальнейших мониторинговых исследований усилить контроль качества воды в пунктах Нг<sub>w</sub>-1, Нг<sub>w</sub>-6 и Нг<sub>w</sub>-8, уделив особое внимание определению репрезентативных показателей загрязнения, таких как аммиачный, нитритный и нитратный азот, фосфаты, показатели солевого состава воды.

**Ключевые слова:** гидрохимические наблюдения, городская река, оценка качества воды

### ВВЕДЕНИЕ

Негативные последствия урбанизации территорий проявляются в ухудшении состояния всей окружающей природной среды и особенно ощутимо сказываются на экологическом состоянии городских рек [Перельман и др., 1999]. Река Раздан имеет исключительно важное народно-хозяйственное и рекреационное значение для Армении. Ее бассейн является наиболее густонаселенной территорией (7 городов и более 30 сел) и испытывает влияние комплекса антропогенных факторов [Национальное..., 2008–2018]. В наибольшей степени такое влияние сказывается на 36-километровом участке реки в пределах Еревана. Развитие миллионного города в течении многих лет сопровождалось нарушением природно-экологической обстановки в бассейне реки и интенсивным точечным и рассредоточенным загрязнением воды [Сагателян и др., 2017]. Источниками загрязняющих веществ являются почвы (эрозия, поверхностный сток, дренажные воды, атмосферные осадки), ливневые воды с территории города, строительство, до-

рожный транспорт и др. Среди прямых сбросов можно отметить неочищенные хозяйственно-фекальные и промышленные сточные воды централизованного водоотведения, дождевой канализации, промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды систем централизованного и нецентрализованного водоотведения и др. [Сагателян и др., 2017; Национальное..., 2008–2018].

В Армении начиная с 2011 г. широко используются экологические (региональные) нормативы поверхностных вод, которые включают пять классов водопользования для рек 14 крупных речных бассейнов Республики, в том числе ереванского участка реки Раздан [О создании..., 2004; Об определении..., 2011]. Каждый класс характеризуется сравнительно небольшим числом конкретных загрязняющих веществ, для каждого из которых установлены предельно-допустимые значения. Они рассчитаны по результатам наблюдений государственной службы мониторинга природной среды за десятилетний период (среднестатистические кон-

центрации показателей) и, по сути, являются фоновыми для данного водного объекта или его участка [Центр мониторинга..., 2009–2019]. В Республике не установлен порядок расчета комплексного индекса загрязненности поверхностных вод. В литературе приводится множество методов оценки качества воды с использованием индексов, которые количественно определяют степень отклонения ряда показателей от целевых или фоновых концентраций [Rickwood et al., 2009; Usman et al., 2018; Alam et al., 2007; Tyagi et al., 2013; Mehmet et al., 2014]. Среди них в последние десятилетия широкое распространение получил индекс качества воды (*CCME WQI*), разработанный канадским министерством окружающей среды [Saffran et al., 2001; Khan et al., 2003; Halliwell et al., 2006]. Индекс качества воды – это математический инструмент, используемый для преобразования больших количеств гидрохимических данных в одно число с учетом трех факторов ( $F_1, F_2, F_3$ ) и последующей классификацией на пять категорий – от «отличного» до «плохого» качества с числовыми значениями 0–100. Первый фактор оценивает число превышающих нормы показателей, второй – число определений, превышающих нормы, третий – степень (амплитуду) отклонения от норм. Одним из преимуществ метода является также свободный выбор гидрохимических показателей [Saffran et al., 2001; Halliwell et al., 2009; Bilgin et al., 2018]. Именно этот метод рекомендует Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) для оценки качества питьевой воды, а также Национальная служба мониторинга Армении – для оценки загрязненности поверхностных вод [Drinking..., 2007; Центр мониторинга..., 2009–2019]. Результаты исследований по искомой тематике на репрезентативном гидрохимическом материале, в том числе и посвященных опыту использования канадского метода, были опубликованы также российскими авторами [Алексеевский и др., 2016; Заславская и др., 2019].

Целью настоящих исследований является оценка пространственно-временной изменчивости загрязненности воды реки Раздан в черте города Еревана с использованием индекса качества воды (*CCME WQI*) и экологических (региональных) нормативов. В условиях недостаточной изученности городского участка реки организация гидрохимических наблюдений является первым и наиболее важным шагом для сохранения и восстановления экосистемы городской реки.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Река Раздан берет начало из высокогорного озера Севан, в верховьях течет по горной долине на

юг к Еревану, в низовьях – по Араратской равнине и на границе с Турцией впадает в реку Аракс. Площадь бассейна составляет 2565 км<sup>2</sup>; длина – 146 км; основные статьи водного баланса (речной сток) – 733, атмосферные осадки – 1572, испарение – 876 млн м<sup>3</sup>/год [Национальный..., 2007]. Река относится к типу горных водотоков со смешанным питанием – подземным, снежным и дождевым. Для водного режима характерны фазы весеннего половодья, летне-осенней и зимней межени. В верховьях реки доминирует влияние озера Севан и поэтому вода более минерализована, чем в низовьях. В естественных условиях в период весеннего половодья вниз по течению реки (под воздействием притока реки Мармарик) минерализация воды снижается, а в межень соответствует минерализации озерной воды и остается примерно постоянной до входа в город [Национальный..., 2007; Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973].

В черте Еревана (площадь – 223 км<sup>3</sup>, высота – 900–1300 м над уровнем моря, население – 1,18 млн человек, климат – резко континентальный) антропогенное влияние на реку усиливается [Национальное..., 2008–2018; Национальный..., 2007]. Этому способствуют распространение водонепроницаемых вулканогенно-осадочных пород в бассейне реки и большие уклоны склонов. Поверхностный дождевой и паводковый сток с городских территорий, а также близлежащих сельскохозяйственных угодий и приусадебных участков без очистки через открытые системы (кюветы, каналы, лотки дорог) отводится непосредственно в реку [ЗАО «Веолия Джур», 2015–2019]. В Ереване находится около 65% промышленных и коммунально-бытовых предприятий Республики, среди которых «Молибден продакшн», «Чистое железо», «Полипласт», «Наирит», «АрменАл», Ереванский коньячный завод, Ереванская ТЭЦ (550 тыс. кВт) и др. [Национальное..., 2008–2016]. Загрязняют воду частично очищенные сточные воды централизованного водоотведения: на Ереванскую станцию аэрации поступают коммунальные и производственные стоки Еревана, Чаренцавана, Абовяна и Бюрегавана. В последние годы станция практически не работала, и только с 2019 г. начаты работы по ее реконструкции [ЗАО «Веолия Джур», 2015–2019]. В некоторых местах в реку отдельными выпусками поступают канализационные воды, которые не отводятся централизованными системами. Непосредственно в прибрежной зоне городского участка реки находятся ГЭС, насосные станции, зоны отдыха, кафе и рестораны. На берегах реки много заболоченных участков и скоплений бытового мусора.

Гидрохимические наблюдения проводились на восьми стационарных пунктах в два гидрологи-

ческих сезона (межень и половодье) за 7-летний период 2012–2018 гг. по 21 гидрохимическому показателю: водородный показатель (рН), электропроводность (ЕС),  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$  (рис. 1).

До входа в Ереван (пункт  $\text{Hr}_w-1$ ) река испытывает влияние комплекса антропогенных факторов: каскада гидроэлектростанций и системы оросительных каналов, Разданского и Мармарикского водохранилищ, более загрязненных вод притока реки Мармарик (в бассейне реки находятся Анкаванское медно-молибденовое и золото-железоносное, Мехрадзорское полиметаллическое и золотоносное ме-

сторождения), неочищенных сточных вод выпусков централизованного водоотведения городов Севан, Раздан и Цахкадзор, точечного и диффузионного загрязнения городов Чаренцаван, Абовян, Бюрегаван и более 20 сел [ЗАО «Армводоканал», 2005–2014; Национальное..., 2008–2018]. Пункты  $\text{Hr}_w-2$ ,  $\text{Hr}_w-3$ ,  $\text{Hr}_w-4$ ,  $\text{Hr}_w-5$  и  $\text{Hr}_w-6$  находятся в различных районах и испытывают влияние городских застроек различной интенсивности. До пункта  $\text{Hr}_w-7$  в реку поступают более загрязненные воды притока реки Гетар, после которого сток реки зарегулирован Ереванским водохранилищем. В пункте  $\text{Hr}_w-8$  река принимает сточные воды Ереванской станции аэрации [Бабаян, 2007; ЗАО «Веолиа Джур»..., 2015–2019].

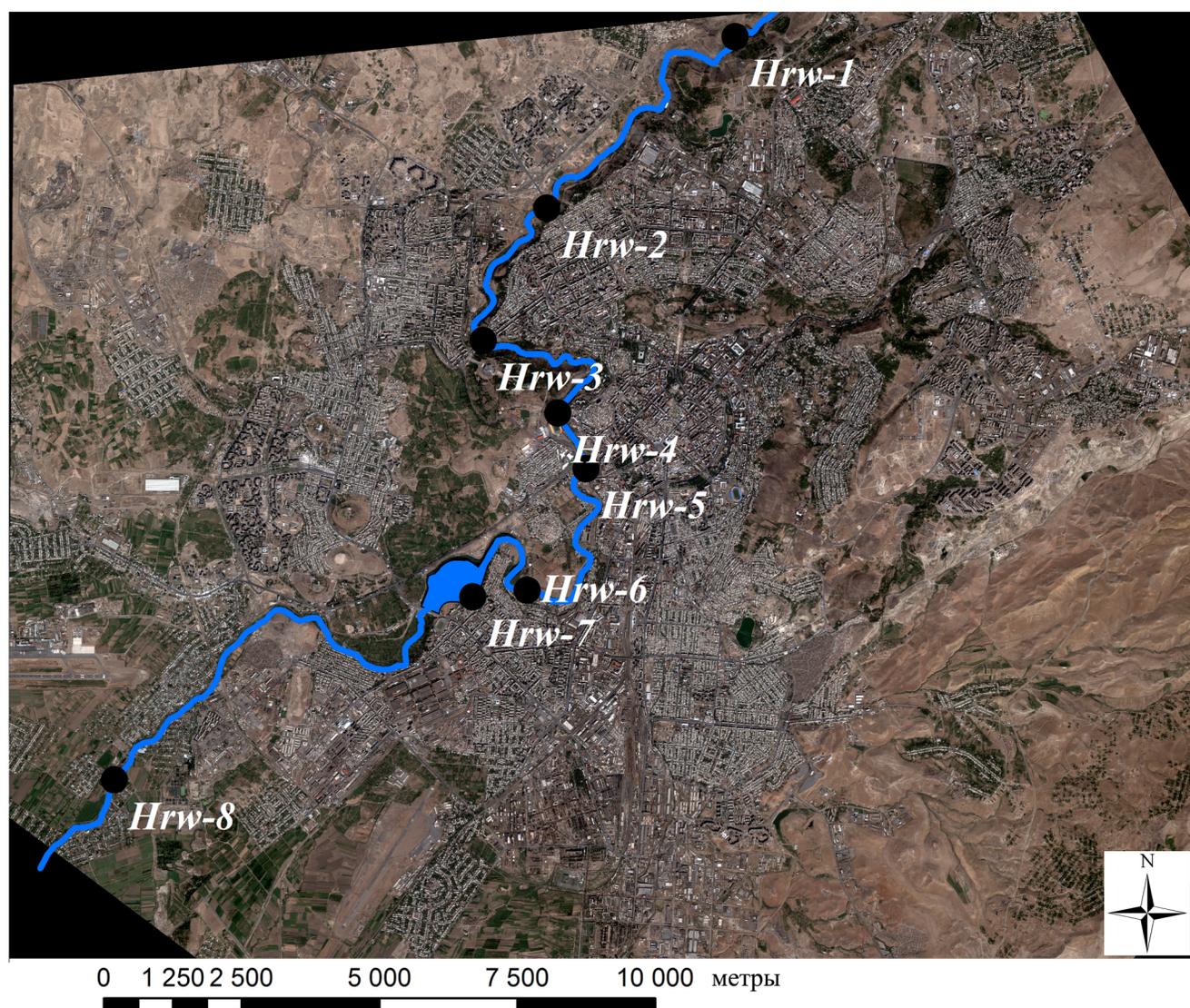


Рис. 1. Схема пунктов отбора проб воды в реке Раздан в пределах Еревана

Fig. 1. Scheme of water sampling points on the Hrazdan River within the city of Yerevan

Пробы воды отбирались из центральных частей реки в 0,5–1,5-литровые новые пластиковые бутыл-

ки из поливинилхлорида (ПВХ). Контроль качества полевых работ осуществлялся анализом повторных

и нулевых (холостых) проб. Нулевая проба (дистиллированная вода) № 1 остается в лаборатории, проба № 2 перевозится без обработки, № 3 обрабатывается (консервируется) при пробоотборе как и основная проба. Пробы доставлялись в лабораторию в течение 1–2 часов. В качестве консерванта для тяжелых металлов использовалась концентрированная азотная, а для фосфатов – серная кислоты (до  $\text{pH} \leq 2$ ). Пробы анализировались в лаборатории Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА (Сертификат 027/Т-029 ИСО/IEC17025-2005) согласно следующим методам анализа: pH – ISO-10523; электропроводность – ISO-7888; мутность – ISO-7027;  $\text{O}_2$  раст – ISO-5813;  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  – ISO-9963-1;  $\text{Cl}^-$  – ISO-9297;  $\text{SO}_4^{2-}$  – ISO-9280;  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – ISO-6059;  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  – ISO-9964-3;  $\text{NH}_4^+$  – ISO-7150-1;  $\text{NO}_3^-$  – ISO-6777;  $\text{NO}_2^-$  – ISO-7890-3;  $\text{PO}_4^{3-}$  – ISO-6878. Тяжелые металлы определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии (Perkin Elmer Analyst 800) с электротермическим атомизатором (Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn – ISO15586:2011). Точность аналитических работ проверена анализом стандартных растворов (стандарт № 9300281) и повторных проб воды ( $n = 3$ ). Погрешность измерений тяжелых металлов составляла (PD%): Cd – 0,58; Co – 1,20; Cr – 1,05; Cu – 1,55; Mo – 1,25; Ni – 2,04; Pb – 2,34; Zn – 5,20; точность (RPD%) – 4,89; 5,25; 1,25; 2,54; 2,52; 5,21; 6,85; 4,03; 6,25% соответственно. Пределы обнаружения прибора составляли: Cd – 0,03; Co – 0,5; Cu – 0,1; Mo – 0,5; Ni – 0,8; Pb – 0,6; Zn – 10 мкг/л.

Методика расчета индекса качества воды позволяет свободный выбор показателей по решению самого исследователя (но не менее четырех взятых 4 раза) [ССМЕ, 2001]. В качестве стандартов использованы действующие в Армении экологические нормы реки Раздан для изученного участка реки II хорошего класса, достаточного для функционирования экосистем, рыбоводства и защиты (далее функционирование экосистем) [Об определении..., 2011].

Индекс качества воды получен путем векторного суммирования трех факторов (сумма квадратов каждого фактора равна квадрату индекса)

$$CQWI = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732}, \quad (1)$$

где  $F_1$  – оценивает число превышающих нормы показателей,  $F_2$  – число определений, превышающих нормы,  $F_3$  – степень (амплитуду) отклонения от норм. Величина 1,732 нормализует полученные значения в диапазоне от 100 до 0; 0 – худшее качество воды, 100 – лучшее. По значению индекса вода классифицируется на пять категорий качества [ССМЕ, 2001]:

отличная:  $CCME\ WQI = 95-100$ ;  
хорошая:  $CCME\ WQI = 80-94$ ;  
удовлетворительная:  $CCME\ WQI = 60-79$ ;  
неудовлетворительная:  $CCME\ WQI = 45-59$ ;  
плохая:  $CCME\ WQI = 0-44$ .

Чтобы оценить, какой из факторов ( $F_1$ ,  $F_2$  или  $F_3$ ) вносит наибольший вклад в индекс, средствами Microsoft Excel проведен регрессионный анализ. По значению коэффициента детерминации определена теснота связи индекса качества воды с каждым из факторов [Дрейпер и др., 2007].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований качества воды реки Раздан по 21 гидрохимическому показателю на восьми постах наблюдения за 2012–2018 гг. приведены в таблице 1.

По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе средней минерализации. Превышение нормативов второго класса наблюдается по многим показателям. В наибольшей степени превышение максимальных концентраций характерно для  $\text{NH}_4^+$  – 100,  $\text{Na}^+$  – 54,  $\text{PO}_4^{3-}$  – 59 раз. Наибольший разброс значений концентраций изученных показателей вокруг среднего по величине коэффициента вариации отмечен для  $\text{NH}_4^+$ , Ni, Pb, Cr,  $\text{PO}_4^{3-}$ . Об отклонении распределения от нормального закона также свидетельствует разница между средними значениями изученных показателей и медианой: наибольшая разница между ними отмечена для Ni, Pb,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ . Для остальных показателей получены низкие значения коэффициентов вариации, а значения медианы практически совпадают со средними концентрациями показателей.

Исходя из полученных результатов, а также поскольку класс качества воды определяется по наихудшему значению [Об определении..., 2011], можно заключить, что вода в реке Раздан в пределах города Еревана плохого качества. Превышение нормативов и выраженную изменчивость концентраций гидрохимических показателей можно объяснить интенсивным загрязнением реки на всем протяжении городского участка.

Для выявления пространственно-временных закономерностей гидрохимических показателей индекс качества воды рассчитан по пунктам наблюдений ( $\text{Hr}_w-1$ – $\text{Hr}_w-8$ ) и по годам наблюдения 2012–2018 гг. (табл. 2, 3).

Уже на входе в город ( $\text{Hr}_w-1$ ) вода реки плохого качества: индекс качества воды составляет 41 (рис. 2А). В следующих четырех пунктах значения индекса качества воды несколько увеличиваются и достигают максимальных в пункте  $\text{Hr}_w-4$  и остаются

ся примерно постоянными до пункта Нw-5 (Нг<sub>w</sub>-2 – 43; Нг<sub>w</sub>-3 – 43; Нг<sub>w</sub>-4 – 45; Нг<sub>w</sub>-5 – 44). На формирование качества воды на этих участках влияет разная плотность городской застройки и интенсивно протекающие процессы самоочищения воды в виду морфологических и гидрологических особенностей

Таблица 1

**Экологические нормативы II класса и статистические гидрохимические показатели качества воды в реке Раздан за 2012–2018 гг.**

Показатель	Единицы измерения	Нормы II класса	N	Среднее	Медиана	Max	Min	δ	C <sub>v</sub>
pH	–	6,5–8,5	112	8,2	8,2	9,7	7,2	0,5	5,6
ЕС	мкСм/см	227,4	112	764,8	748,0	1825,0	10,4	334,7	43,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	20,6	112	80,7	82,3	146,1	0,3	32,3	40,0
Cl <sup>-</sup>	мг/л	8,5	112	108,5	107,1	246,1	0,3	49,2	45,4
Ca <sup>2+</sup>	мг/л	100	112	48	50	84	20	12	27
Mg <sup>2+</sup>	мг/л	50	112	22	23	37	9	6	29
Na <sup>+</sup>	мг/л	10	112	81	72	840	17	80	99
K <sup>+</sup>	мг/л	3,0	112	7,9	6,5	98,3	3,4	8,9	113,6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/л	0,4	112	1,1	0,4	40,0	0,1	4,0	357,0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/л	0,06	112	0,13	0,06	0,79	0,00	0,15	12,83
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	2,5	112	13,4	9,0	69,3	0,4	12,8	95,8
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/л	0,1	112	1,3	0,7	5,9	0,0	1,5	115,4
Cd	мкг/л	1,02	96	–	–	0,23	0,01	–	–
Co	мкг/л	0,28	96	0,20	0,25	1,31	0,03	0,17	88,18
Cr	мкг/л	11,0	96	1,6	1,2	17,2	0,0	1,9	120,1
Cu	мкг/л	23	104	10	8	49	1	7	74
Mn	мкг/л	10	104	20	17	110	0	16	83
Mo	мкг/л	14	96	3	3	10	0	2	77
Ni	мкг/л	11	96	0	0	5	0	1	140
Pb	мкг/л	10,3	96	0,9	0,3	5,9	0,0	1,2	137,1
Zn	мкг/л	100	104	19	14	91	1	17	89

Примечание: N – число проб; концентрации: Max – максимальные, Min – минимальные; δ – стандартное отклонение; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации.

Таблица 2

**Результаты расчета CCME WQI реки Раздан по пунктам отбора проб**

Пункт	Число показателей, превышающих норму (из 21)	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	CCME WQI	Качество воды
Нг <sub>w</sub> -1	12	33,18	24,98	41,84	41,39	Плохое
Нг <sub>w</sub> -2	11	31,64	24,68	43,67	43,32	Плохое
Нг <sub>w</sub> -3	11	31,52	26,10	42,39	43,47	Плохое
Нг <sub>w</sub> -4	11	32,66	24,59	42,75	45,25	Неудовлетворительное
Нг <sub>w</sub> -5	11	31,77	26,09	42,15	43,96	Плохое
Нг <sub>w</sub> -6	13	34,90	25,66	39,44	40,00	Плохое
Нг <sub>w</sub> -7	11	31,35	27,89	40,76	43,57	Плохое
Нг <sub>w</sub> -8	12	31,19	25,24	43,58	37,34	Плохое

реки, таких как перекаты, извилистость русла, скорость течения и др. Вниз по течению, в пункте Нг<sub>w</sub>-6, качество воды ухудшается (40); на этом участке реки жилые застройки и промышленные объекты находятся в непосредственной близости от береговой линии. В Ереванском водохранилище

(Нг<sub>w</sub>-7) качество воды улучшается (44) по причине зарегулирования стока, а в пункте Нг<sub>w</sub>-8 снова значительно ухудшается (37). Этот пункт является наиболее загрязненным, поскольку выше по течению в реку поступают неочищенные сточные воды Ереванской станции аэрации.

Таблица 3

### Результаты расчета *CCME WQI* реки Раздан по годам наблюдений

Год	Число показателей, превышающих норму (из 21)	$F_1$	$F_2$	$F_3$	<i>CCME WQI</i>	Качество воды
2012	10	30,46	27,22	42,32	46,90	Неудовлетворительное
2013	12	33,45	25,79	40,76	42,11	Плохое
2014	10	32,40	25,10	42,50	49,89	Неудовлетворительное
2015	11	32,10	25,90	42,01	44,50	Неудовлетворительное
2016	12	34,85	25,41	39,74	44,48	Неудовлетворительное
2017	13	34,49	21,39	44,13	37,87	Плохое
2018	12	27,41	32,64	39,95	37,01	Плохое

За 7-летний период наблюдений (см. рис. 2Б) наиболее низкие значения индекса и плохое качество воды отмечены в 2018 (37) и 2017 гг. (38), а наиболее высокие значения и неудовлетворительное качество – в 2014 (50) и 2012 гг. (47). В целом, можно отметить выраженную тенденцию ухудшения качества воды в последние годы. При обсуждении причин полученных неудовлетворительных результатов в первую очередь рассматривалось возможное влияние природных условий на гидрохимический режим городского участка реки. Однако, за последние годы ощутимых изменений климатических, морфологических, гидрологических факторов в бассейне реки не наблюдалось. Не изменились также попуски воды из озера Севан, составляя в среднем 214 млн м<sup>3</sup> в год. Поэтому именно антропогенные факторы могут иметь определяющее значение при формировании качества воды городского участка реки. Так, причиной наименее низких значений индекса в пункте Нг<sub>w</sub>-8 в последние годы скорее всего является выход из строя практически всех конструкций Ереванской очистной станции аэрации (в связи с ее реконструкцией работа станции, начиная с 2018 г., приостановлена) и соответственно плохая очистка канализационных (хозяйственно-бытовых и производственных) сточных вод города с миллионным населением и развитой промышленностью. Для остальных пунктов и лет наблюдений отмечена незначительная разница между абсолютными величинами индекса, что свидетельствует об отсутствии крупных и постоянных источников загрязнения воды.

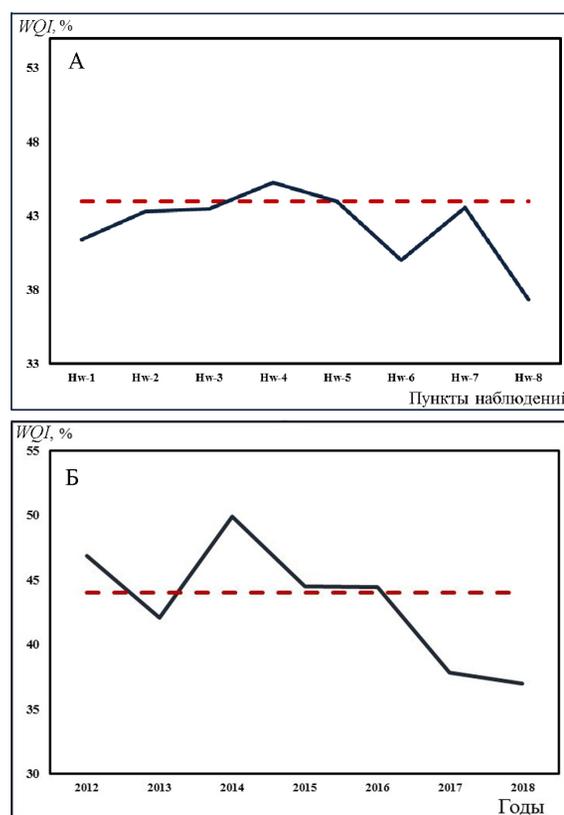


Рис. 2. Динамика изменения индекса качества воды в реке Раздан по пунктам наблюдения (А) и по годам (Б). Пунктирная линия соответствует верхней границе «плохой» категории качества воды.  $WQI = 44$

Fig. 2. Dynamics of changes in the water quality index of the Hrazdan River by observation points (A) and years (B). The dotted line corresponds to the upper limit of the “bad” water quality category.  $WQI = 44$

По результатам регрессионного анализа коэффициент детерминации ( $R$ -квадрат) наибольший у фактора  $F_3$ , т. е. этот фактор на 82% определяет индекс качества воды (табл. 4). Влияние фактора  $F_1$  (80%) на индекс также значимо. Коэффициент детерминации фактора  $F_2$  меньше 50% (44%) и поэтому влияние его на индекс минимально.

То есть степень (амплитуда) отклонения от нормативов ( $F_3$ ) и число превышающих нормативы показателей ( $F_1$ ) в большей степени влияют на конечный результат индекса качества воды.

Наибольший вклад в величину фактора  $F_3$  имеют соединения азота и фосфора, составляющие сум-

марно 47%, показатели солевого состава составляют 46% (хлориды – 23; натрий – 14; сульфаты – 6%). Влияние тяжелых металлов на качество воды незначительно и составляет 2,19%.

Источниками поступления в воду соединений азота и фосфора, а также практически всех изученных показателей скорее всего являются хозяйственно-фекальные, а хлоридов, сульфатов и натрия – производственные сточные воды. Сульфаты, хлориды и другие показатели солевого состава воды также поступают в реку с ливневым стоком с городских территорий, а фосфаты и нитраты – с обратными водами орошения.

Таблица 4

### Регрессионный анализ взаимосвязей между индексом качества воды и факторами $F_1$ , $F_2$ и $F_3$

Параметр / фактор	$F_1$	$F_2$	$F_3$
Множественный $R$	0,89	0,69	0,90
$R$ -квадрат	0,80	0,48	0,82
Нормированный $R$ -квадрат	0,78	0,44	0,81
Стандартная ошибка	8,17	13,15	7,73
Наблюдения	16	16	16

### ВЫВОДЫ

1. Река Раздан в пределах Еревана испытывает многофакторное антропогенное воздействие крупного города, что проявляется в ухудшении качества воды; по результатам расчета канадского индекса качества воды (*CCME WQI*) экологическое состояние реки по гидрохимическим показателям классифицировано как плохое и неудовлетворительное.

2. Вниз по течению реки качество воды ухудшается; индекс качества воды наибольший в промежуточном пункте наблюдения (пункт Нг<sub>в</sub> -4 – 45) и наименьший на выходе из города (пункт Нг<sub>в</sub> -8 – 37). Наблюдается также ухудшение качества воды в последние годы; в 2012 г. значение индекса составляло 47, а в 2018 г. – 37.

3. По коэффициенту детерминации факторы  $F_3$  на 82%, а  $F_1$  на 80% определяют индекс качества воды. Показателями, в наибольшей степени влияющими на ухудшение качества воды, являются минеральные соединения азота (24%), хлориды (24%), фосфаты (23%), натрий (14%), сульфаты (6%), тяжелые металлы (2,2%).

4. Качество воды в реке Раздан в пределах Еревана формируют хозяйственно-фекальные и производственные сточные воды, рассеянный сток с городских территорий, обратные воды орошения. Результаты исследований могут быть направлены на проведение природоохранных мероприятий, а также для планирования мониторинговых исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеевский Н.И., Заславская М.Б., Гончаров А.В. Методические подходы к изучению и параметризации качества воды // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 2. С. 13–21.  
 Бабаян Г.Г. Малые горные реки Армении: оценка загрязнения сточными водами выпусков канализационных коллекторов // Известия аграрной науки. 2007. Т. 5. № 1. С. 44–48.  
 Дрейпер Н.Р., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. 3-е изд. М.: Вильямс, Диалектика. 2007. 209 с.

ЗАО «Армводоканал». Годовые отчеты за 2005–2014 гг. (На арм. яз.)  
 Заславская М.Б., Ерина О.Н., Ефимова Л.Е. Сопоставление эффективности параметризации качества речных вод различными методами в условиях значительного антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 31–37.  
 Национальный атлас Армении. Ереван: Геодезический и картографический центр, 2007. 229 с. (На арм. яз.)

- О создании бассейнов территориального управления и утверждении их планов. Решение № 1749 Правительства РА. 2004. (На арм. яз.)
- Об определении норм обеспечения качества вод для управления территориями отдельных водных бассейнов, в зависимости от особенностей местности. Решение № 75 Правительства РА. 2011. (На арм. яз.)
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 610 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Бассейн реки Аракс. М.: Гидрометеиздат, 1973. Т. 9. 247 с.
- Сагателян А.К., Бабаян Г.Г. Саакян Л.В. Гидрохимия рек Армении и Нагорного Карабаха. LAP LAMBERT Academic publishing, 2017. 216 с.
- Alam M.J.B., Islam M.R., Muyen Z., Mamun M. Water quality parameters along rivers, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2007, no. 4(1), p. 159–167, DOI: 10.1007/BF03325974.
- Bilgin A. Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruh River Basin, *Environ. Monit. Assess.*, 2018, no. 190(9), p. 554.
- Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report, Prepared and published by the United Nations Environment Programme*, GEMS, 2007, ISBN 92-95039-14-9.
- Halliwell D., Sharma T. Application of the CCME Water quality index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River Basin, Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, no. 113, p. 411–429.
- Khan F., Lumb A., Husain T. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, no. 88(1–3), p. 221–242, DOI: 10.1023/A:1025573108513.
- Mehmet A.T., Huseyin K.S. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms, *Ecological Indicators*, 2014, no. 36, p. 672–681.
- Rickwood C.J., Carr G.M. Development and sensitivity analysis of a global drinking water quality index, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, no. 156(1–4), p. 73–90, DOI: 10.1007/s10661-008-0464-6.
- Rosemond S., Duro D., Dube M. Comparative analysis of regional water quality in Canada using the Water Quality, *Monit. Assess.*, 2009, no. 156, p. 223–240.
- Saffran K.A., Cash K.J., Hallard K.A., Wright R. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, CCME WATER QUALITY INDEX 1.0, User's Manual, 2001.
- Tyagi S., Sharma B., Singh P. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index, *American Journal of Water Resources*, 2013, no. 1(3), p. 34–38, DOI: 10.12691/ajwr-1-3-3.
- Usman A., Dube K., Shukla S.P., Salaksar P. Water Quality Index as a Tool for Assessment of Status of an Urban Lake of Mumbai, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2018, no. 7(04), p. 520–533, DOI: 10.20546/ijcmas.2018.704.061.
- Электронные источники  
ЗАО «Веолия Джур». Годовые отчеты за 2015–2019 гг., URL: <https://www.veolia.am/hy> (дата обращения 16.05.2020). (На арм. яз.)  
Национальное статистическое управления РА. Окружающая среда и природные ресурсы: годовые отчеты за 2008–2018, URL: <http://www.armstat.am/am/> (дата обращения 16.05.2020). (На арм. яз.)  
Центр мониторинга воздействия на окружающую среду. Годовые отчеты за 2009–2019 гг., URL: <http://www.armmonitoring.am/> (дата обращения 16.05.2020). (На арм. яз.)

Поступила в редакцию 04.09.2019

После доработки 25.10.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE WITHIN THE URBAN SECTION OF THE HRAZDAN RIVER (YEREVAN CITY) BASED ON HYDROCHEMICAL INDICATORS

**G.H. Babayan**

*Center for Ecological-Noosphere Studies NAS RA, Yerevan 0025, Abovian-68, Republic of Armenia,  
coordinator of analytical works, D.Sc. in Technology; e-mail: gayane.babayan@cens.am*

The Hrazdan River water quality within the city of Yerevan was assessed by hydrochemical parameters using the Canadian Water Quality Index (CCME WQI) and ecological (regional) standards accepted by the Republic of Armenia for the functioning of ecosystems, fishery, and protection. Hydrochemical observations by 21 indicators were carried out twice a year (in low- and high-water periods) on 8 permanent stations from 2012 to 2018. The river water is classified into 5 quality classes by the water quality index values: high (95–100), good (80–94), moderate (60–79), poor (45–59) and bad (0–44).

It is shown that water quality becomes poorer downstream the river: from water quality index values of 41 when entering the city (station Hr<sub>w</sub>-6), to 37 when flowing out of the city (Hr<sub>w</sub>-8). Water quality also deteriorated over recent years, from 47 in 2012 to 37 in 2018. By the coefficient of determination, the degree (amplitude) of standard deviations of indices ( $F_3$ ) and the quantity of standard-exceeding indices ( $F_1$ ) largely influence the ultimate result of the index making 82% and 80%, respectively. Water quality deterioration is caused mainly by mineral compounds of nitrogen (24%), chlorides (24), phosphates (23), sodium (14), sulfates (6), and heavy metals (2%).

The research results indicated that in general water in the Hrazdan River section within the city of Yerevan is of “bad” quality. It is anthropogenic factors, namely changes in natural hydrological regime, runoff control, heterochronous and uneven supply of pollutants entering from point and non-point sources, that determine the anomalous distribution of hydrochemical parameters by sampling stations along the urban section of the Hrazdan River in different years.

It is suggested to strengthen water quality control at Hr<sub>w</sub>-1, Hr<sub>w</sub>-6 and Hr<sub>w</sub>-8 stations when planning further monitoring studies, with an emphasis on determination of representative pollution indicators, such as ammonia, nitrite and nitrate nitrogen, phosphates, and indices of salt composition in water.

**Keywords:** hydrochemical observations, urban river, water quality assessment

### REFERENCES

- Alam M.J.B., Islam M.R., Muyen Z., Mamun M. Water quality parameters along rivers, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2007, no. 4(1), p. 159–167, DOI: 10.1007/BF03325974.
- Alekseyevskiy N.I., Zaslavskaya M.B., Goncharov A.V. Metodicheskiye podkhody k izucheniyu i parametrizatsii kachestva vody [Methodological approaches to the study and parameterization of water quality], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5. Geogr.*, 2016, no. 2, p. 13–21. (In Russian)
- Babayan G.G. Malye gornyye reki Armenii: otsenka zagryazneniya stochnymi vodami vypuskov kanalizatsionnykh kollektorov [Small mountain rivers of Armenia: assessment of pollution by waste water from sewer outlets], *Izvestiya agrarnoy nauki*, 2007, vol. 5, no. 1, p. 44–48. (In Russian)
- Bilgin A. Evaluation of surface water quality by using Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) method and discriminant analysis method: a case study Coruh River Basin, *Environ. Monit. Assess.*, 2018, no. 190(9), p. 554.
- Draper N.R., Smith G. *Applied regression analysis*, 3d edition, John Wiley & sons, Inc., 1998, 736 p.
- Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report*, Prepared and published by the United Nations Environment Programme, GEMS, 2007.
- Halliwell D., Sharma T. Application of the CCME Water quality index to monitor water quality: a case study of the Mackenzie River Basin, Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, no. 113, p. 411–429.
- Khan F., Lumb A., Husain T. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, no. 88(1–3), p. 221–242, DOI: 10.1023/A:1025573108513.
- Mehmet A.T., Huseyin K.S. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms, *Ecological Indicators*, 2014, no. 36, p. 672–681.
- Natsionalnyy atlas Armenii* [National Atlas of Armenia], Yerevan, Geodezicheskiy i kartograficheskiy tsentr Publ., 2007, 229 p. (In Armenian)
- O sozdanii basseynov territorial'nogo upravleniya i utverzhdenii ikh planov* [On the creation of basins under territorial administration and the approval of their plans], Decision no. 1749 of the Government of the Republic of Armenia, 2004. (In Armenian)
- Ob opredelenii norm obespecheniya kachestva vod dlya upravleniya territoriy ot del'nykh vodnykh basseynov, v zavisimosti ot osobennostey mestnosti* [On the definition of water quality standards for the management of the territories of individual water basins, depending on the characteristics of the area], Decision no. 75 of the Government

- of the Republic of Armenia, 2011. (In Armenian)
- Perelman A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999, 610 p. (In Russian)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Basseyn reki Araks* [Resources of surface waters of the USSR. Basin of the Araks River], Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1973, vol. 9, 247 p. (In Russian)
- Rickwood C.J., Carr G.M. Development and sensitivity analysis of a global drinking water quality index, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, no. 156(1–4), p. 73–90, DOI: 10.1007/s10661-008-0464-6.
- Rosemond S., Duro D., Dube M. Comparative analysis of regional water quality in Canada using the Water Quality, *Monit. Assess.*, 2009, no. 156, p. 223–240.
- Saffran K.A., Cash K.J., Hallard K.A., Wright R. *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*, CCME WATER QUALITY INDEX 1.0, User's Manual, 2001.
- Sagatelyan A.K., Babayan G.G., Saakyan L.V. *Gidrokimiya rek Armenii i Nagornogo Karabakha* [Hydrochemistry of the rivers of Armenia and Nagorno-Karabakh], Izdvo LAP LAMBERT Academic Publ., 2017, 216 p. (In Russian)
- Tyagi S., Sharma B., Singh P. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index, *American Journal of Water Resources*, 2013, no. 1(3), p. 34–38, DOI: 10.12691/ajwr-1-3-3.
- Usman A., Dube K., Shukla S.P., Salaksar P. Water Quality Index as a Tool for Assessment of Status of an Urban Lake of Mumbai, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2018, no. 7(04), p. 520–533, DOI: 10.20546/ijcmas.2018.704.061.
- ZAO “Armvodokanal”, Godovyie otchety [Annual reports], 2005–2014. (In Armenian)
- Zaslavskaya M.B., Erina O.N., Efimova L.E. Comparing the efficiency of river water quality parameterization by different methods under a significant human-induced impact. *Geography and Natural Resources*, 2019, vol. 40, no. 2, p. 122–128.
- Web sources*
- Environmental Impact Monitoring Center. Annual reports 2009–2019*, URL: <http://www.armmonitoring.am/> (access date 16.05.2020). (In Armenian)
- National Statistical Office of RA, *Environment and Natural Resources: Annual Reports 2008–2018*, URL: <http://www.armstat.am/am/> (access date 16.05.2020). (In Armenian)
- ZAO “Veolia Dzhur”, Godovyie otchety [Annual reports], 2015–2019, URL: <https://www.veolia.am/hy> (access date 16.05.2020). (In Armenian)

Received 04.09.2019

Revised 25.10.2021

Accepted 27.12.2021

## МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.55/551.8

### ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА ДЛЯ УСТАНОВКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В НАХИЧЕВАНСКОЙ АР

Н.С. Имамвердиев

*Институт географии Национальной академии наук Азербайджана, отдел экономической и политической географии, науч. сотр.; e-mail: imamverdiyev.nicat@gmail.com*

Поскольку выходная мощность электрической энергии, производимой преобразованием солнечного излучения с помощью фотоэлементов невелика, для более эффективного производства энергии необходимо определить области с высоким солнечным излучением. Однако, из-за низкого КПД фотоэлектрических панелей (14–18%) и малой интенсивности суммарного солнечного излучения на горизонтальную поверхность для достижения определенного уровня мощности требуются большие площади установки. Из-за первоначальной высокой стоимости установки солнечных электростанций для выбора наиболее подходящего места требуется всесторонняя систематическая оценка географических факторов региона. Поэтому в качестве района исследования была выбрана Нахичеванская АР, где уровень радиации выше, чем в других регионах Азербайджана (1220–1699 кВтч/м<sup>2</sup>-год), а годовая продолжительность солнечного сияния составляет более 2500 часов. Поскольку создание солнечных электростанций в регионах с высокими значениями солнечной радиации в основном зависит от технических, экономических и экологических факторов, районы, соответствующие высоким критериям в модели, были тщательно исследованы в результате сбалансированного сравнения для определения подходящих мест установки солнечных электростанций. Для этого была использована модель аналитической иерархии процессов (АИП), основанная на методах многокритериального принятия решений (МПР). На первом этапе исследования были проанализированы семь критериев определения подходящих мест: значение суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность, место уклона, землепользование, буферное расстояние от районов с высоким годовым потенциалом солнечной энергии до жилых районов, близость к подстанциям, автомагистралям и линиям электропередачи. На втором этапе уровень доступности пригодности областей в рамках определенных критериев в географических информационных системах (ГИС) определялся с помощью инструмента «Взвешенное наложение» (Weighted Overlay). В результате исследования был сделан вывод, что 9,5% (510 км<sup>2</sup>) земель Нахичеванской АР имеют высокую пригодность для размещения солнечных электростанций, 12% (645 км<sup>2</sup>) земель – среднюю и 24% (1290 км<sup>2</sup>) – низкую. Остальные области (54,5%, или 2930 км<sup>2</sup>) относятся к территориям, которые не подходят для использования из-за низкой радиации, высокого уклона, наличия охраняемой территории, населенных пунктов, сельскохозяйственных территорий и слабо развитой инфраструктуры. Оптимальные места охватывают в основном южную и восточную части региона.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, солнечная энергия, геоинформационная система, модель аналитической иерархии процесса

#### ВВЕДЕНИЕ

Выбор географически подходящего места для эффективного производства энергии на фотоэлектрических солнечных электростанциях зависит от многих факторов. Для выявления конкретного результата можно получить более реалистичные цифры, изучив пространственные и метеорологические данные региона в географических информационных системах (ГИС) [Khan, Rathi, 2014]. В Нахичеванской АР количество солнечных дней составляет около 250, а средний уровень радиации составляет – 1460 кВтч/м<sup>2</sup> в год, что делает эту территорию подходящей для инвестиций в установки панелей

солнечной энергии [Mammadov, 2013]. Поэтому с точки зрения энергетической безопасности региона необходимо определить подходящие участки для использования солнечной энергии с низкой себестоимостью и максимальной выгодой. В исследовании использовалась многокритериальная методика принятия решений для определения пригодности территорий. Такой подход является лучшим методом идентификации для анализа сложных и многоформатных данных, полученных для достижения конкретной цели [Wang et al., 2018]. Использование пространственной ГИС и многокритериального метода в форме интеграции могут помочь в углублен-

ном анализе естественных событий, рациональной и систематической идентификации и интерпретации различных уровней риска [Linkov, Moberg, 2011].

Модели аналитической иерархии процесса на основе МПР используются для связывания данных, полученных в результате анализа, для определения соответствующих регионов. Конечная цель метода аналитического иерархического процесса – найти альтернативный способ достижения общего результата путем анализа собранных данных с точки зрения множества критериев и противоречивых целей [Уян, 2013]. Основная цель – определение зоны со средним и высоким энергетическим потенциалом в соответствии с принципами выбора площадок солнечных электростанций. Что касается экономного и эффективного производства электроэнергии, то на этапе планирования места установки электростанции учитываются годовая продолжительность солнечного сияния в регионе, уровень радиации, землепользование, эффективность сельского хозяйства, расстояние до дорог, линий электропередачи и другие ограничения. В то же время объекты, загрязняющие поверхность фотоэлектрических панелей и создающие теневые эффекты, входят в число критериев, непосредственно влияющих на выработку энергии [Vulkan et al., 2018].

Поскольку в каждой стране своя уникальная природная среда, то существует множество примеров использования многокритериальных методов на основе ГИС для определения наиболее оптимальных местоположений [Beccali et al., 2003]. Например, в исследовании по определению подходящей территории для создания солнечной электростанции в Иране были приняты во внимание 11 критериев [Noorollahi et al., 2016]. Поскольку превосходство этих критериев друг над другом неясно, для взвешивания была использована модель процесса аналитической иерархии и создана карта пригодности территорий для размещения солнечных электростанций в среде ГИС. Например, в исследовании, проведенном в Саудовской Аравии с использованием методов аналитического иерархического процесса, исследователь [Al Garni, Awasthi, 2017] пришел к выводу, что северные и северо-западные регионы страны являются наиболее подходящими для солнечных электростанций. Этот метод сыграл решающую роль в определении оптимальной площади в соответствии с принципами размещения фотоэлектрических установок на определенном расстоянии от ограничительной зоны, такой как сельскохозяйственные районы, охраняемые природные территории, жилые районы. Исследование по определению подходящего района в провинции Хузестан (Иран) показало, что даже при наихудшем сценарии потенциал производства солнечной энергии в

2016 г. примерно в 1,75 раза превышал общий объем электроэнергии, производимой в Иране. Здесь с широким использованием солнечных электростанций затраты на установку и инфраструктуру будут амортизированы, а общая стоимость производства электрической энергии по сравнению с ископаемым топливом снизится [Asakereh et al., 2017]. В другом исследовании были определены четыре основных критерия (радиация, топография, технико-экономический и экологический) и восемь подкритериев для планируемых солнечных электростанций в Восточном Марокко, была создана карта пригодности потенциальных регионов. В результате исследования определено, что 19% восточной части Марокко вполне подходит для установки солнечных электростанций [Mergouni et al., 2018].

Кроме того, есть несколько примеров оценки различных альтернативных источников энергии с использованием комбинации различных методов, основанных на принятии многокритериальных решений для оценки больших территорий. Была применена модель ELECTRE, которая включает многокритериальный метод принятия решений, используемый для оценки плана действий по исследованию технологий возобновляемой энергии в региональном масштабе. Например, на острове Сардиния было предложено три сценария принятия решений, каждый из которых представляет собой согласованную последовательность действий на основе разработки стратегий по раскрытию преимуществ и недостатков использования возобновляемых источников энергии [Beccali et al., 2003; Devi, Yadav, 2013]. Тем не менее потенциал источников геотермальной энергии на острове Хиос (Греция) был оценен путем взаимного сравнения методов PROMETHEE II и ELECTRE III [Polatidis et al., 2015]. В соответствии с различными критериями устойчивости для планирования и моделирования возобновляемых источников энергии в Колумбии был предложен метод под названием MODERGIS [Quijano et al., 2010]. С помощью этого метода зона исследования сначала была классифицирована в соответствии с потенциалом солнечной энергии, затем были проанализированы параметры окружающей среды и определены подходящие площади для крупных фотоэлектрических установок.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данные цифровой модели рельефа (ЦМР) исследуемой области были получены со спутника ALOS-PALSAR с открытым исходным кодом для расчета и картирования значений рельефа, уклона и радиации в среде ГИС. Кроме того, использовались климатические данные с 1990 по 2018 г., данные глобально-

го солнечного атласа (ГСА) и, для определения значений радиации в г. Нахичевани, соответствующие метеорологические карты.

В литературе есть несколько исследований модели аналитической иерархии процесса (АИП), включенной в методику принятия многокритериальных решений (МПР), которая основана на интеграции с системами ГИС при выборе места для строительства солнечных электростанций. В этих исследованиях есть различные критерии, определяющие выбор подходящего места. Это связано с тем, что, когда применяются те же критерии, точность полученных цифр не отражает истину, поскольку рабочие зоны имеют свои характеристики с точки зрения таких условий, как топография, радиация, землепользование и инфраструктура. Таким образом, в соответствии с принципами установки солнечной энергии были определены основные критерии, связанные с рельефом, климатическими и экологическими характеристиками территории. Данные, собранные для этой цели, были сгруппированы в три класса от высокой до низкой пригодности по следующим критериям:

- пространственные: высота, уклон, тень холма;
- климат: суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, температура воздуха;
- окружающая среда: землепользование, охраняемые территории;
- инфраструктура: дороги и линии электропередачи.

Все данные, сгенерированные для создания подходящего места в ГИС, были взвешены как 100% в таблице влияния с помощью последовательных инструментов «Функция в растр», «Евклидово расстояние», «Переклассификация», «Взвешенное наложение» в инструменте модели Overlay. Кроме того, в исследовании также использовались методы математики, статистического, картографического и географического моделирования.

Помимо этого, есть и другие важные факторы, которые следует учитывать при планировании установки солнечной электростанции в любом районе, а именно:

- текущий спрос на электроэнергию в регионе и динамика количественного роста этого спроса в ближайшие годы;
- потенциал ресурсов солнечной энергии в регионе и его доля в общем спросе на энергию, а также возможность использования его в условиях конкуренции с традиционной энергией;
- экономическая эффективность и экологическое преимущество источников солнечной энергии.

Хотя суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, которая является основным требованием при выборе оптимальной площади для

строительства солнечной станции, высока, площади, соответствующие ограничительным критериям, считаются непригодными. Такие непригодные места представляют собой естественные формы рельефа, которые не подходят для строительства солнечных электростанций из-за неблагоприятного уклона (горные хребты и холмы), значительного затенения или ограниченного пространства (каньоны). К этой группе относятся национальные границы с зонами особого назначения, охраняемыми прибрежными зонами и территориями по периметру не менее 1 км, для которых установлен особый режим использования и защиты. В то же время природные заповедники (национальные парки, заповедники, природа и ландшафты) и объекты культурного наследия (археологические памятники, исторические поселения и др.) также входят в число ограничительных критериев. Обычно отмечается, что оптимальное значение набора критериев не противоречит оптимальному выбору других критериев. В случае «противоречия» между одним параметром и другим учитывается принцип «соответствия критериев с наименьшим ущербом» [Gardashov et al., 2020]. Например, в районе с высоким солнечным потенциалом (т. е. с небольшой или отсутствующей горной тенью, меньшей облачностью, загрязненностью и туманом) подходящее местоположение определяется с учетом дополнительных затрат на инфраструктуру и возможной эффективностью производства. Окончательное решение выбора наиболее подходящего места определяется по результатам расчетов, произведенных по указанной методике с учетом показателей всех параметров. Определение площади для установки солнечных электростанций в основном зависит от следующего:

- генерирующая мощность солнечных электростанций должна быть высокоэффективной (эффективность фотоэлектрических панелей), а инвестиционные затраты экономичными (долгосрочные контракты, гарантированные закупки и т. д.);
- оптимальный азимут и наклон солнечных панелей должны находиться в положении, соответствующем минимальному эффекту затенения;
- наиболее подходящее место должно находиться в кратчайшем расстоянии от линий электропередачи, автомагистралей и точки потребления электроэнергии;
- общий горизонтальный потенциал солнечной энергии в регионе должен быть высоким.

В целом выбор подходящего места для установки фотоэлектрической станции основывается на четырех основных критериях:

- 1) экономический: цена тарифа на солнечную энергию, стимулирующие факторы, стоимость отвода земли и затраты на установку электростанции;

2) метеорологический и технический: солнечный свет, солнечная радиация, эффективность производства энергии фотоэлектрическими панелями и оптимальная ориентация, азимут и наклон панелей к солнцу;

3) географический: направление южного склона, неплодородная почва, климатические условия, ограниченность территорий (заповедник, горы, заболоченные земли и т. п.);

4) социальный: потребность жилых районов в электроэнергии, дополнительные рабочие места и доступ к чистым и бесплатным энергоресурсам.

Перечисленные выше подкритерии, касающиеся использования солнечной энергии, включающие экономические, технические, метеорологические,

географические и социальные условия региона, обсуждаются отдельно. На основе метода МПР эти критерии были оценены с использованием пространственных данных и блок-схемы АИП, был создан набор формул и решений. Кроме того, модель АИП была применена для объяснения проблем в методологии исследования (рис. 1) и для анализа соответствующих критериев. В ходе исследования была создана пара матриц на основе множественных сравнений между измерениями, а затем, оценив уровень важности того или иного критерия, были разработаны первичные критерии для определения оптимальных областей. Для оценки противоречивых решений в процессе попарного сравнения использовался коэффициент согласованности (КС).

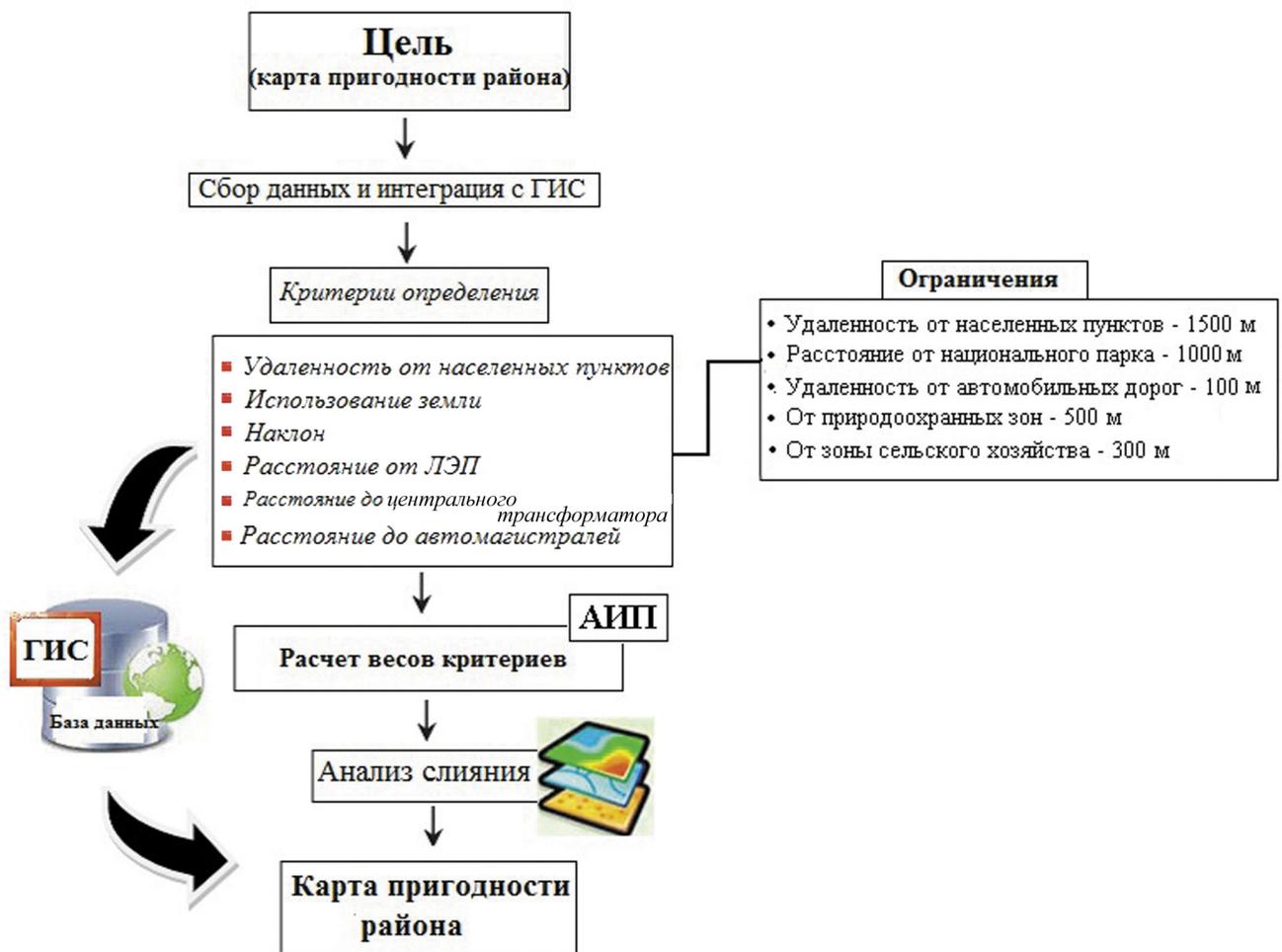


Рис. 1. Общая методика исследования [Uyan, 2013]

Fig. 1. General research methodology [Uyan, 2013]

Метод АИП, используемый в исследовании, является одним из наиболее полных методов MCDM для определения альтернатив путем представления коэффициента решения для достижения различных целей. Это позволяет генерировать комбинацию качественных и количественных входных

данных, которые обеспечивают оптимальный подход к работе со сложными вариантами МПР при диверсификации источников энергии и определении подходящего места установки. Если лицо, принимающее решение (ПР), видит несоответствие в результатах, то с помощью метода АИП

можно будет найти решение, объясняющее это несоответствие. Кроме того, исследования методом МПР являются одними из наиболее применяемых методов объединения модели АИП со многими подходами поддержки выбора (рис. 2). Модель АИП зарекомендовала себя как доступная техника МПР для упрощения исследований, ориентированных на результат, и для принятия решений по сложным вопросам [Effat, 2013; Watson, 2015].

Первый уровень иерархии АИП устанавливает основную цель, тогда как средний и нижний уровни показывают принципы выбора и альтернативы по отдельности. Лица, принимающие решения, оценивают каждый стандартный критерий в парных корреляциях со своей базой данных. В результате он разделяет критерии на более мелкие подуровни и взвешивает их в соответствии с принципами выбора установки.

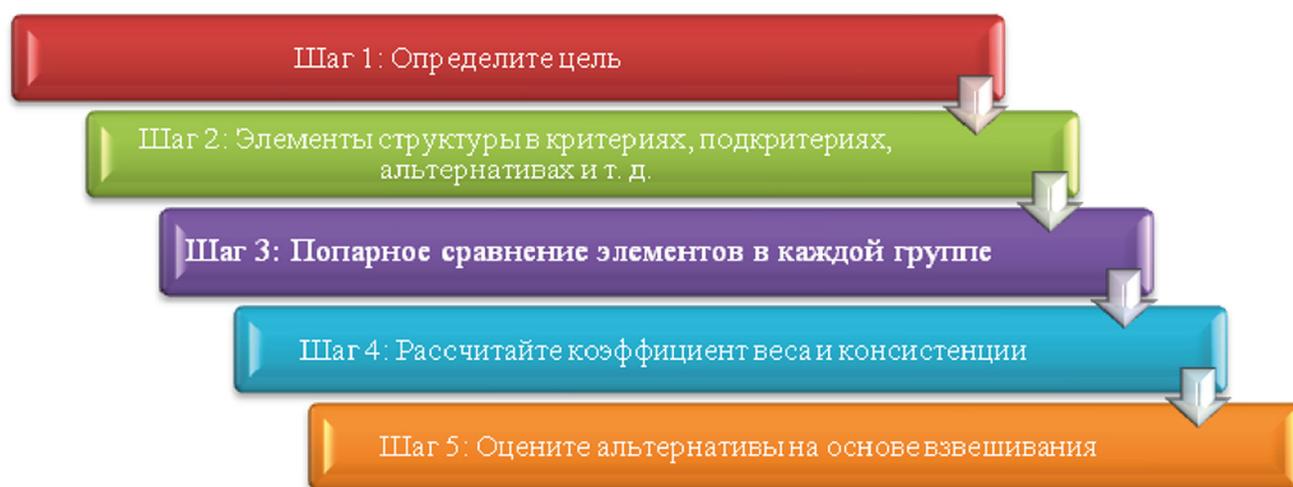


Рис. 2. Блок-схема процесса аналитической иерархии

Fig. 2. Flowchart of the Analytical Hierarchy Process

Для определения наиболее подходящего места расположения станции в исследовании оценивались четыре критерия: солнечная радиация (рис. 3), уклон (рис. 4), землепользование, удаленность от дорог, линий электропередачи и населенных пунктов (рис. 5). Затем путем сравнения этих критериев попарно была создана матрица решений. По методу АИП весовые значения каждого критерия получились расчетами по сложным уравнениям. Затем определялся коэффициент согласованности, чтобы исключить противоречивые решения во время исследований парных сравнений. Для выполнения метода АИП определялись значения  $n$  критериев и применялись формулы в определенной последовательности [Saaty, 1980]. Определение коэффициента согласованности проводилось с помощью метода АИП в шесть шагов: 1) постановка задачи; 2) создание матрицы сравнения; 3) нормализация; 4) взятие вектора приоритета; 5) тесты на согласованность; 6) выбор или упорядочение (см. рис. 2). Очередность выбора подходящих участков определялась по приоритетности: солнечной радиации, землепользования, расстояния до дорог и линий электропередачи, уклона.

Сначала критерии сравнивались между собой по уравнению, разработанному в [Saaty, 1980]. Оценка предпочтения для  $i$ - и  $j$ -критерия определяется с использованием представленной шкалы девяти целых значений  $A_{ij}$  для создания матрицы парных сравнений с различными критериями  $m = (n \times n)$ .  $A_{ij}$  обозначает запись в  $i$ -й строке и  $j$ -м столбце матрицы  $m$  в таблице 1.

Записи оценки предпочтения  $A_{ij}$  и  $A_{ji}$  должны обеспечивать следующее ограничение в уравнении (1): матрица сравнения – квадратная матрица размером  $n \times n$ . Ее компоненты на диагонали принимают значение 1.

Матрица парных сравнений

$$A_n \times n = a_{ij}A = \begin{bmatrix} 1 & A_1 & A_2 & A_3 & \dots & A_n \\ A_1 & 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ A_2 & a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ A_3 & a_{31} & a_{31} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_n & a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

здесь  $a_{ij} = 1/A_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ ), общее  $n(n+1)/2$ , здесь  $n=1$ , индукция, предположим, истина  $n=A$ ,  $1+2+3+\dots+A=(A+1)/2$ , показать истину  $n=A+1$ ,

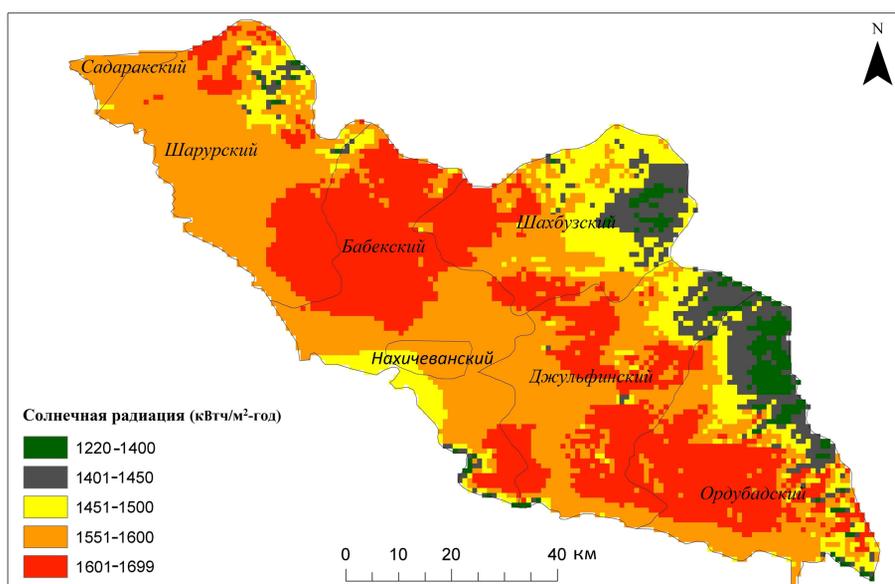


Рис. 3. Долгосрочный средний (1999–2018) годовой суммарный ИГД Нахичеванской АР, кВтч/(м² в год) [Global Solar Atlas..., 2020; Solargis..., 2020]

Fig. 3. Long-term average (1999–2018) annual total GHI of the Nakhchivan AR [GSA..., 2020; Solargis..., 2020]

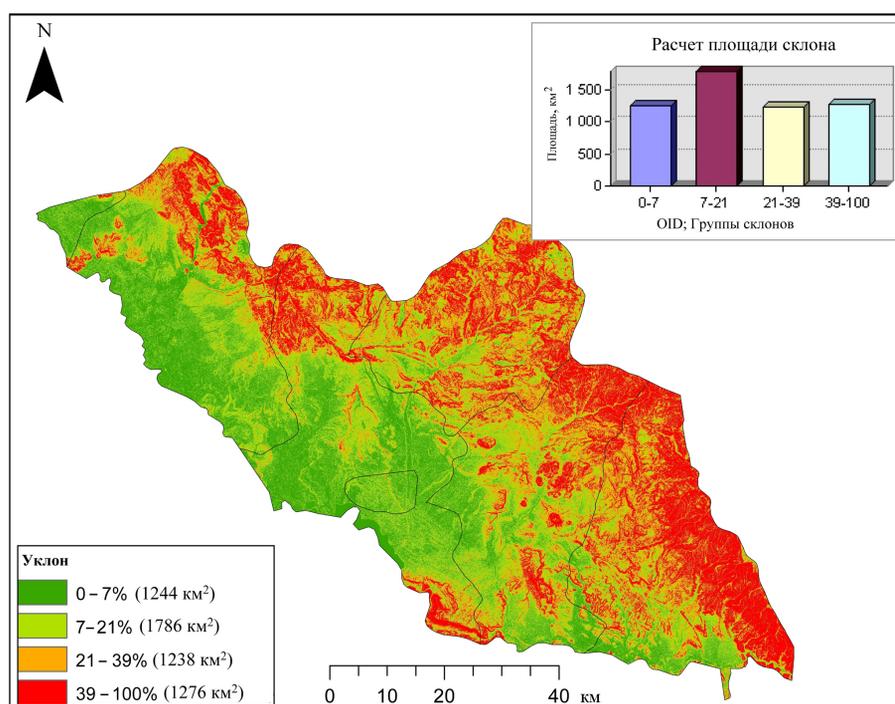


Рис. 4. Карта уклонов Нахичеванской АР [Earth Data Search..., 2020]

Fig. 4. Map of slopes of the Nakhchivan Autonomous Republic [Earth Data Search..., 2020]

$$1 + 2 + 3 + \dots + A + A + 1 = \frac{(A+1)(A+1+1)}{2},$$

$$\frac{A(A+1)}{2} + \frac{2(A+1)}{2} = \frac{(A+1)(A+2)}{2},$$

$$A(A+1) + 2(A+1) = (A+1)(A+2),$$

$$A^2 + A + 2A + 2 = A^2 + 2A + A + 2.$$

Каждый столбец равен 1, чтобы сформировать нормализованную матрицу парных сравнений  $m$ . Кроме того, для каждого элемента матрицы в таблице 2 величину  $\bar{A}_{ij}$  можно получить по уравнению

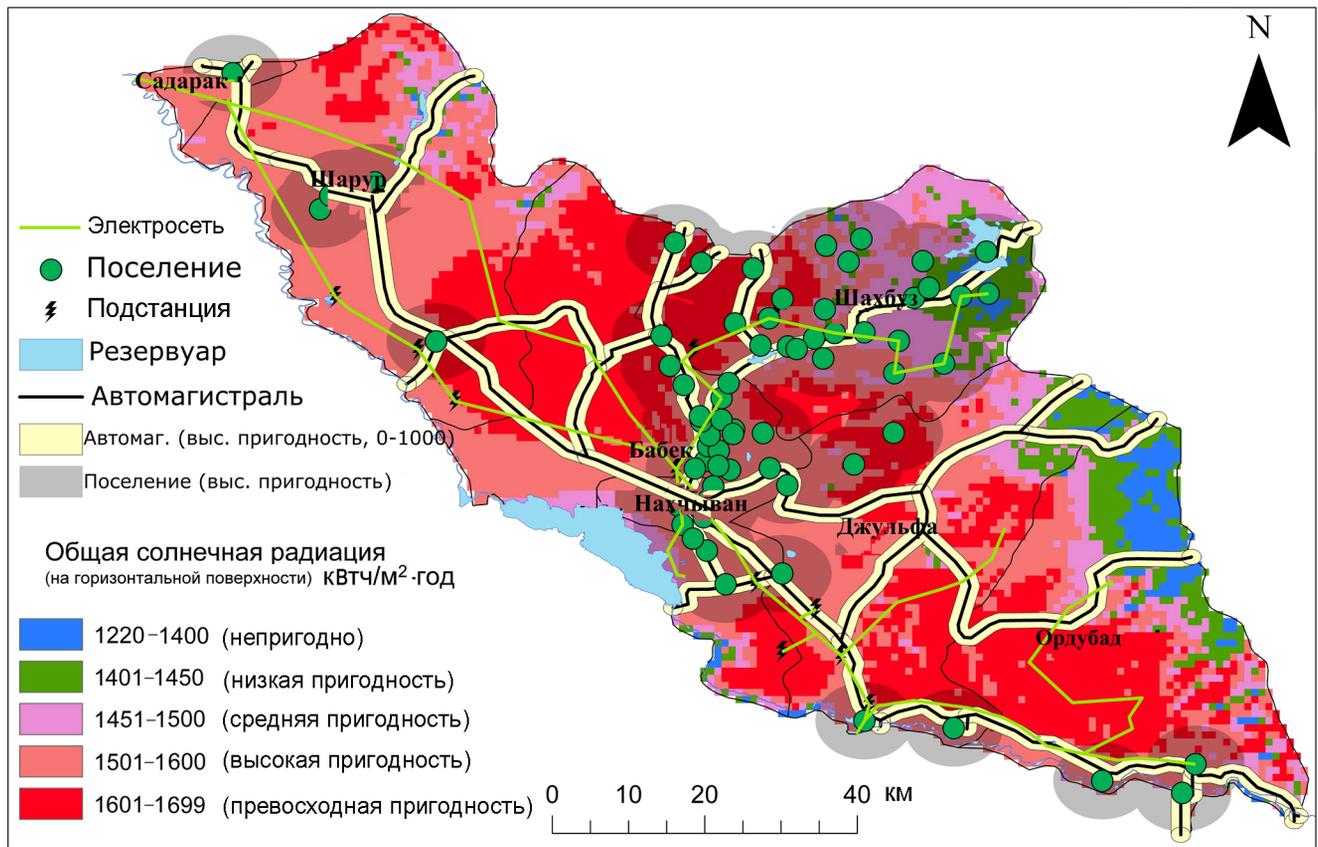


Рис. 5. Карта выбора места установки солнечной электростанции  
 Fig. 5. Suitability map for choosing a solar power plant installation site

Таблица 1

**Значения сравнения, выполненные в АИП, и их интерпретации**

Числовые значения $A_{ij}$	Числовые значения $A_{ji}$	Уровень значимости	Определение
1	1	Одинаково важно	Критерии $i$ и $j$ одинаково важны
3	1/3	Немного важно	Критерий $i$ немного важнее $j$
5	1/5	Важный	Критерий $i$ умеренно важнее $j$
7	1/7	Очень важно	Критерий $i$ значительно важнее $j$
9	1/9	Чрезвычайно важно	Критерий $i$ чрезвычайно важнее $j$
2, 4, 6, 8	1/2, 1/4, 1/6	Промежуточные значения	

$$\bar{A}_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^n A_{ij}} \quad (2)$$

На третьем этапе получают средние значения между строками для определения соответствующих уровней значимости с использованием уравнения вектора приоритета

$$W_i = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ij}}{n} \quad (3)$$

Относительный вес каждого критерия находится в диапазоне 0–1. Кроме того, из-за изучения весо-

вых значений критерия оказалось, что коэффициент прямого нормального излучения оказывает большее влияние на площадь солнечной фотоэлектрической установки. Вектор приоритета выглядит следующим образом (табл. 3).

На четвертом этапе для создания карты подходящих мест для установки солнечных фотоэлектрических систем путем изучения каждого критерия применяется уравнение (4). В противном случае карту пригодности можно получить, найдя сумму значений каждого критерия ( $x_i$ ), умноженную на его вес ( $w_i$ ) (табл. 4).

$$SM = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i \cdot r, \text{ где } r \in \{0, 1\}. \quad (4)$$

Таблица 2

**Матрица сравнения критериев принятия решения**

Критерии	Солнечная радиация (А)	Землепользование (Б)	Расстояние до дорог и линий электропередачи (В)	Уклон (Г)
Солнечная радиация (А)	1	7	5	1/4
Землепользование (Б)	1/7	1	1/2	1/7
Расстояние до дорог и ЛЭП (В)	1/5	2	1	1/9
Уклон (Г)	4	7	9	1
Общее	5,34	17	15,5	1,50

Таблица 3

**Матрица нормализации  $A_{ij}$**

Критерий	А	Б	В	Г	Нормализованный вектор приоритета $W_i$	Окончательный вес, %
А	0,187	0,412	0,323	0/166	0,272	28
Б	0,027	0,059	0,032	0,095	0,053	5
В	0,037	0,118	0,065	0,074	0,073	8
Г	0,749	0,412	0,581	0,665	0,584	59

Таблица 4

**Вектор веса и приоритета по критериям**

Критерий	Вес	Приоритет
А	0,272	2
Б	0,053	4
В	0,073	3
Г	0,601	1

Таблица 5

**Определение среднего значения  $\lambda_{max}$**

$Aw$	$Aw/W$	Среднее $\lambda_{max}$
1,162	1,162/0,272 = 4,271	4,234
0,215	0,215/0,053 = 4,035	
0,301	0,301/0,073 = 4,102	
2,722	2,722/0,601 = 4,525	

На пятом этапе расчет  $CR$  проводится по уравнению (5). Коэффициент согласованности получается путем деления индекса согласованности ( $CI$ ) на случайный индекс ( $RI$ ), который изменяется в зависимости от количества критериев. Поскольку количество критериев в исследовании равно 4, случайный показатель, равный этому значению, соответствует 0,90. Для определения значения индекса согласованности основных критериев находится максимальное собственное значение матрицы сравнения ( $\lambda_{max}$ ) (табл. 5).

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad 345 \quad CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad Aw = \lambda_{max} w. \quad (5)$$

Таким образом,  $CI = (4,234 - 4)/(4 - 1) = 0,078$ ;  $CR = 0,078/0,90 = 0,086\%$ .

Для расчета значимости критерия при определении пригодности районов размещения солнечных станций была создана бинарная матрица сравнения, как показано в таблице 3, рассчитан собственный вектор, показывающий единицу приоритета каждого критерия, а сумма всех весов была равна

единице.  $CR$  рассчитывали для проверки взвешенных значений каждого критерия ( $CR = 0,086$ ). Поскольку он меньше 0,10, такое решение считается приемлемым. При этом есть возможность оценить альтернативы, возникающие, когда значения критерия, сложенные с анализом чувствительности с помощью основного сетевого инструмента в приложении «Суперрешения 3.2», колеблются в пределах 0,1–1 в зависимости от назначения. Четыре района с высокими значениями солнечной радиации для установки солнечных электростанций по всей Нахичеванской АР, выделенные методом АИП (Шарур, Бабек, Джульфа и Ордубад), оценивались как альтернативы друг другу. При выборе подходящих площадок для солнечных электростанций основные критерии от высокого до низкого уровня важности взвешивались в соответствии с общим горизонтальным излучением, землепользованием, уклоном и расстоянием до дорог и линий электропередачи. В последующем Бабекский район с расчетом матрицы попарного сравнения данных под критерии, такие как излучение на горизонтальной поверхно-

сти (1400–1699 кВтч/м<sup>2</sup>), землепользование (плодородные почвы, бесплодные земли), уклон (1–4°) и расстояние (от 1000 до 5000 м) был определен как наиболее подходящее место.

При выборе расположения фотоэлектрических панелей с использованием инструмента взвешенного перекрытия в ГИС рассматриваемые критерии (полученные из модели АНР) в сочетании с их соответствующими уровнями значимости учитывались в три этапа:

1) поскольку входные слои имеют разные значения и диапазоны, каждый критерий масштабировался, чтобы его можно было интегрировать в один слой. Затем значения входных карт были классифицированы по общей шкале предпочтений от 1 до 10 (10 – наиболее подходящий вариант);

2) каждый уровень критерия умножался на вес или значимость критерия, касающегося АНР;

3) полученные значения ячеек складывались друг с другом, чтобы сформировать окончательный составной слой. В результате были определены подходящие области.

Для этого в приложении ArcGIS 10.8 была создана база данных, имеющая широкий набор инструментов пространственного анализа, а также были проанализированы и систематизированы данные о суммарной солнечной радиации на горизонтальной поверхности в регионе. Затем по предложенной методике МПР в районах с солнечным потенциалом определялись наилучшие районы путем выбора буферного расстояния между автомобильными дорогами, линиями электропередачи, сельскохозяйственными угодьями, населенными пунктами и по другим критериям. Наконец, были обсуждены наиболее важные результаты исследований и представлена карта пригодности для фотогальванических систем.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нахичеванская АР расположена на юго-западе Азербайджана, на 38°82'–39°78' с. ш. и 44°77'–46°13' в. д. 65% территории находится на высоте более 750 м над уровнем моря. Район расположен в полузасушливой климатической зоне. Нахичеванская АР окружена Даралагезским хребтом Малого Кавказа на севере и Зангезурским хребтом на востоке. Площадь Республики составляет 5387 км<sup>2</sup>. Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность в регионе колеблется от 1220 до 1699 кВтч/м<sup>2</sup> в год [Global Solar Atlas..., 2020] (см. рис. 3). Это самый высокий показатель на Южном Кавказе со среднегодовым значением 1460 кВтч/м<sup>2</sup>. Кроме того, по своему географическому и блокадному положению, а также надежности

электроснабжения Нахичеванской АР может считаться наиболее перспективным географическим регионом Азербайджана для инвестиций в солнечную энергетику.

Значения суммарного солнечного излучения на горизонтальной поверхности в Нахичевани были рассчитаны путем преобразования данных ЦМР с использованием инструмента солнечного излучения на основе ГИС и сравнения данных GSA. В зависимости от топографических особенностей значения прямого солнечного излучения играют важную роль в определении наклона и азимута фотоэлектрических панелей. Поскольку северные районы Республики имеют среднегорный рельеф, то здесь наблюдаются более низкие значения радиации по сравнению с южными районами. Угол и направление солнечных лучей играют важную роль в определении угла установки фотоэлектрических панелей. Например, в районе 39°21' с. ш. и 45°40' ю. д. максимальный угол азимута светового дня в течение года составляет 74,5° (22 июня), а минимальный – 27,5° (22 декабря). Общая годовая продолжительность солнечного сияния составляет 2366 часов, суточная продолжительность солнечного сияния составляет максимум 13 и минимум 8,5 часов в сутки. Фотоэлектрические панели удобнее устанавливать по южному азимутальному углу (между 136,78–226,37°) под углом 36–38° относительно широты, на которой находится Нахичевань (табл. 5). Кроме того, в этом географическом месте годовой общий горизонтальный DNI (199 кВтч/м<sup>2</sup>), DHI (67 кВтч/м<sup>2</sup>), индекс ясности (0,597) и уровень месячной температуры воздуха близки к идеальному рабочему диапазону для солнечных панелей в большинстве месяцев (25°C) (табл. 6).

Пространственные данные, включенные в исследование, были получены с помощью передовой системы наблюдения за землей, радара с синтезированной аппаратурой с прогрессивной решеткой (PALSAR) и спутников Landsat 7 [Alaska Satellite Facility..., 2020]. Данные цифровой модели высот имеют разрешение 12,5 × 12,5 м. С их использованием были созданы карты высот, наклона и вида. С помощью инструментов ArcMap определены уклон и рельеф поверхности Шарурского, Ордубадского, Джульфинского, Шахбузского и Бабекского районов. Таким образом, было определено, что установка фотоэлектрических панелей на строительных площадках с уклоном до 4°, или 7%, и более целесообразна с точки зрения производства энергии и принципов экономической эффективности. Годовая продолжительность солнечного сияния, являющаяся одним из важнейших параметров эффективной работы фотоэлектрических электростанций в регионе, составляет не менее

2470 часов, а среднегодовой уровень горизонтального излучения на квадратный метр – 1460 кВтч (4,35 кВтч/м<sup>2</sup> в сутки) (табл. 7, см. рис. 3). На карте распределения годовой продолжительности солнечного сияния в Нахичеванской АР средняя продолжительность рассчитана как 10,5 часов в день

[Global Monitoring Laboratory..., 2020]. Чтобы солнечные электростанции работали эффективно, следует отдавать предпочтение районам с солнечным сиянием не менее 6,5 часов и наименьшей облачностью, которые влияют на поток энергии на 10–25% [Sun power..., 2020].

Таблица 6

**Средние значения солнечной радиации, индекса чистоты и температуры в Нахичевани**  
[Solargis..., 2020; Global Solar Atlas..., 2020]

Месяц	Солнечное излучение на горизонтальной поверхности, кВтч/м <sup>2</sup>		Индекс чистоты <i>CI</i>	Температура, °С
	Прямое	Рассеянное		
I	92	35	0,502	-4,6
II	132	52	0,536	-0,3
III	180	77	0,557	5,9
IV	226	90	0,559	10,6
V	271	97	0,588	15,3
VI	307	96	0,634	20,3
VII	306	99	0,647	24,0
VIII	283	79	0,661	24,4
IX	235	61	0,660	19,3
X	163	52	0,594	13,2
XI	107	40	0,533	5,4
XII	83	30	0,504	-0,6
Год	199	67	0,597	11,1

Таблица 7

**Продолжительность солнечного сияния и участки с уклоном до 4° (7%)** [Babayev, 1999]

Район	Площадь, км <sup>2</sup>	Продолжительность солнечного сияния, ч/год
Нахичеваньский	92,6	2366
Шарурский	387,8	2597
Джюльфинский	287,9	2370
Ордубадский	198,7	2559
Шахбузский	218,6	2592
Садаракский	58,4	2660
Бабекский	135,7	2475

Еще одним важным критерием выбора места установки является размещение электростанции на минимальном расстоянии от потребителя. Таким образом, станции целесообразнее располагать вблизи районов с высоким спросом на электроэнергию, таких как городские поселения, предприятия промышленного производства и фабрики. Данные, такие как линии электропередачи, трансформаторы, автомагистрали, охраняемые зоны и сельскохозяйственные угодья, собранные с соответствующих тематических карт и базы данных OpenStreetMap, были оценены для определения оптимального места для установ-

ки электростанции. Кроме того, при выборе участка следует учитывать оседание почвы, оползни, наводнения; районы, подверженные другим стихийным бедствиям, должны находиться в пределах определенного диапазона буферных расстояний с оптимальными площадями [Al Garni, Awasthi, 2017].

Измеренные значения, характеризующие подкритерии и ограничения в рамках основных критериев для определения наиболее подходящих областей, подробно описаны в таблице 8. Здесь по степени важности рассматриваются следующие ограничивающие факторы:

- буферная 500-метровая зона до жилых районов, запретных и охраняемых территорий;
- 400-метровая буферная зона до озер;
- участки с уклоном до 4°;
- 300-метровая буферная зона до рек;
- 100-метровая буферная зона до сельскохозяйственных угодий;
- 300-метровая зона до автомобильных дорог.

При этом районы, где суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, являющаяся основным определяющим критерием, ниже 1350 кВтч/м<sup>2</sup> в год, были отнесены к непригодным из-за низкой мощности выработки электроэнергии. Например, при общем излучении 1350 и 1500 кВтч/м<sup>2</sup> разница в выработке энергии солнечными панелями на площади 1000 м<sup>2</sup> составит примерно 17000 кВтч/год (151 783 и 168 647 кВтч/год соответственно). Расчет проводится на основе формулы для

расчета солнечного выхода фотоэлектрической системы

$$E = A \cdot r \cdot H \cdot PR, \quad (6)$$

здесь  $E$  – генерируемая электрическая энергия (кВтч),  $A$  – общая площадь солнечной панели (м<sup>2</sup>),  $r$  – эффективность солнечной панели (15%),  $H$  – излучение, поступающее на наклонную принимающую поверхность панелей (затенение не включено) и  $PR$  – коэффициент потерь (0,75). В зависимости от местоположения, технологии и размера системы эти 25% потерь включают потери инвертора (от 6 до 15%), временные потери (от 5 до 15%), потери в кабеле постоянного тока (от 1 до 3%), потери в кабеле переменного тока (от 1 до 3%), потери на затенение (от 0 до 40%, в зависимости от площади), потери из-за слабого излучения (от 3 до 7%), потери из-за пыли, снега (2%) [Solar energy output..., 2020].

Таблица 8

### Критерии выбора месторасположения для солнечных электростанций [Doorga et al., 2019]

Критерии	Подкритерии	Ограничения
Потенциал солнечной энергии	Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность	1350 кВтч/м <sup>2</sup> год и выше
Топография	Уклон	До 4° (7%)
Климат	Продолжительность солнечных и пасмурных дней	До 45 дней
Землепользование	Почвы непригодные для сельского хозяйства	Бесплодные почвы (песчаные, серые, серо-коричневые, подверженные ветровой и водной эрозии)
Подключение источника питания	Расстояние до ЛЭП	До 5 км
Расстояние до зон потребления энергии	Расстояние до подстанций	До 10 км
	Расстояние до населенных пунктов	Между 300–15 000 м
Транспорт	Расстояние до автодороги	От 300–500 м
Расстояние до охраняемых территорий	Национальные парки и заказник	
Расстояние до охраняемых территорий	Ручьи, озера, реки и т. д.	

В регионе определены площади, соответствующие критериям, указанным в таблице 8. В результате классификации их буферных расстояний создана тематическая карта в масштабе 1:500 000. Эта карта была создана с помощью взвешенного наложения данных пространственного и метеорологического анализа региона с использованием инструмента переклассификации ArcGIS и модели процесса аналитической иерархии. Для определения буферного расстояния использовались инструменты растрового изображения, инструменты расстояния на основе растра и инструменты евклидова расстояния (табл. 9). Установка солнечных электростанций

вблизи жилых районов дает экономическое преимущество с точки зрения передачи электроэнергии без потерь. Кроме того, в качестве буферной зоны выбирается не менее 1 км территории вокруг жилых районов с учетом будущих демографических изменений в определенных местах. Для жилых районов он был отмечен на карте как буферная зона 1 (>1000 м), буферная зона 2 (1001–2000 м), буферная зона 3 (2001–5000 м) и буферная зона 4 (<5000 м) (см. рис. 5). В результате площадь всех определенных регионов была рассчитана с помощью инструмента «взвешенное наложение» в среде ГИС с использованием метода аналитической иерархии процессов.

Таблица 9

**Определение пригодности места по основным критериям, подкритериям и показателям для установки солнечных электростанций**

Основные критерии	Подкритерии	Индикаторы	Средние значения	Статус пригодности
Потенциал солнечной энергии	Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВтч/м <sup>2</sup> в год	1220–1350	1285	Низкая
		1351–1500	1420	Средняя
		1501–1699	1600	Высокая
Топография (рельеф, склон, аспект)	Угол наклона солнечных панелей (южное направление)	1. Широта местности (38–40° с. ш.)	Расчет угла: 38° × 0,87 + 3,1 = 36°	Пригодна
		2. Годовой фиксированный угол солнечных панелей (36–38°)	39° × 0,87 + 3,1 = 37°	
			40° × 0,87 + 3,1 = 38°	
	Уклон поверхности региона	7–21% (4–12°)	14% (8°)	Высокая
		21–39% (12–20°)	30% (16°)	Средняя
		39–100% (20–45°)	60% (31°)	Не пригодна
Климат	Высота над уровнем моря (диапазон благоприятных климатических условий), м	750–965	850	Высокая
		965–1200	1080	Средняя
		≥1200	≥1200	Не пригодна
	Количество пасмурных дней в области	65–75	70	Не пригодна
		55–65	60	Средняя
		45–55	50	Высокая
Электрическое подключение	Расстояние до ЛЭП, км	≤5	2,5	Высокая
		6–10	8	Средняя
		≥11	≥11	Не пригодна
	Расстояние до подстанции, км	≤6	4	Высокая
		7–12	8,5	Средняя
		≥13	≥13	Не пригодна
Транспорт	Расстояние до автомагистралей, км	≤2,5	1,25	Высокая
		2,6–5	3,45	Средняя
		≥5	3,60	Низкая

Еще одним вопросом при определении потенциальных территорий для развития солнечных электростанций является определение уклона и аспект местности региона в соответствии с принципами установки электростанций. Для этого растровые данные цифровой модели рельефа были преобразованы в формат многоугольника, разделены на четыре части в соответствии со степенью наклона и для каждой была рассчитана площадь поверхности. Полученные значения площади в основном охватывают равнинные участки и южные склоны региона. Таким образом, сделан вывод, что регионы Республики с уклоном до 7% (4°) в категории наиболее подходящего места занимают площадь 1244 км<sup>2</sup>. Установка в регионе солнечных электростанций на общей площади 1786 км<sup>2</sup> с уклоном 7–21% (4–12°)

из-за крутизны склонов является более затратной с экономической точки зрения [Solargis..., 2020]. Однако, следуя техническим процедурам, можно преобразовать фотоэлектрические панели для размещения их в доступные места. Установка солнечных электростанций третьей (1239 км<sup>2</sup>) и четвертой (1270 км<sup>2</sup>) категорий с уклоном 21–39% (12–20°) и 39–100% (20–45°) включает территории, трудные для использования солнечной энергии (см. рис. 4). Эти данные взвешиваются для всех регионов путем применения бинарной матрицы сравнения их критериев с использованием метода иерархии аналитических процессов (табл. 4).

Расстояние до подстанций и линий электропередачи играет важную роль в выборе наиболее подходящего места для установки солнечных электро-

станций с точки зрения предотвращения потерь энергии и дополнительных затрат. Исходя из этого аргумента, оптимальное расстояние от планируемых площадок до подстанций и ЛЭП не должно превышать 6 км, так как это значительно увеличивает первичные инвестиционные затраты [Noorollahi et al., 2016]. Места, где расстояние до подстанции и электросети составляет менее 2000 м, считаются очень подходящими для установки солнечных электростанций, однако участки на расстоянии между 2001–4000 м являются средне подходящими, 4001–6000 м – менее подходящими, а участки на расстоянии более 6001 м – неподходящими (см. рис. 5). Общие значения индикаторов для всех областей с этими четырьмя различными значениями расстояний были рассчитаны по взвешенной модели АИП.

Наличие автомагистрали на территории, предназначенной для установки солнечной электростанции, считается экономическим критерием с точки зрения предотвращения дополнительных инвестиций для транспортировки блоков солнечной энергии. Размещение станций рядом с дорогами снижает дополнительные затраты на инфраструктурные работы, такие как строительство шоссе, а также предотвращает нанесение ущерба окружающей среде и ландшафту [Al Garni, Awasthi, 2017]. Как показано на рис. 5, расстояние от 0 до 1000 м обозначено как 4 (высокая пригодность), от 1001 до 3000 м – 3 (средняя пригодность), от 3001 до 5000 м – 2 (низкая пригодность), от 7001 м и выше было отмечено как 1 (не пригодно).

В исследовании были проанализированы данные четырех основных критериев и 14 подкритериев. В модели АНР подходящие места, которые были определены путем применения матрицы парных сравнений, были ранжированы по четырем категориям от высокого до низкого. Коэффициент парных сравнений был рассчитан для проверки всех взвешенных значений  $CR$ , и было определено, что он находится на уровне 0,08 (оценочное суждение, 0,10). Затем, используя функцию моделирования Overlay в программном обеспечении ArcMap, взвешенные критерии были добавлены к областям с высоким общим солнечным излучением на горизонтальной поверхности, был определен уровень пригодности места для размещения солнечных фотоэлектрических станций. По общему количеству суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность в Нахичеванской АР была рассчитана возможность производства электроэнергии от фотоэлектрических панелей. Например, в Бабекском районе годовое значение суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность составит 1597 кВтч/м<sup>2</sup>,

а среднегодовое производство электроэнергии на 1 м<sup>2</sup> солнечной панели – 180 кВтч (КПД 15%).

## ВЫВОДЫ

В Нахичеванской АР подходящие места для установки электростанций в районах с высокой суммарной солнечной радиацией на горизонтальной поверхности в результате исследования с использованием модели АНР делятся на три категории: высокой, средней и низкой пригодности.

В результате взвешенного наложения определенных критериев с использованием инструмента ArcMap Overlay было обнаружено, что 9,5% (510 км<sup>2</sup>) территории Нахичеванской АР соответствуют районам, наиболее пригодным для размещения солнечных электростанций.

Сделан вывод, что площади со средней и низкой пригодностью для установки солнечных электростанций в регионе составляют 12% (645 км<sup>2</sup>) и 24% (1290 км<sup>2</sup>) соответственно.

54,5% исследуемой территории (2930 км<sup>2</sup>) не соответствуют критериям выбора площадки (см. рис. 5), основными из которых являются низкий суммарный уровень радиации, высокая степень облученности, охраняемые территории, плодородность почвы, плохая инфраструктура и непригодность рельефа местности.

В результате анализа пространственных, метеорологических, экологических и связанных с инфраструктурой показателей сделан вывод, что южная часть Джульфинского, Ордубадского и Бабекского районов являются наиболее оптимальными территориями для размещения электростанций.

Из общей площади 510 км<sup>2</sup>, пригодной для размещения фотоэлектрических станций, 109 км<sup>2</sup> расположены в Ордубадском, 98 км<sup>2</sup> – в Джульфинском, 124 км<sup>2</sup> – в Бабекском, 103 км<sup>2</sup> – в Шарурском и 76 км<sup>2</sup> – в Шахбузском районах.

В результате расчета можно построить фотоэлектрические электростанции общей мощностью 25 500 МВт на площади 510 км<sup>2</sup> (примерно 20 000 м<sup>2</sup> земель требуется для строительства солнечной электростанции мощностью 1 МВт). Эти электростанции могут вырабатывать 38,1 млрд кВтч электроэнергии в год, что примерно в 1,5 раза превышает общий объем производства электроэнергии в стране. Это не только сделает регион преимущественно важным с точки зрения энергетической безопасности, но также позволит ему быть экологически чистым, предотвратить глобальное потепление и загрязнение воздуха, не нанести вред здоровью человека, поддержать экономический рост и повысить конкурентоспособность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 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. 206, p. 1225–1240, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.10.024.
- Asakereh A., Soleymani M., Sheikhdavoodi M.J. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. *Solar Energy*, 2017, vol. 155, p. 342–353, DOI: 10.1016/j.soler.2017.05.075.
- Babayev S. Geography Nakhchivan Autonomous Republic. Elm, Baku, 1999, 227 p.
- Beccali M., Cellura M., Mistretta M. Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology, *Renewable energy*, 2003, vol. 28(13), p. 2063–2087, DOI: 10.1016/S0960-1481(03)00102-2.
- Devi K., Yadav S.P. A multicriteria intuitionistic fuzzy group decision making for plant location selection with ELECTRE method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, vol. 66(9-12), p. 1219–1229, DOI: 10.1007/s00170-012-4400-0.
- Doorga J.R., Rughooputh S.D., Boojhawon R. Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius, *Renewable energy*, 2019, vol. 133, p. 1201–1219, DOI: 10.1016/j.renene.2018.08.105.
- Effat H.A. Selection of potential sites for solar energy farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and multicriteria analysis, *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2013, vol. 2(1), p. 205–220.
- Gardashov R., Eminov M., Kara G., Kara E.G.E., Mammadov T., Huseynova X. The optimum daily direction of solar panels in the highlands, derived by an analytical method, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 120, 109668, DOI: 10.1016/j.rser.2019.109668.
- Khan G., Rathi S. Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian state using geographical information system (GIS), *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 2014, vol. 2(7), p. 260–266.
- Linkov I., Moberg E. Multi-criteria decision analysis: environmental applications and case studies, CRC Press, 2011, 179 p.
- Mammadov F. Yearly average maps of solar radiation in Azerbaijan, *Energy Power*, 2013, vol. 3, p. 44–50, DOI: 10.5923/j.ep.20130304.02.
- Merrouni A.A., Elalaoui F.E., Mezrhah A., Mezrhah A., Ghennioui A. Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco, *Renewable energy*, 2018, vol. 119, p. 863–873, DOI: 10.1016/j.renene.2017.10.044.
- Noorollahi E., Fadai D., Akbarpour Shirazi M., Ghodsipour S.H. Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) – a case study of Iran, *Energies*, 2016, vol. 9(8), 643, DOI: 10.3390/en9080643.
- Polatidis H., Haralambidou K., Haralambopoulos D. Multi-criteria decision analysis for geothermal energy: A comparison between the ELECTRE III and the PROMETHEE II methods, *Energy Sources, p. B, Economics, Planning and Policy*, 2015, vol. 10(3), p. 241–249, DOI: 10.1080/15567249.2011.565297.
- Quijano R., Dominguez J., Botero S. Sustainable energy planning model (MODERGIS) application to integrate renewable energy in the Colombia case, 2010, 17 p.
- Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation, McGraw, New York, 1980, 214 p.
- Uyan M. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 28, p. 11–17, DOI: 10.1016/j.rser.2013.07.042.
- Watson J.J., Hudson M.D. Regional scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation, *Landscape and Urban Planning*, 2015, vol. 138, p. 20–31, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.001.
- Vulkan A., Kloog I., Dorman M., Erell E. Modeling the potential for PV installation in residential buildings in dense urban areas, *Energy and Buildings*, 2018, vol. 169, p. 97–109, DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.03.052.
- Wang C.-N., Nguyen V.T., Thai H.T.N., Duong D.H. Multi-criteria decision making (MCDM) approaches for solar power plant location selection in Viet Nam, *Energies*, 2018, vol. 11(6), p. 1504, DOI: 10.3390/en11061504.
- Электронные источники
- Alaska Satellite Facility, Making remote-sensing data accessible, URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=nakhchivan&m=35.399139134002!42.7060546875!6!1!0!0%2C2> (access data 16.10.2020).
- Earth Data Search, ASTER Global Digital Elevation Model V003, URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/search/?hdr=1%20to%2030%20meters&fi=ASTER&fst0=Land%20Surface> (access data 12.09.2020).
- Global Solar Atlas 3.0, Azerbaijan, Nakhchivan Autonomy Republic, Solar energy resource, 2020. [https://globalsolaratlas.info/map?r=AZE:AZE.7\\_1&c=39.30579,45.4625,9](https://globalsolaratlas.info/map?r=AZE:AZE.7_1&c=39.30579,45.4625,9) (access data 09.08.2020).
- Global Monitoring Laboratory, Earth System Research Laboratories, 2020, URL: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/table.php?lat=40.417&lon=49.825&year=2020> (access data 05.10.2020).
- Solar energy output, Simulation and design of solar systems, URL: <https://photovoltaicsoftware.com/principle-resources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems> (access data 19.10.2020).
- Sun power, URL: <https://us.sunpower.com/blog/2019/05/09/how-solar-panels-work-cloudy-days> (access data 14.11.2020).
- Solargis, Solar resource maps of Azerbaijan, URL: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/azerbaijan> (access data 17.08.2020).

Поступила в редакцию 21.01.2021  
 После доработки 13.10.2021  
 Принята к публикации 27.12.2021

## OPTIMAL SITE SELECTION FOR SOLAR POWER STATIONS IN THE NAKHICHEVAN AR

N.S. Imamverdiyev

*Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Geography, Department of Economic and Political Geography, Scientific Researcher; email: imamverdiyev.nicat@gmail.com*

Since the electrical power output by converting total solar radiation using PV cells is low, it is necessary to identify areas with high solar radiation. However, low efficiency of PV panels (14–18%) and the low intensity of total solar radiation on a horizontal surface require a large installation space to achieve a certain power level. Due to the high cost of installing solar power plants, a comprehensive systematic assessment of the geographic factors of a region is necessary to select the most suitable location. The reason we chose Nakhichevan as a study area is that the radiation level is high compared to other regions of Azerbaijan (1220–1699 kWh/m<sup>2</sup> per year), and the annual duration of sunshine exceeds 2500 hours. Since the creation of solar power plants in regions with high values of the total radiation on a horizontal surface generally depends on technical, economic and environmental criteria, the areas corresponding to high criteria values in the model were thoroughly investigated using balanced comparison to identify suitable sites. The Analytical Process Hierarchy (AHP) model, based on Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) methods, was used to identify suitable locations for solar power plants. In the first phase of the study seven criteria were analyzed to determine suitable locations, i.e. total solar radiation on a horizontal surface, slope gradient, land use, buffer distance from areas with high annual solar energy potential to residential areas, proximity to substations, highways and power supply lines. In the second stage the degree of accessibility and suitability of areas according to certain criteria was determined using the Weighted Overlay tool in Geographic Information Systems (GIS). As a result of the study, it was concluded that 9,5% (510 km<sup>2</sup>) of the area of Nakhichevan has high suitability, 12% (645 km<sup>2</sup>) – average suitability and 24% (1290 km<sup>2</sup>) – low suitability for placing solar power plants. The remaining 54,5% (2930 km<sup>2</sup>) of the region are unsuitable territories because of low radiation, high slope, the presence of protected areas, settlements and agricultural areas, and poorly developed infrastructure. Optimal locations are mainly in the southern and eastern parts of the region, as shown in the polygon shape on the suitability map.

**Keywords:** renewable energy sources, solar energy, geographic information system, model of the analytical hierarchy process, site selection, Nakhichevan AR

### REFERENCES

- 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. 206, p. 1225–1240, DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.10.024.
- Asakereh A., Soleymani M., Sheikhdavoodi M.J. A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran, *Solar Energy*, 2017, vol. 155, p. 342–353, DOI: 10.1016/j.solener.2017.05.075.
- Babayev S. Geography Nakhchivan Autonomous Republic. Elm, Baku, 1999, p. 227.
- Beccali M., Cellura M., Mistretta M. Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology, *Renewable Energy*, 2003, vol. 28(13), p. 2063–2087, DOI: 10.1016/S0960-1481(03)00102-2.
- Devi K., Yadav S.P. A multicriteria intuitionistic fuzzy group decision making for plant location selection with ELECTRE method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, vol. 66(9-12), p. 1219–1229, DOI: 10.1007/s00170-012-4400-0.
- Doorga J.R., Rughooputh S.D., Boojhawon R. Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius, *Renewable Energy*, 2019, vol. 133, p. 1201–1219, DOI: 10.1016/j.renene.2018.08.105.
- Effat H.A. Selection of potential sites for solar energy farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and multicriteria analysis, *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2013, vol. 2(1), p. 205–220.
- Gardashov R., Eminov M., Kara G., Kara E.G.E., Mammadov T., Huseynova X. The optimum daily direction of solar panels in the highlands, derived by an analytical method, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, vol. 120, p. 109668, DOI: 10.1016/j.rser.2019.109668.
- Khan G., Rathi S. Optimal site selection for solar PV power plant in an Indian state using geographical information system (GIS), *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology*, 2014, vol. 2(7), p. 260–266.
- Linkov I., Moberg E. Multi-criteria decision analysis: environmental applications and case studies, CRC Press, 2011, 179 p.
- Mammadov F. Yearly average maps of solar radiation in Azerbaijan, *Energy Power*, 2013, vol. 3, p. 44–50, DOI: 10.5923/j.ep.20130304.02.
- Merrouni A.A., Elalaoui F.E., Mezrhah A., Mezrhah A., Ghennioui A. Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study, Eastern Morocco, *Renewable Energy*, 2018, vol. 119, p. 863–873, DOI: 10.1016/j.renene.2017.10.044.
- Noorollahi E., Fadaei D., Akbarpour Shirazi M., Ghodspour S.H. Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) a case study of Iran, *Energies*, 2016, vol. 9(8), p. 643, DOI: 10.3390/en9080643.

- Polatidis H., Haralambidou K., Haralambopoulos D. Multi-criteria decision analysis for geothermal energy: A comparison between the ELECTRE III and the PROMETHEE II methods, *Energy Sources, p. B, Economics, Planning, and Policy*, 2015, vol. 10(3), p. 241–249, DOI: 10.1080/15567249.2011.565297.
- Quijano R., Domínguez J., Botero S. Sustainable energy planning model (MODERGIS) application to integrate renewable energy in the Colombia case, 2010, 17 p.
- Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resources Allocation*, McGraw, New York, 1980, 214 p.
- Uyan M. GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, vol. 28, p. 11–17, DOI: 10.1016/j.rser.2013.07.042.
- Vulkan A., Kloog I., Dorman M., Erell E. Modeling the potential for PV installation in residential buildings in dense urban areas, *Energy and Buildings*, 2018, vol. 169, p. 97–109, DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.03.052.
- Watson J.J., Hudson M.D. Regional scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation, *Landscape and Urban Planning*, 2015, vol. 138, p. 20–31, DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.001.
- Wang C.-N., Nguyen V.T., Thai H.T.N., Duong D.H. Multi-criteria decision making (MCDM) approaches for solar power plant location selection in Viet Nam, *Energies*, 2018, vol. 11(6), p. 1504, DOI: 10.3390/en11061504.
- Web sources*
- Alaska Satellite Facility*, Making remote-sensing data accessible, URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/search?q=nakhchivan&m=35.399139134002!42.7060546875!6!1!10!0%2C2> (access data 16.10.2020).
- Earth Data Search*, ASTER Global Digital Elevation Model V003, URL: <https://search.earthdata.nasa.gov/search/?hdr=1%20to%2030%20meters&fi=ASTER&fst0=Land%20Surface> (access data 12.09.2020).
- Global Solar Atlas 3.0*, Azerbaijan, Nakhchivan Autonomy Republic, Solar energy resource, 2020. [https://globalsolaratlas.info/map?r=AZE:AZE.7\\_1&c=39.30579,45.4625,9](https://globalsolaratlas.info/map?r=AZE:AZE.7_1&c=39.30579,45.4625,9) (access data 09.08.2020).
- Global Monitoring Laboratory*, Earth System Research Laboratories, 2020, URL: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/table.php?lat=40.417&lon=49.825&year=2020> (access data 05.10.2020).
- Solar energy output*, Simulation and design of solar systems, URL: <https://photovoltaicsoftware.com/principle-resources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems> (access data 19.10.2020).
- Sun power*, URL: <https://us.sunpower.com/blog/2019/05/09/how-solar-panels-work-cloudy-days> (access data 14.11.2020).
- Solargis*, Solar resource maps of Azerbaijan, URL: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/azerbaijan> (access data 17.08.2020).

Received 21.01.2021

Revised 13.10.2021

Accepted 27.12.2021

## ГИС-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Т.Н. Юдина<sup>1</sup>, А.В. Богомолова<sup>2</sup>, О.В. Петухова<sup>3</sup>, А.П. Вайншток<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, лаборатория информационных систем, вед. науч. сотр., канд. ист. наук; e-mail: yudina@srcc.msu.ru*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, экономический факультет, кафедра макроэкономического планирования и стратегического управления, доцент, канд. экон. наук; e-mail: anna.bogo@gmail.com*

<sup>3</sup> *Центральный экономико-математический институт РАН, лаборатория стратегии экономического развития, вед. науч. сотр., канд. экон. наук; e-mail: ovpet44@gmail.com*

<sup>4</sup> *Институт проблем передачи информации РАН, сектор геоинформационных технологий и систем, ст. науч. сотр., канд. тех. наук; e-mail: wein@iitp.ru*

ГИС-технологии повышают потенциал социально-экономических исследований – поддерживают сбор, хранение, обработку, отображение пространственных данных и документов, привязанных к конкретной территории, предоставляют инструменты для системного анализа ситуации, сравнения и типологизации территорий, визуализации результатов. Спектр источников, используемых в социально-экономических исследованиях, неуклонно расширяется – в дополнение к официальным статистическим данным доступны «большие данные», текстовые документы, фотографии, аудио- и видеозаписи, материалы аэросъемки, космической съемки, дистанционного зондирования земли и др. ГИС-технологии позволяют интегрировать разные типы данных, характеризующих определенную территорию, и наглядно представлять их в виде слоев на электронных картах. Возможности, предоставляемые ГИС, делают их современным инструментарием для комплексного анализа регионов и территорий. Используя этот инструментарий, научное сообщество, бизнес, правительственные ведомства разрабатывают ГИС-приложения для комплексного исследования конкретных географических объектов, разрабатывают модели анализа, образовательные программы.

Значимые ГИС-приложения могут быть реализованы только на основе полноценной пространственной платформы. Формирование национальной пространственной платформы, начиная с разработки стандартов для интероперабельности ресурсов разных правительственных ведомств и других участников, – ответственность государственных органов.

В статье дается обзор некоторых действующих ГИС-приложений для социальных исследований в зарубежных и российских университетах и научных центрах и кратко представлен российский проект по разработке общедоступной платформы для исследования социально-экономических процессов в субъектах РФ с использованием инструментария ГИС. Зарубежный опыт и разработки научного сообщества России могут оказаться важными для продвижения геоинформационных методов исследования в нашей стране.

**Ключевые слова:** пространственно-временной анализ, визуализация данных, инфраструктура пространственных данных, типология регионов

### ВВЕДЕНИЕ

Тематические приложения на основе ГИС-технологий динамично развиваются во многих странах мира. Географическая информация применяется практически во всех областях человеческой деятельности. Считается, что 80% цифровой информации, используемой для принятия решений, имеет географическую привязку [Worral, 1991]. ГИС-технологии обеспечивают интеграцию данных из разных источников, характеризующих определенную территорию, поддерживают системный и сравнительный анализ территорий, представление ре-

зультатов средствами картографии, технологически совершенствуют и развивают картографический метод визуализации. ГИС-приложения реализуются усилиями правительственных ведомств, бизнеса и научного сообщества. Ответственность госорганов: а) официальная статистика и административные данные с возможно более глубокой детализацией и в значимой ретроспективе с регулярным обновлением; б) формирование национальной пространственной платформы на основе единых стандартов для интероперабельности данных разных участников. Более 120 стран реализуют программы создания

национальных инфраструктур пространственных данных [Распоряжение..., 2006]. Бизнес и университеты разрабатывают тематические приложения, модели анализа, образовательные программы.

В России имеются примеры разработки и практической реализации ГИС-приложений, сравнимые с мировыми образцами, в основном в области наук о Земле – природопользовании, сельском хозяйстве, геологии, метеорологии, землеустройстве и землепользовании, экологии, в некоторых других областях. Примеров действующих общедоступных ГИС-приложений в области социально-экономических исследований в разрезе регионов страны нет. Одна из причин – отсутствие полноценной информационной инфраструктуры, в основе которой – социально-экономическая статистика по регионам. Трудности формирования такой инфраструктуры связаны со спецификой наблюдения социальных данных в России, их ведомственной разобщенностью, отсутствием единых требований, стандартов, классификаторов, что служит препятствием для интеграции показателей в рамках единого информационного ресурса [Петухова и др., 2016].

В феврале 2019 г. принята Стратегия пространственного развития РФ, затем План работ до 2025 г. Работы по реализации Стратегии отстают от Плана.

Как и в других странах, в России активную роль в исследовании и разработках ГИС-технологий играет университетское сообщество. В ряде университетов России созданы и развиваются тематические информационные ресурсы, на основе которых разрабатываются ГИС-приложения. Зарубежный опыт и разработки научного сообщества страны в области ГИС-приложений могут оказаться важными для продвижения современных методов анализа с использованием пространственных данных и ГИС-технологий.

#### ГИС-ПРОЕКТЫ ЗА РУБЕЖОМ

Целенаправленные исследования в области ГИС-технологий начались в США в 1960-х гг. в университетах США, среди пионеров – Лаборатория компьютерной графики и пространственного анализа Массачусетского технологического института. Здесь в 1965 г. была разработана программа для исследования социальных, экономических и экологических проблем пяти американских городов и картографической визуализации результатов. Результаты были скромными – из-за ограниченного набора данных в машиночитаемом формате не удалось убедительно показать и оценить динамику процессов. Однако Лаборатория продолжала исследования и постепенно стала одним из центров по разработке и продвижению ГИС-технологий в стране и мире. Из последних проектов Лаборатории – разработка механизма поис-

ка пространственных данных в массивах «больших данных» [Corti et al., 2018].

Среди известных разработок – проект Калифорнийского университета (Беркли) по созданию системы для комплексного анализа результатов голосований, начиная с самых первых выборов президента в 1789 г. На основе анализа голосований в палатах конгресса исследованы политические процессы в стране – формирование демократической и республиканской партий, выборы президентов, палат конгресса, верховного суда, формирование границ штатов. Средствами пространственно-временного анализа были комплексно исследованы и наглядно показаны факторы, послужившие причинами и движущими силами политических процессов на уровне страны и штатов. Например, показана зависимость между размером плантаций, числом рабов и позицией конгрессменов при голосовании за отмену рабства [Riker, Ordeshook, 1968].

Университеты США, разрабатывая методы анализа социально-экономических процессов, сразу осознали необходимость формирования информационной инфраструктуры для полноценных общественно-значимых исследований. В 1962 г. 26 университетов США создали Мичиганский межуниверситетский консорциум по политическим и социальным исследованиям. Основной задачей Консорциума было создание архива и разработка технологий по сбору, обработке, организации, администрированию данных и документов, характеризующих американское общество, и предоставление средств для широкого доступа. В настоящее время Консорциум поддерживает один из крупнейших архивов социально-экономических данных в мире, хранит данные не только по США, но и ряду других стран, данные международных организаций. Большинство проектов в гуманитарных исследованиях в США и многих других странах выполняются на основе данных Консорциума [ICPSR..., 2020]. Консорциум уже в 1970-х гг. стал выполнять функции архива для нескольких министерств США, по контрактам с министерствами были разработаны ГИС-приложения для анализа и визуализации геоданных.

1970-е годы в США стали периодом государственных инициатив в сфере развития ГИС-технологий и ознакомились масштабными геоинформационными проектами под эгидой государственных структур. Один из проектов был ориентирован на применение ГИС-технологий при обработке и представлении результатов Национальных переписей населения (U.S. Census Data). Главной идеей был перевод адресов проживания граждан, указанных в переписных бланках, в географические координаты для последующего формирования электронной карты страны с учетом данных переписи населения.

Результатом проекта стало проведение переписи населения США в 1970 г. и всех последующих переписей на основе ГИС-технологии. Использование ГИС при переписи населения в США позволило создать атласы крупных городов США и электронных карт по заказу торговых и транспортных компаний. Надо отметить, что в настоящее время использование геоинформационных систем при проведении переписей населения становится распространенной мировой практикой, о чем свидетельствуют данные исследования Статистического отдела ООН, посвященного опыту проведения переписей населения [UN Report..., 2011].

Государственные ведомства США с конца 1990-х гг. активно создавали электронные карты по направлениям своей ответственности. Попытки интеграции ресурсов выявили проблему несовместимости разработок для задач комплексного анализа и сложность для повторного использования, и как результат – дублирование тематических электронных карт. В 1994 г. был издан Указ президента Клинтона, и США приступили к разработке национальной инфраструктуры пространственных данных (ИПД). Был создан Федеральный комитет по пространственным данным для координации работ [Executive order..., 1994]. Задача Комитета – разработка единых стандартов и инструкций. Первый этап работ был завершен к 2000 г. В 2002 г. правительство США приняло стратегию развития второго этапа – интеграции ресурсов бизнеса, университетов, фондов, НКО. Административно-бюджетное управление США выпустило специальный циркуляр, устанавливающий порядок работ и обязательность для государственных ведомств предоставлять ресурсы, выполненные по контрактам. В декабре 2016 г. документ был обновлен, усилены положения, регулирующие координацию деятельности участников с целью не допустить дублирования дорогостоящих работ [National Spatial..., 2016]. В текущей версии инфраструктура включает десятки тысяч электронных карт. Доступ к инфраструктуре открыт [Advancement..., 2020].

Национальный научный фонд США в 2004 г. объявил программу грантов по созданию ГИС-инфраструктуры для социальных и экономических наук. Основные требования к проектам – прозрачность, интуитивная понятность процедур, дружественный интерфейс, обучающий модуль. Среди победителей был проект Калифорнийского университета в Сан-Диего «Разработка общедоступного программного комплекса для пространственно-временного анализа для гуманитарных исследований» (Space-Time Data Analysis Toolkit for Spatial Social Science Research (STARS)) [Janikas, Rey, 2015]. Среди первых приложений – пространственно-времен-

ной анализ динамики уровня неравенства доходов жителей и темпов экономического развития по штатам США [Janikas et al., 2005]. Разработка включает развитый инструментарий сравнения и типологизации штатов. На основе данных за 1929–2015 гг. показана корреляция демографических показателей с уровнем миграции населения и трудовой миграции [Rey, 2015; 2016].

Проект STARS используется для анализа положения детей в штатах страны. Методами пространственно-временного анализа детально по каждому штату исследуются все показатели, включенные в Национальный индекс благополучия детей, – подростковая беременность, подростковые самоубийства, детская смертность, низкий вес новорожденных, поведенческие отклонения и отчисления из школы, преступность несовершеннолетних и др. Данные интегрированы с социально-экономическими показателями по каждому штату. Одно из приложений исследует штаты по уровню неравенства граждан в корреляции с показателями, наблюдаемыми в рамках индекса благополучия детей. Наблюдается прямая зависимость между уровнем жизни семей и данными по этим показателям [Howard, 2018]. Проект STARS использует самую распространенную в мире ГИС-платформу – ArcGIS (Environmental Systems Research Institute – ESRI). На платформе ArcGIS созданы сотни тематических ГИС-приложений. На базе этой платформы разработан ряд приложений для мониторинга и анализа социальных явлений для местного уровня управления, например «горячие точки» (бездомные, наркоманы, ДТП и т. п.), «справки и информация» (адреса учреждений, обучение и переобучение, спорт, развлечения и т. д.). В специальном разделе на сайте ArcGIS представлены десятки примеров для местных органов управления и граждан [Local Government..., 2020] и для правительств штатов [State Government..., 2020].

Здравоохранение – это сфера, в которой ГИС-технологии и пространственный анализ убедительно доказывают свою значимость. В 2017 г. Национальная медицинская библиотека США заказала обзор публикаций по результатам проектов с использованием ГИС-технологий. Вывод авторов однозначен – использование ГИС-приложений способствует повышению качества управления здравоохранением. Так, применение топографических карт и карт дорожно-транспортной сети по всей стране обеспечило оптимальное размещение травматологических пунктов вдоль автомобильных дорог, тем самым увеличив скорость доставки пострадавших в ДТП в учреждения здравоохранения. Пространственный анализ предоставляет инструменты динамического мониторинга и сравнения

показателей по территориям страны по заболеваемости, методам и процессу лечения и выздоровления, доступа к лечению, точности диагностики, отчетности медучреждений и контроля показателей и многих других. Качество анализа рисков для здоровья населения улучшается за счет повышения качества медицинской статистики, показателей, характеризующих состояние окружающей среды, показателей социально-экономического статуса каждой территории. Авторы обзора заключают, что возможности использования ГИС для минимизации рисков для граждан каждой территории ограничены лишь наличием и качеством медицинской и другой отраслевой статистики [McGuire..., 2017].

Активно используются ГИС-технологии и в разрешении чрезвычайных медицинских ситуаций – в 2020 г. всемирную известность получил проект Центра науки о системах и инжиниринга университета Джона Хопкинса (США). С помощью ГИС-технологий осуществляется не только мониторинг распространения вируса, но и моделируются варианты его поведения и видоизменения [COVID-19..., 2020].

Интересно, что первая по времени ГИС-система (Canadian GIS) была разработана в Канаде в начале 1960-х гг. коллективом под руководством Р. Томлинсона как земельный кадастр Канады. Свой подход к ГИС и перспективам этого нового технологического инструмента Томлинсон изложил в статье “A Geographic Information Systems for Regional Planning” (1968), а потом развил в диссертации в 1974 г., его стали величать «отец ГИС» [Tomlinson, 1974].

В Великобритании координатором исследований и методическим центром в области ГИС-приложений является Эдинбургский университет. Научная библиотека этого университета EDINA создала и поддерживает портал Go-Geo. В рамках проекта разработаны стандарты и требования к ресурсам, а также инструменты поиска. Портал поддерживает поиск по ГИС-приложениям, разработанным в университетах, бизнесом, правительством, НКО, гражданами. Команда портала разработала и ведет образовательную программу для всех университетов страны по методам пространственного анализа, консультирует исследовательские проекты и специалистов государственных ведомств и НКО, хранит архив реализованных проектов и популяризирует их [Data Distribution..., 2020].

В основе информационной инфраструктуры в Великобритании – Архив социально-экономических данных [UK Data Archive..., 2020]. Архив начал создаваться в 1970 г. на базе Ессекского университета. Задачи Архива аналогичны задачам архива Мичиганского консорциума в США. В настоящее время Архив Великобритании стал общенациональным хранилищем данных. Новые методы и

модели пространственного анализа в разрезе всех уровней административного деления страны на основе данных Архива разработаны в лаборатории пространственного анализа Лондонской школы экономики. Один из примеров так называемого буферного анализа – междисциплинарный проект изучения местного налогового законодательства и его влияние на занятость и благополучие предприятий прежде всего с точки зрения их доходов и уплачиваемых в местные бюджеты налогов в разных граничащих друг с другом графствах Великобритании [Overman, 2015]. Пример общественно-значимого проекта, разработанного по контракту с мэрией Лондона, – анализ показателей уровня жизни домохозяйств и уровня преступности в разных районах Лондона и выделение потенциально опасных районов и возможных видов преступлений в них. Беспорядки в Лондоне в 2011 г. случились в тех районах, которые ранее были названы среди районов с высоким риском преступлений, в том числе преступлений с участием подростков и молодых людей [Kawalerowicz, Biggs, 2015].

В Европейском Союзе в 2001 г. принята Программа развития европейской инфраструктуры пространственных данных. Программа включала разработку стандартов и форматов электронных карт. В марте 2007 г. в ЕС была принята Директива INSPIRE, которая регулирует формирование ИПД в области обеспечения охраны окружающей среды. Задача Директивы – обеспечить интероперабельность геоданных и сервисов. Статья 15 Директивы определяет, что на уровне ЕС должен быть создан геопортал INSPIRE. Каждая страна-участница ЕС обязана обеспечить доступ к собственным данным и сервисам посредством этого геопортала [Директива..., 2007]. В настоящее время геопортал поддерживает 34 тематических направления по охране окружающей среды [INSPIRE Geoportals..., 2020].

Исследования в научном сообществе в странах Европы отличаются ориентацией на конкретные сферы управления и потребности бизнеса и граждан. Интересен опыт Нидерландов – в Университете Делфта действует факультет ГИС-технологий. Здесь разработаны инструменты пространственно-временного анализа, дополненные 3D-технологиями для исследований в области архитектуры, окружающей среды, ландшафта. Разработаны технологические решения для поддержки задач государственного управления, а также для задач антикризисного управления [GIS enhances..., 2020].

Один из известных проектов – сравнительное исследование методами пространственного анализа пригородных зон вокруг больших городов в странах Западной Европы. Учитывая, что из-за тенденции к переезду граждан в развитых странах Европы

из центра в пригороды границы между городом и сельской местностью размываются, в каждой стране пригородные зоны могут стать дополнительным элементом, стабилизирующим развитие общества. Проект сравнивает подходы к развитию пригородных зон в нескольких странах [Wandl, 2020].

В европейских странах активно разрабатываются проекты по анализу, моделированию, прогнозу распространения COVID-19, один из известных проектов – в Институте Роберта Коха в Берлине [Koch Robert Institute, 2020]. В России компанией «Яндекс» разработан сайт «Коронавирус-монитор» с интерактивной картограммой [Coronaviruses..., 2019], на которой ежедневно отображаются данные по всем странам и регионам РФ и другая обширная инфографика.

В последние годы в США и странах Европы активно развиваются ГИС-приложения для городского развития. Наиболее известна Лаборатория «Умный город» в Массачусетском технологическом институте, США. Проекты Лаборатории включают разработки для решения городских проблем – прежде всего строительства, транспорта, охраны окружающей среды с учетом потребностей граждан на примере крупных городов мира [Ratti..., 2020].

Обзор современного состояния наиболее продвинутых исследований в области территориального анализа социальных и экономических процессов с использованием ГИС-технологий позволяет сделать вывод о том, что для их успешной реализации значимы:

- наличие национальной инфраструктуры пространственных данных, спектр и качество доступных оцифрованных геоданных;

- развитая информационная инфраструктура, в составе которой регулярно обновляемые базы пространственно-временных социально-экономических данных, аналитические публикации и другие источники, характеризующие отдельные аспекты развития территорий.

Основное условие успешного динамичного развития ГИС-приложений – востребованность со стороны общества и заинтересованность органов управления в использовании современных методов подготовки решений с использованием возможностей ГИС-технологий.

### ГИС-ПРОЕКТЫ В РОССИИ

Зарубежные исследования и приложения в области ГИС-технологий в ряде стран изначально базировались на уже действующих национальных пространственных инфраструктурах, были нацелены на масштабные ГИС-проекты и поддерживались правительством (национальные проекты США, Великобритании, Канады, стран ЕС).

В России деятельность по формированию инфраструктуры геопространственных данных началась в 2009 г., когда был принят Национальный стандарт представления базовых пространственных данных [Национальный стандарт..., 2009]. В 2017 г. Росреестр объявил о создании Федерального фонда пространственных данных с включением ресурсов федеральных и региональных ведомств [Итоги..., 2020]. Фонд содержит цифровые карты и планы открытого пользования в векторных и растровых форматах, а также ортофотоматериалы, всего около 86 млн единиц. Только 6% в открытом доступе. Получение других данных по заявлению и на платной основе.

В 2019 г. в РФ была утверждена «Стратегия пространственного развития Российской Федерации до 2025 года», в 2020 г. утвержден План работ по ее выполнению. Ситуация с формированием пространственной инфраструктуры в РФ проанализирована в докладе, изданном в 2020 г. Росреестром [Белогурова и др., 2020]. Отмечается, что существующие ресурсы являются элементами разрозненной информационной инфраструктуры, которую предстоит развивать дальше и выводить на качественно новый уровень. Основной фактор, сдерживающий этот процесс, – недостаточная развитость целевых организационных и регулирующих механизмов. В августе 2020 г. Председатель Совета Федерации В. Матвиенко заявила, что «стратегия нуждается в доработке, так как в ней не отражены проблемы развития средних и малых городов и свехурбанизации» [Матвиенко..., 2020]. Отмечены и другие проблемы [Ботороева, 2020].

Отсутствие полноценной инфраструктуры пространственных данных ограничивает исследователей. Данные о пространственной среде и инфраструктуре территории необходимы для многих системных и сравнительных социальных исследований. Например, известна зависимость числа рождений недоношенных и слабых детей, младенческих смертей от уровня загрязнений почвы, водоемов, состояния атмосферы и расстояния от источника заражения. Для доказательства этого наблюдения, достоверного анализа и надежного прогноза рисков нужна пространственная и информационная инфраструктура. В данном примере предполагается, что Росстат в сотрудничестве с Минздравом публикует статистику по рождениям недоношенных и слабых детей, младенческим смертям по регионам в динамике, Минприроды и другие ответственные ведомства публикуют данные по источникам загрязнения, Росреестр поддерживает подробные детализированные до предприятий топографические карты. Инструментарием ГИС эти данные могут быть интегрированы, системно проанализированы,

и результат представлен средствами картографии, наглядно и в динамике показывая связи между природными и антропогенными процессами и социальными явлениями в выбранных регионах.

Отечественные проекты, как правило, отличаются ориентацией на определенную предметную область, по которой представлены пространственные данные. Основные сферы применения ГИС-технологий в России – картография, инфраструктура урбанизированных территорий, геология, метеорология, опасные природные процессы. Создание официальной публичной кадастровой карты РФ с расширенными данными и указанием межевания земельных участков, справочной информацией о квартирах стимулировала проекты в области природопользования, землеустройства и землепользования, экологии, недвижимости и некоторые другие области. Карта стала результатом Федеральной целевой программы «Создание автоматизированных систем ведения государственного земельного кадастра Российской Федерации (АС ГЗК)», принятой в 1996 г. [Публичная кадастровая карта..., 2021]. Продолжительные сроки создания этого межведомственного государственного ресурса не в последнюю очередь определялись отсутствием соответствующей информационной базы, учитывающей потребности разных типов пользователей. Это подтверждает, что успех реализации ГИС-приложений зависит не только от уровня применяемых ГИС-технологий, но и от полноты и уровня развития информационной инфраструктуры, востребованности результатов органами управления.

Создание национального кадастра способствовало распространению ГИС-приложений в муниципальном управлении для задач территориального планирования. Картографические веб-сервисы предоставляют по запросу муниципалитетов кадастровые данные в утвержденном едином формате.

Наиболее близкое к социальной проблематике – внедрение ГИС в проведение переписи населения в России – находится на начальном этапе и не имеет комплексного характера, притом что международный опыт в этом направлении имеет давнюю традицию и разнообразные подходы. ГИС в зарубежных исследованиях воспринимается и используется как важный инструмент подготовки и оперативного управления процессом переписи населения. В существующей российской практике на подготовительном этапе переписи в качестве картографического обеспечения готовятся только схематические планы на территорию городских и сельских населенных пунктов, внутригородских районов и округов, а также схематические карты районов. Планируется в перспективе активно внедрять ГИС и интегрировать с другими технологиями, что особо

актуально в свете новых предложений Росстата по совершенствованию технологии проведения переписи населения в соответствии с международным опытом. В переписи 2021 г. уже была реализована возможность ответа на вопросы переписи на сайте Госуслуги РФ и использование портативных электронных устройств для заполнения переписных листов в ходе традиционного обхода.

В ряде субъектов РФ разработаны и поддерживаются ГИС-проекты, разнообразная и обширная информация по проблематике ГИС (технологии, программные продукты, приложения, наборы данных и пр.) представлена на портале ГИС ассоциации РФ [ГИС-ассоциация..., 2022]. Значительное число разработок в области ГИС представлено на портале проекта GISGeo [Геоинформационные..., 2020], целью которого является геомаркетинг, популяризация пространственного анализа и применения ГИС в бизнесе. Однако большинство представленных ресурсов не доступны или носят информационно-презентационный характер. Доступные ГИС-проекты в основном содержат документы кадастрового учета, данные геодезических измерений и топографическую информацию. Некоторые проекты поддерживают лишь справочные функции с визуализацией адресов организаций на электронных картах.

Пионерами в разработке и использовании ГИС-приложений являются бизнес и научное сообщество. Исследования по ГИС-технологиям ведутся в нескольких университетах, известны проекты и реализации Тюменского и Тверского университетов, выполненные на базе региональных геопорталов. Один из примеров проекта по применению ГИС-технологий в экономическом анализе выполнен на базе Сибирского отделения РАН. Представлен процесс создания тематических карт, на основе которых сформирована геоинформационная экономическая модель мониторинга и комплексной оценки состояния экономики и социальной инфраструктуры территории Сибирского федерального округа [Популях и др., 2011]. Известен проект по разработке электронного атласа для визуализации статистических данных о лесах России на основе данных отраслевых статистических наблюдений. Проект выполнен на географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова. Атлас реализован, но заказчик – Минприроды – не представил ресурс в открытом доступе [Мальшева и др., 2014]. Компаниями и научными организациями развиваются ГИС-проекты, связанные с добычей нефти и газа и других полезных ископаемых, известны проекты, связанные с мониторингом опасных природных явлений и охранной окружающей среды, наблюдением за мировым океаном (морской атлас) и т. д. Значительное число проектов выполняется с ис-

пользованием ГИС-платформы локализованной ArcGIS (США), но также используются и отечественные ГИС-продукты.

В России регулярно проводятся конференции по вопросам ГИС, одна из известных – Конференция ИнтерГИС [Материалы..., 2020]. Анализ статей последних лет показал, что идеи и технологические инструменты ГИС, разработанные в России, сопоставимы с мировыми образцами, но в стране значительно отстает уровень доступной исследователям и гражданам информационной и пространственной инфраструктуры, правового регулирования и административной дисциплины. Это обстоятельство подтверждает и опубликованный в начале 2020 г. доклад Росреестра [Белогурова и др., 2020].

#### ПРОЕКТ ПО РАЗРАБОТКЕ ГИС-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГИОНОВ РФ

В условиях отсутствия единого межведомственного информационного ресурса для целей социальной политики и проблематичности его создания в ближайшей перспективе безусловный интерес представляют имеющиеся реализации схожих ресурсов по отдельным направлениям социально-экономических исследований, разработанных в университетском сообществе России, таких как Портал социологических данных Российской академии народного хозяйства и государственной службы [Портал..., 2020], Единый архив социологических и экономических данных Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» [Единый архив..., 2020]. Особое место в составе подобных систем занимает Университетская информационная система РОССИЯ [УИС РОССИЯ..., 2020]. Ресурс создан и целенаправленно развивается как тематическая электронная библиотека и база данных для исследований и учебных курсов в области экономики, управления, социологии, лингвистики, философии, филологии, международных отношений и других гуманитарных наук. В составе УИС РОССИЯ – комплекс баз данных «Регионы России», «Регионы России: оперативная статистика», «Дети России», «Россия: муниципалитеты», «Финансовая статистика» на основе данных Росстата и других государственных ведомств. Массив статистических показателей дополнен модулем, включающим вычисляемые значения, снабженные справкой (определение, алгоритм, формула) области, особенности и примеры применения.

В УИС РОССИЯ реализованы инструменты визуализации показателей средствами деловой инфографики и средствами картографического анализа для формирования региональных типологий.

Раздел «Аналитические публикации» формируется из электронных версий первоисточников и включает свыше 30 представленных в ретроспективе и обновляемых на регулярной основе коллекций – мониторинги министерств; аналитические доклады, публикации и статистические массивы российских и международных исследовательских центров, издания СМИ.

В составе УИС РОССИЯ создана База географических знаний (БГЗ). База построена на основе Государственного каталога географических названий – официальном первоисточнике географических названий РФ и включает полный список географических названий основных типов объектов, поддерживается в актуальной версии ФГБУ «Центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных». Средствами БГЗ определяются названия территорий и регионов в аналитических публикациях, статьи приписываются к соответствующим регионам в базах данных. Такое решение поддерживает интегрированный поиск по статистическим показателям и аналитическим публикациям [Юдина и др., 2015].

Начата работа по созданию ГИС-платформы для социально-экономических исследований. В качестве основы для ГИС-технологии предлагается решение, разработанное специалистами Института проблем передачи информации РАН (ИППИ РАН) – функционально-ориентированный подход к мониторингу, анализу и прогнозу пространственно-временных процессов. Такая платформа реализована в проектах «Мониторинг и анализ природных процессов» [Gitis et al., 2015], «Прогноз землетрясений» [Gitis et al., 2016; Прогноз..., 2020] и «Исследование природных и антропогенных процессов в Российской Арктике» [Gitis et al., 2018; ГИС-платформа..., 2018].

Подход основан на интеграции двух оригинальных сетевых технологических средств: 1) сетевая двухуровневая ГИС-платформа, обеспечивающая наглядный доступ к результатам анализа социально-экономических процессов для широкого класса пользователей (1-й уровень) и комплексный анализ пространственно-временных геостатистических данных специалистами (2-й уровень); 2) систематически обновляемая база социально-экономических показателей, публикаций и документов из различных ведомств.

Картографическая Веб-ГИС 1-го уровня выполняется в архитектуре тонкого клиента (серверное приложение). Она будет загружать необходимые данные из базы данных УИС РОССИЯ, вычислять комплексные новые показатели и интегральные индексы (факторы) и визуализировать результаты в виде картограмм, графиков, диаграмм и таблиц.

Простой интерфейс даст возможность легкого усвоения информации для широкого класса пользователей сети Интернет [Прототип Веб-ГИС..., 2022].

Базисом для разработки Веб-ГИС 2-го уровня, предназначенной для исследования пространственно-временных геоданных специалистами, является система КОМПАС (Java-приложение) [Богомолова и др., 2011, ГИС КОМПАС..., 2020], которая будет первоначально запускаться с ГИС-проектом, автоматически подготовленным на первом уровне. При этом пользователь сможет дополнительно загружать в ГИС второго уровня данные с произвольных удаленных серверов и своей локальной сети, а также сможет сохранять результаты работы в виде персонального ГИС-проекта. ГИС КОМПАС имеет развитый инструментарий для детального анализа исследуемых пространственно-временных процессов специалистом.

В сотрудничестве со специалистами ИППИ РАН развиваются методы пространственно-временного анализа, типологизации и оценивания индексов различных характеристик административных субъектов.

Разрабатываемый функционально ориентированный на анализ пространственно-временных социально-экономических процессов инструментарий является современным технологическим средством для учебного процесса и исследований в университетах и может быть востребован в науч-

ных организациях и ведомствах для сравнительного анализа административных субъектов РФ.

## ВЫВОДЫ

Отечественные ГИС-приложения, сравнимые с мировым уровнем, выполнены в областях, по которым представлены полноценные пространственные данные – картография, геология, метеорология, опасные природные процессы, чрезвычайные ситуации и др. В реализации ГИС-приложений для социально-экономических исследований Россия отстает от развитых стран. Данные о пространственной среде и инфраструктуре территории необходимы для многих системных и сравнительных социальных исследований. Отсутствие полноценной инфраструктуры пространственных данных ограничивает специалистов.

Пространственный анализ не стал инструментом и не внедрен в широкую практику подготовки решений на всех уровнях управления в РФ [Белогурова и др., 2020]. Формирование национальной инфраструктуры пространственных данных сталкивается с административными и организационными трудностями. Но процесс идет, и разработки научного сообщества страны в области ГИС-приложений могут оказаться важными для продвижения современных методов анализа и принятия решений с использованием пространственных данных и ГИС-технологий.

**Благодарность.** Работа поддержана грантом РФФИ № 20-07-00700 на проект «Разработка новой геоинформационной технологии и информационного ресурса для исследования пространственно-временных социально-экономических процессов в субъектах Российской Федерации».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белогурова Е.Б., Воробьев В.Е., Гвоздев О.Г. и др. Пространственные данные: потребности экономики в условиях цифровизации // Фед. служба гос. регистрации, кадастра и картографии; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики»; НИИ «АЭРОКОСМОС». М.: НИУ ВШЭ, 2020. 128 с.
- Богомолова А.В., Юдина Т.Н., Вайниток А.П., Гитис В.Г. ГИС-технология для анализа субъектов РФ по геостатистическим данным // Прикладная информатика. 2011, № 1 (31). С. 61–76.
- Мальшева Н.В., Золина Т.А., Владимирова Н.А. Локальный картографический сервис для визуализации статистических данных о лесах России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2014. № 6. С. 32–38.
- Петухова О.В., Богомолова А.Б., Юдина Т.Н. О подходах к формированию межведомственных статистических ресурсов, необходимых для мониторинга выполнения социальных программ // Вопросы статистики. 2016. № 6. С. 61–72.
- Популях Ю.Г., Ададинова Л.Ю., Ойдун Т.М. Геоинформационные технологии в системном анализе экономики и социальной инфраструктуры территорий // Экономический анализ: теория и практика. 2011. Вып. 38. С. 2–12.
- Юдина Т.Н., Богомолова А.В., Петухова О.В. Университеты и образовательные технологии для развития общества // Образовательные технологии и общество. 2015. Т. 18. № 3. С. 462–487.
- Corti P., Kralidis A.T., Lewis B. Enhancing discovery in spatial data infrastructures using a search engine, *Peer Journal Computer Science*, 2018, no. 4, p. e152.
- Gitis V., Derendyaev A., Weinstock A. Web-based GIS technologies for monitoring and analysis of spatio-temporal processes, *International Journal of Web Information Systems*, 2016, vol. 12(1), p. 102–124.
- Gitis V.G., Derendyaev A.B., Petrov K.N., Weinstock A.P., Dumanskaya I.O., Zatssepa S.N., Zelenko A.A., Ivchenko A.A., Nesterov E.S. Technology of Monitoring and Analysis of the Hydrometeorological Situation in the Arctic, *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2018, vol. 63(6), p. 691–705.
- Gitis V.G., Derendyaev A.B., Weinstock A.P. Web-Based Geographic Information Technologies for Environ-

- mental Monitoring and Analysis, *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2015, ICCSA 2015, Lecture Notes in Computer Science*, 2015, vol. 9157.
- Janikas M.V., Rey S.J. Spatial Clustering, Inequality and Income Convergence, *Region Development*, 2005, vol. 21, p. 45–64.
- McGuire S. Understanding the use of geographical information systems (GIS) in health informatics research: A review, *Journal of Innovative Health Information*, 2017, vol. 24(2), p. 940, DOI: 10.14236/jhi.v24i2.940.
- Overman H. GIS a job: what use geographical information systems in spatial economics, *Journal of regional science*, 2010, vol. 50(1), p. 165–180.
- Rey S. Bells in Space: The Spatial Dynamics of US Interpersonal and Interregional Income Inequality, *International Regional Science Review*, 2015, vol. 41(2), DOI: 10.1177/0160017615614899.
- Rey S. Bells in Space: The Spatial Dynamics of US Interpersonal and Interregional Income Inequality, *Sage Journal*, 2016, vol. 41, iss. 2, p. 152–156.
- Riker W.H., Ordeshook P.C. A Theory of the Calculus of Voting, *American Political Science Review*, 1968, vol. LXII, p. 25–42.
- Wandl A. Territories-in-between. A Cross-case Comparison of Dispersed Urban Development in Europe, *Architecture and the Built Environment*, 2020, no. 2, DOI: 10.7480/abe.2019.14.
- Worral L. Spatial analysis and spatial policy using geographic information systems, London, Belhaven Press, 1991, 236 p.
- Электронные ресурсы*
- Ботороева Е. Матвиенко предложила доработать Стратегию пространственного развития России до 2025 года // Парламентская газета. 18 августа 2020. URL: <https://www.pnp.ru/social/matvienko-predlozhila-dorobotat-strategiyu-prostranstvennogo-razvitiya-rossii-do-2025-goda.html> (дата обращения 30.10.2020).
- Геоинформационные технологии, геомаркетинг, гео-данные: GISGeo. URL: <http://gisgeo.org/gisportal/geoportals.html> (дата обращения 10.10.2020).
- ГИС КОМПАС. Дети России. Индекс благополучия. URL: <https://distcomp.ru/geo/compass> (дата обращения 10.10.2020).
- ГИС-ассоциация: портал. 2020. URL: <http://gisa.ru> (дата обращения 10.10.2020).
- ГИС-платформа. 2018. URL: <http://distcomp.ru/geo/arctic/> (дата обращения 10.10.2020).
- Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2007/2/ЕС от 14 марта 2007 г. об установлении инфраструктуры пространственной информации в ЕС (INSPIRE). URL: <http://base.garant.ru/704440734/> (дата обращения 10.10.2020).
- Единый архив социологических и экономических данных НИУ ВШЭ. URL: <http://sophist.hse.ru/> (дата обращения 06.04.2020).
- Итоги 2019 года и ближайшие перспективы // Федеральный фонд пространственных данных РФ. URL: <https://rosreestr.gov.ru/activity/geodeziya-i-kartografiya/federalnyu-kartografo-geodezicheskiy-fond/> (дата обращения 13.01.2020).
- Матвиенко предложила доработать Стратегию пространственного развития России до 2025 года // Парламентская газета. 18.08.2020. URL: <https://www.pnp.ru/social/matvienko-predlozhila-dorobotat-strategiyu-prostranstvennogo-razvitiya-rossii-do-2025-goda.html> (дата обращения 10.10.2020).
- Материалы Международной конференции «ИнтерКарто. ИнтерГИС». URL: <http://intercarto.msu.ru/jour/index.php?lang=ru> (дата обращения 22.11.2020).
- Национальный стандарт базовой подготовки пространственных данных, ГОСТ Р 53339-2009. Группа Т43. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53339-2009> (дата обращения 30.10.2020).
- Портал социологических данных РАНХ и ГС. URL: <https://social.ranepa.ru/baza> (дата обращения 10.10.2020).
- Прогноз. 2020. URL: <http://distcomp.ru/geo/prognosis/> (дата обращения 10.10.2020).
- Прототип Веб-ГИС. 2022. URL: <http://geo.iitp.ru/map2/> (дата обращения 14.01.2022).
- Публичная кадастровая карта Российской Федерации. URL: <https://публичная-кадастровая-карта.рф/> (дата обращения 13.01.2022).
- Распоряжение Правительства РФ от 21 августа 2006 г. № 1157-р «О Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных РФ». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12049036/#1000> (дата обращения 30.10.2020).
- УИС РОССИЯ. Университетская информационная система. URL: <http://uisrussia.msu.ru> (дата обращения 30.10.2020).
- Advancement of the national spatial data infrastructure, Federal Geographical Data Committee, URL: <https://www.fgdc.gov/nsdi/nsdi.html> (дата обращения 30.10.2020).
- Coronavirus (COVID-19), URL: <https://coronavirus-monitor.ru/> (дата обращения 14.01.2022).
- COVID-19. Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU), URL: <https://www.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6> (дата обращения 06.10.2020).
- Data Distribution Report – Go-Geo! The Geo-Data Portal Project, URL: <https://studylib.net/doc/9008437/data-distribution-report---go-geo--the-geo-data-portal-pr> (дата обращения 30.10.2020).
- European Geographic Information Infrastructure, URL: [https://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2001/icc2001/file/f14009.pdf](https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2001/icc2001/file/f14009.pdf) (дата обращения 06.10.2020).
- Executive order 12906, 1994, URL: <https://govinfo.library.unt.edu/npr/library/direct/orders/20fa.html> (дата обращения 30.10.2020).
- GIS enhances the spatial intelligence of landscape architects, Faculty of Architecture and the Built Environment, Delft University, URL: <https://www.tudelft.nl/en/architecture-and-the-built-environment/research/research-stories/more-stories/2015/gis-enhances-the-spatial-intelligence-of-landscape-architects/> (дата обращения 30.10.2020).
- Howard J. The best and worst US states for children CNN, June 27, 2018, URL: <https://edition.cnn.com/2018/06/27/health/child-well-being-state-rankings-study/> (дата обращения 06.10.2020).
- ICPSR. Inter-University Consortium for Political and Social Research, URL: <https://www.icpsr.umich.edu/> (дата обращения 30.10.2020).
- INSPIRE Geoportal. Enhancing access to European spatial data, 2020, URL: <https://inspire.ec.europa.eu/> (дата обращения 13.01.2020).

- Koch Robert Institute, Event Horizon Covid-19, URL: [https://www.rki.de/EN/Home/homepage\\_node.html;jsessionid=6201630F6E094F89D53DF538F6424379.internet062](https://www.rki.de/EN/Home/homepage_node.html;jsessionid=6201630F6E094F89D53DF538F6424379.internet062) (дата обращения 13.01.2022).
- Local Government: Improving local government operations and enhancing services provided to the public, URL: <https://solutions.arcgis.com/gallery/#s=0> (дата обращения 06.10.2020).
- National Spatial Data Infrastructure Strategic Framework, 2016, URL: <https://www.fgdc.gov/nsdi-plan/2017/nsdi-strategic-framework.pdf> (дата обращения 30.10.2020).
- Ratti C. MIT Senseable City Lab, URL: <http://senseable.mit.edu/> (дата обращения 06.10.2020).
- State Government: Improving state government operations and enhancing services provided to the public, URL: <https://solutions.arcgis.com/gallery/#s=0&md=industries:state-government> (дата обращения 06.04.2020).
- Tomlinson R. Geographic Information Systems, Spatial Analysis, and Decision Making in Government, 1974, URL: [https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1563584/1/Tomlinson\\_Thesis.pdf](https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1563584/1/Tomlinson_Thesis.pdf) (дата обращения 22.11.2020).
- UK Data Archive, University of Essex, URL: <https://www.data-archive.ac.uk/> (дата обращения 30.10.2020).
- UN Report on the Results of a Survey on Census Methods used by Countries in the 2010 Census Round, 2011, URL: <http://unstats.un.org/unsd/censuskb20/Knowledgebase-Article10696.aspx> (дата обращения 06.10.2020).

Поступила в редакцию 19.04.2020

После доработки 06.11.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## GIS-TECHNOLOGIES FOR SOCIAL INVESTIGATIONS

T.N. Yudina<sup>1</sup>, A.V. Bogomolova<sup>2</sup>, O.V. Petuhova<sup>3</sup>, A.P. Vainshtok<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Lomonosov Moscow State University, Research Computing Center, Laboratory of Information Systems, Leading Scientific Researcher, Ph.D. in History; e-mail: yudina@srcc.msu.ru*

<sup>2</sup> *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Economics, Department of macroeconomic planning and strategic management, Associate Professor, Ph.D. in Economics; e-mail: anna.bogo@gmail.com*

<sup>3</sup> *Central Economic Mathematical Institute of the Russian Academy of Science, Laboratory of Economic Development Strategy, Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Economics; e-mail: ovpet44@gmail.com*

<sup>4</sup> *Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences, Sector of Geoinformation Technologies and Systems, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Engineering; e-mail: wein@iitp.ru*

GIS technologies increase the potential of socio-economic studies, i. e. they support collection, storage, processing and display of spatial data and documents related to a specific territory, as well as provide tools for system analysis of the situation, comparison and typology of territories and visualization of results. The range of sources for socio-economic research is steadily expanding; in addition to official statistics, “big data”, text documents, photographs, audio and video recordings, aerial photography, space photography, remote sensing of the Earth and other are available. GIS technologies make it possible to integrate various types of data characterizing a certain territory and visualize them in the form of layers on electronic maps. The possibilities offered by GIS make them modern tools for the complex analysis of regions and territories. Using these tools, the scientific community, business and government departments develop GIS applications for the comprehensive study of specific geographic objects, as well as analytical models and educational programs.

Significant GIS applications could be only implemented if there is full-fledged spatial data platform. Elaboration of the national spatial platform, starting with the development of standards for the interoperability of resources available at different government departments and other participating institutions, is the responsibility of government agencies.

The article reviews several GIS applications for social research functioning in foreign and Russian universities and research centers and briefly presents a Russian project to develop an open use platform for the study of socio-economic processes in the subjects of the Russian Federation using GIS tools. Foreign experience and inventions of the Russian scientific community may prove to be important for the promotion of geoinformation research methods in this country.

**Keywords:** spatiotemporal analysis, data visualization, spatial data infrastructure, typology of regions

**Acknowledgements.** The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-07-00700 Elaboration of innovative geoinformation technology and information resource for the investigation of spatiotemporal socioeconomic processes in constituents of the Russian Federation).

## REFERENCES

- Belogurova E.B., Vorob'ev V.E., Gvozdev O.G. et al. *Prostranstvennyye dannye: potrebnosti ekonomiki v usloviyah cifrovizatsii* [Spatial Data: the Needs of the Economy in the Context of Digitalization], The Federal Service for State Registration, Cadaster and Cartography; Higher School of Economics-National research university; ISR "AEROCOSMOS", Moscow, Higher School of Economics Publ., 2020, 128 p. (In Russian)
- Bogomolova A.V., Judina T.N., Vajnshtok A.P., Gitis V.G. GIS-tehnologiya dlja analiza sub'ektov RF po geostatisticheskim dannym [GIS-technology for the analysis of the Russian Federation subjects on the basis of geostatistical data], *Journal of Applied Informatics*, 2011, no. 1(31), p. 61–76. (In Russian)
- Corti P., Kralidis A.T., Lewis B. Enhancing discovery in spatial data infrastructures using a search engine, *Peer Journal Computer Science*, 2018, no. 4, p. e152.
- Gitis V., Derendyaev A., Weinstock A. Web-based GIS technologies for monitoring and analysis of spatio-temporal processes, *International Journal of Web Information Systems*, 2016, vol. 12(1), p. 102–124.
- Gitis V.G., Derendyaev A.B., Petrov K.N., Weinstock A.P., Dumanskaya I.O., Zatsepa S.N., Zelenko A.A., Ivchenko A.A., Nesterov E.S. Technology of Monitoring and Analysis of the Hydrometeorological Situation in the Arctic, *Journal of Communications Technology and Electronics*, 2018, vol. 63(6), p. 691–705.
- Gitis V.G., Derendyaev A.B., Weinstock A.P. Web-Based Geographic Information Technologies for Environmental Monitoring and Analysis, *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2015. ICCSA 2015, Lecture Notes in Computer Science*, 2015, vol. 9157.
- Janikas M.V., Rey S.J. Spatial Clustering, Inequality and Income Convergence, *Region Development*, 2005, vol. 21, p. 45–64.
- Malysheva N.V., Zolina T.A., Vladimirova N.A. Lokal'nyj kartograficheskij servis dlya vizualizatsii statisticheskikh dannyh o leash Rossii [Local cartographic service for visualization of the forest statistics of Russia], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2014, no. 6, p. 32–38. (In Russian)
- McGuire S. Understanding the use of geographical information systems (GIS) in health informatics research: A review, *Journal of Innovative Health Information*, 2017, vol. 24(2), p. 940, DOI: 10.14236/jhi.v24i2.940.
- Overman H. GIS a job: what use geographical information systems in spatial economics, *Journal of regional science*, 2010, vol. 50(1), p. 165–180.
- Petuhova O.V., Bogomolova A.B., Yudina T.N. O podhodah k formirovaniyu mezhdovedomstvennykh statisticheskikh resursov, neobhodimyh dlya monitoringa vypolneniya social'nykh programm [On approaches to development of interagency statistical resources for monitoring the performance of social programs], *Voprosy statistiki*, 2016, no. 6, p. 61–72. (In Russian)
- Populjah Ju.G., Adadinova L.Ju., Ojdup T.M. Geoinformatsionnye tehnologii v sistemnom analize jekonomiki i social'noj infrastruktury territorij [Geoinformation technologies in the system analysis of the economy and social infrastructure of territories], *Regional Economics: Theory and Practice, Publishing house FINANCE and CREDIT*, 2011, no. 38, p. 2–12. (In Russian)
- Rey S. Bells in Space: The Spatial Dynamics of US Interpersonal and Interregional Income Inequality, *International Regional Science Review*, 2015, vol. 41(2), DOI: 10.1177/0160017615614899.
- Rey S. Bells in Space: The Spatial Dynamics of US Interpersonal and Interregional Income Inequality, *Sage Journal*, 2016, vol. 41, iss. 2, p. 152–156.
- Riker W.H., Ordeshook P.C. A Theory of the Calculus of Voting, *American Political Science Review*, 1968, vol. LXII, p. 25–42.
- Wandl A. Territories-in-between. A Cross-case Comparison of Dispersed Urban Development in Europe, *Architecture and the Built Environment*, 2020, no. 2, DOI:10.7480/abe.2019.14.
- Worrall L. *Spatial analysis and spatial policy using geographic information systems*, London, Belhaven Press, 1991, 236 p.
- Yudina T.N., Bogomolova A.V., Petuhova O.V. Universitety i obrazovatel'nye tehnologii dlya razvitiya obshchestva [Universities and Educational Technologies for Social Development], *Educational Technology and Society*, 2015, vol. 18, no. 3, p. 462–487. (In Russian)
- Web sources*
- Advancement of the national spatial data infrastructure, Federal Geographical Data Committee, URL: <https://www.fgdc.gov/nsdi/nsdi.html> (access date 30.10.2020).
- Botoroeva E. Matvienko predlozhila dorabotat' Strategiju prostranstvennogo razvitiya Rossii do 2025 goda [Matvienko proposed to finalize the Strategy of the spatial development of Russia until 2025], Parliamentary newspaper, August 18, 2020, URL: <https://www.pnp.ru/social/matvienko-predlozhila-dorabotat-strategiyu-prostranstvennogo-razvitiya-rossii-do-2025-goda.html> (access date 10.30.2020).
- Coronavirus (COVID-19), URL: <https://coronavirus-monitor.ru/> (access date 14.01.2022). (In Russian)
- COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU), URL: <https://www.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6> (access date 06.10.2020).
- Data Distribution Report – Go-Geo! The Geo-Data Portal Project, URL: <https://studylib.net/doc/9008437/data-distribution-report---go-geo--the-geo-data-portal-pr> (access date 30.10.2020).
- Data Distribution Report – Go-Geo! The Geo-Data Portal Project, URL: <https://studylib.net/doc/9008437/data-distribution-report---go-geo--the-geo-data-portal-pr> (access date 30.10.2020).
- Direktiva 2007/2/ES Evropejskogo parlamenta i Soveta Evropy ot 14 marta 2007g. po sozdaniyu infrastruktury prostranstvennoj informatsii ES (INSPIRE) [European Parliament and Council of Europe Directive, # 2007/2/ES, March 14, 2007], URL: <http://base.garant.ru/70440734/> (access date 10.10.2020). (In Russian)
- Edinyj arhiv sociologicheskikh i ekonomicheskikh dannyh NIU VSHE [Unified archive of sociological and economic data of the National Research University Higher School of Economics], URL: <http://sophist.hse.ru/> (access date 06.04.2020). (In Russian)

- Executive order 12906, 1994, URL: <https://govinfo.library.unt.edu/npr/library/direct/orders/20fa.html> (дата обращения 30.10.2020).
- Geoinformation technologies, geomarketing, geodata: GIS-Geo, URL: <http://gisgeo.org/gisportal/geoportals.html> (access date 10.10.2020).
- GIS Association (potal), URL: <http://gisa.ru> (access date 10.10.2020). (In Russian)
- GIS COMPASS, Children of Russia, Child wellbeing, URL: <https://distcomp.ru/geo/compass> (access date 14.01.2022). (In Russian)
- GIS enhances the spatial intelligence of landscape architects, Faculty of Architecture and the Built Environment, Delft University, URL: <https://www.tudelft.nl/en/architecture-and-the-built-environment/research/research-stories/more-stories/2015/gis-enhances-the-spatial-intelligence-of-landscape-architects/> (access date 30.10.2020).
- GIS enhances the spatial intelligence of landscape architects, Faculty of Architecture and the Built Environment, Delft University, URL: <https://www.tudelft.nl/en/architecture-and-the-built-environment/research/research-stories/more-stories/2015/gis-enhances-the-spatial-intelligence-of-landscape-architects/> (access date 30.10.2020).
- GIS platform, 2018, URL: <http://distcomp.ru/geo/arctic/> (access date 10.10.2020). (In Russian)
- Howard J. The best and worst US states for children CNN, June 27, 2018, URL: <https://edition.cnn.com/2018/06/27/health/child-well-being-state-rankings-study/> (access date 13.01.2022).
- ICPSR, Inter-University Consortium for Political and Social Research, URL: <https://www.icpsr.umich.edu/> (access date 30.10.2020).
- INSPIRE Geoportal. Enhancing access to European spatial data, 2020, URL: <https://inspire.ec.europa.eu/> (access date 13.01.2022).
- Local Government: Improving local government operations and enhancing services provided to the public, URL: <https://solutions.arcgis.com/gallery/#s=0> (access date 06.10.2020).
- Materialy Mezhdunarodnoi konferensii "InterCarto. InterGIS" [Proceedings of International Conference "InterCarto. InterGIS"], URL: <http://intercarto.msu.ru/jour/index.php?lang=ru> (access date 22.11.2020). (In Russian)
- Matvienko proposed to finalize the Strategy for Spatial Development of Russia until 2025, Parliamentary newspaper, 18 August 2020, URL: <https://www.pnp.ru/social/matvienko-predlozhila-dorabotat-strategiyu-prostranstvennogo-razvitiya-rossii-do-2025-goda.html> (access date 30.10.2020). (In Russian)
- National Spatial Data Infrastructure Strategic Framework, 2016, URL: <https://www.fgdc.gov/nsdi-plan/2017/nsdi-strategic-framework.pdf> (access date 30.10.2020).
- Natsionalny standart podgotovki prostranstvennykh dannaykh, GOST P 53339-2009 [National standard for the preparation of spatial data, GOST R 53339-2009], URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53339-2009> (access date 30.10.2020). (In Russian)
- Portal sociologicheskikh dannykh RANH i GS [Portal of sociological data of the Russian Academy of National Economy and Public Administration], URL: <https://social.ranepa.ru/baza> (access date 30.10.2020). (In Russian)
- Prognosis 2020, URL: <http://distcomp.ru/geo/prognosis/> (access date 10.10.2020). (In Russian)
- Prototype Veb-GIS, 2022, URL: <http://geo.iitp.ru/map2/> (access date 14.01.2022). (In Russian)
- Publichnaya kadaastrovaya karta RF [Public Cadastral Map of the Russian Federation], URL: <https://public-cadastral-map.rf/> (access date 01.13.2022).
- Rasporyazhenie pravitel'stva RF ot 21 avgusta 2006 g. no. 1157-r "O koncepcii sozdaniya i razvitiya infrastruktury prostranstvennykh dannykh RF" [Decree of the Government of the Russian Federation of August 21, 2006, no. 1157-r. About the Concept of Creation and Development of Spatial Data Infrastructure of the Russian Federation], URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12049036/#1000> (access date 06.04.2020). (In Russian)
- Ratti C. MIT Senseable City Lab, URL: <http://senseable.mit.edu/> (дата обращения 06.10.2020).
- Results of 2019 and immediate prospects, The National Spatial Data Infrastructure (NSDI) Federalny Fond Prostranstvennykh dannykh RF [Federal Spatial Data Foundation of the Russian Federation], URL: [https://con-fig.com/wp-content/uploads/2020/02/Rebrij\\_Itoги-2019-goda-i-perspektivy-razvitiya.pdf](https://con-fig.com/wp-content/uploads/2020/02/Rebrij_Itoги-2019-goda-i-perspektivy-razvitiya.pdf) (access date 13.01.2020). (In Russian)
- State Government: Improving state government operations and enhancing services provided to the public, URL: <https://solutions.arcgis.com/gallery/#s=0&md=industries:state-government> (access date 06.04.2020).
- Tomlinson R. Geographic Information Systems, Spatial Analysis, and Decision Making in Government, 1974, URL: [https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1563584/1/Tomlinson\\_Thesis.pdf](https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1563584/1/Tomlinson_Thesis.pdf) (access date 22.11.2020).
- UIS RUSSIA [University information system], URL: <http://uisrussia.msu.ru> (access date 30.10.2020). (In Russian)
- UK Data Archive, University of Essex, URL: <https://www.data-archive.ac.uk/> (access date 30.10.2020).
- UN Report on the Results of a Survey on Census Methods used by Countries in the 2010, Census Round, 2011, URL: <http://unstats.un.org/unsd/censuskb20/KnowledgebaseArticle10696.aspx> (access date 06.10.2020).

Received 19.04.2020

Revised 06.11.2021

Accepted 27.12.2021

УДК 911.373.4

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ, НАПРАВЛЕНИЯ И ФАКТОРЫ РЕФОРМИРОВАНИЯ ШКОЛЬНОЙ СЕТИ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ РОССИИ

Д.О. Егоров<sup>1</sup>, Р.С. Николаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казанский федеральный университет, Институт международных отношений, Высшая школа международных отношений и востоковедения, кафедра международных экономических отношений, ст. преподаватель; e-mail: dmitriy.m.egorov@mail.ru

<sup>2</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, географический факультет, кафедра социально-экономической географии, доцент, канд. геогр. наук; e-mail: rrootmaa27@mail.ru

В статье анализируются процессы сокращения количества и реорганизации школ в сельской местности России за период с 1970-х по 2019 г. Было выделено два крупных периода сокращений: советский (начало 1960-х – конец 1970-х гг.), связанный с программами «плановых» преобразований расселения в сельской местности, и российский (с середины 2000-х гг. по настоящее время), начавшийся с принятия Приказа «О реструктуризации сети общеобразовательных учреждений, расположенных в сельской местности». Показаны количественные характеристики процесса закрытия школ РСФСР и России. Проведенный значительный анализ государственных документов, правовых актов и приказов показывает их доминирующую роль в определении направлений и территориальных проекций проводимых преобразований школьной сети.

Для российского этапа проведен анализ взаимосвязи динамики реорганизации школ и характеристик сельского расселения (по показателю средней плотности сельских населенных пунктов). В 2002–2019 гг. наиболее интенсивная реорганизация школ (сокращение количества от –83% до –40%) отмечена в наиболее малоселенных регионах европейского центра, северо-запада и Поволжья. Относительно стабильная сеть сел европейского юга и очаговый характер расположения населенных пунктов в Сибири и на Дальнем Востоке способствовали относительно более умеренным темпам реорганизации на этих территориях. В целом проведенное исследование показало соответствие проводимых оптимизационных решений и условий расселения, однако есть и видимые отклонения. Отмечается, что существующая статистика завышает картину происходящих ликвидаций образовательных учреждений на современном этапе, поскольку часть школ перестает учитываться после преобразования в филиал основной школы (процесс реорганизации). Расчеты автора показывают, что после формального завершения действия программы реструктуризации школ в 2010 г. администрации муниципальных образований большинства регионов были вынуждены продолжить сокращение и / или реорганизацию сети школ. В качестве осложняющих функционирование малокомплектных школ на этот раз выступили факторы «подушевого финансирования» образовательных учреждений и мероприятия по реализации государственной социальной политики (в частности уровень оплаты труда учителей).

**Ключевые слова:** сельская местность, малокомплектная школа, малочисленная школа, реорганизация, реструктуризация, ликвидация школ, депопуляция

### ВВЕДЕНИЕ

Испытав стремительную и масштабную волну урбанизации в период с начала 1950-х по конец 1970-х гг. (миграционный отток из сел и деревень в города превышал 1 млн человек ежегодно), сельская местность России столкнулась с сопутствующими депопуляции проблемами трансформации расселения. Так, заметнее всего сельская местность теряла население в регионах Нечерноземья, северо-запада европейской части и Поволжья, где механический отток происходил на фоне снижения естественного прироста населения. В это время сельское население увеличивалось только в ряде субъектов Сибири

и Дальнего Востока в рамках ресурсного освоения этих территорий и притока туда трудовых ресурсов. Также для этих районов и регионов Северного Кавказа сохранялся высокий естественный прирост у коренных народов. В последнее десятилетие советского периода миграционная убыль сельского населения замедлилась, а в начале 1990-х гг. приток мигрантов в сельскую местность и вовсе превысил отток, и численность сельского населения в стране росла. Дезурбанизация продлилась недолго и с 1996 г. прекратилась, а к 2019 г. сельское население уменьшилось в подавляющем большинстве регионов суммарно на 2,7 млн чел. Однако реаль-

ное сокращение выглядит более масштабным, действительную убыль сельского населения сглаживали административные реформы, заключающиеся в переводе населенных пунктов из статуса поселка городского типа в статус сельского пункта. Итого по подсчетам ряда специалистов в статус сельских жителей было «переведено» от 0,9 до 2,4 млн человек [Глезер, 2013; Алексеев, Сафронов, 2015; Нефедова, 2014]. Помимо этого, остается открытым вопрос корректности статистического учета сельских жителей, т. е. именно постоянно проживающих. Существует достаточное количество эмпирических исследований, подтверждающих несходство зарегистрированных жителей сельского пункта и их фактической численности. Проблема усложняется в зимнее время. Так, экспедиционные исследования, проведенные А.А. Фомкиной [Фомкина, 2017] в Степуринском сельском поселении Тверской области в 2015 г., в селе Моста Ивановской области в 2014 г. и А.И. Алексеевым, М.И. Воробьевым в селе Ансимовка Центрального Черноземья [Алексеев,

Воробьев, 2018], показали, что доля отсутствующего населения составляла порядка 30%.

Многолетнее сокращение численности сельского населения повлияло на трансформацию структуры людности сельских населенных пунктов (снп) [Казьмин, Чернышева, 2006; Егоров, Шурупина, 2018; Алексеев, Сафронов, 2015]. Происходила относительная концентрация населения в населенных пунктах с людностью более 1 тыс. человек. При этом наиболее интенсивно население теряли средние по численности снп (от 201 до 1000 жителей), что привело к уменьшению их количества и увеличению числа мельчайших населенных пунктов (с людностью 10 человек и менее) с  $-12\%$  в 1970 г. до  $-36,4\%$  в 2010 г. Происходило «спускание» среднеселенных снп в более мелкие по людности категории.

Структурные преобразования в сельской местности, накопившиеся за длительный период депопуляции населения, на современном этапе сформировали ряд региональных особенностей (рис. 1):

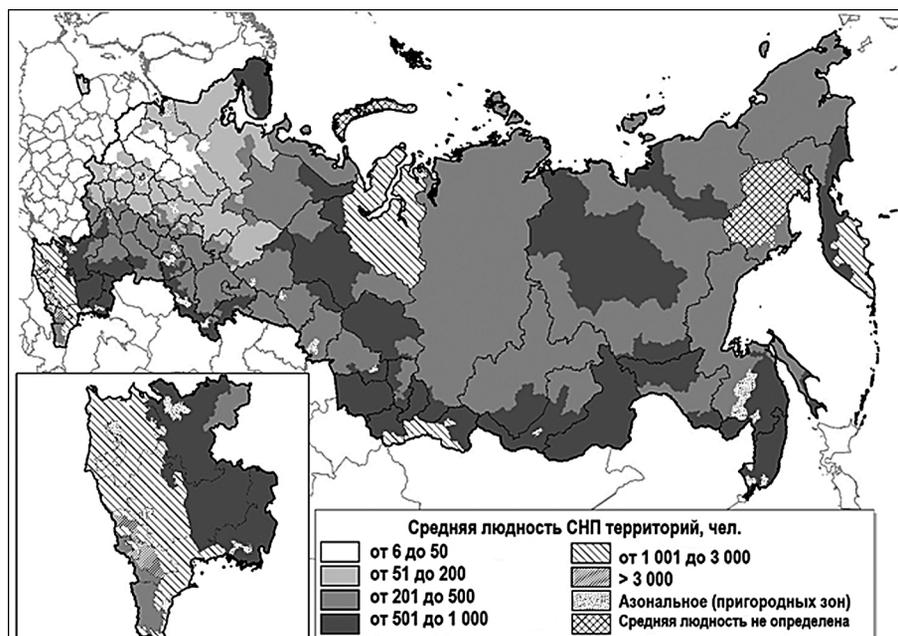


Рис. 1. Средняя людность снп в муниципальных районах России. *Источник:* составлено автором по данным ВПН 2010 г.

Fig. 1. Average population numbers of gardeners' non-commercial partnerships in the municipal regions of Russia.

*Source:* Compiled by the author based on 2010 All-Russian Population Census data

1. Нечерноземье представляет наиболее депрессивные сельские территории, которые испытывали депопуляцию с советских времен и в настоящий момент имеют практически полностью разрушенную сеть малых и средних по людности снп. Современные границы преобладания мельчайших и мелких сельских поселений расширились с перспективой охвата еще большей территории.

2. Большинство регионов юга европейской части России характеризуются более устойчивым сельским расселением в силу сохранения определяющей роли сельского хозяйства в развитии местности. Поэтому здесь отмечается сохранение природных и ландшафтных факторов в определении черт расселения.

3. В азиатской части России картина сельского расселения характеризуется сильной степенью раз-

реженности в расположении населенных пунктов на неосвоенной территории и относительной концентрацией населения в южных приграничных районах с большей людностью соответственно.

4. Административные границы субъектов не всегда совпадают с границами типов расселения, особенно в крупных регионах.

В европейской части России наиболее четко прослеживается градиент «север – юг», заключающийся в увеличении людности сельских пунктов в южном направлении. При этом плотность расположения населенных пунктов на территории падает при движении в этом же направлении. Крупноселенные типы расселения характерны для равнинного европейского юга, предгорного и местами горного Кавказа, республик Тыва и Алтай, а также для северной части ЯНАО и восточной части полуострова Камчатки. Этнокультурные особенности во многом позволяют сохранить рисунок исторического расселения, в первую очередь для горных территорий Кавказа, республик Алтай и Тыва, а также низменностей Вилюйского бассейна и Лено-Амгинского междуречья Якутии.

Особенностью длительной депопуляции сельской местности принято считать ее кумулятивный эффект. Долговременный отток населения создает структурные ограничения, которые препятствуют восстановлению депопулирующих территорий: возникает «эффект колеи» – углубление и воспроизводство негативных тенденций по причине убыли населения. Сокращение рабочей силы в молодых возрастах заставляет аграрные предприятия сворачивать свое производство и смещаться в более плотнонаселенные территории, а снижение числа клиентов приводит к падению спроса в торговле и сфере услуг. В совокупности это приводит к уменьшению поступлений в местный бюджет и, как следствие, ухудшению финансирования социальной инфраструктуры [Hoekveld, 2012], т. е. процесс имеет циклический характер.

Процессы трансформации в сельском расселении принято считать главным триггером сворачивания сети школ, которое происходит в России с разной интенсивностью, начиная с 1950-х гг. по настоящее время. Так, используя корреляционный анализ, Н.В. Зубаревич показала взаимосвязь характеристик сельского расселения (доли населения региона, проживающей в снт с людностью менее 200 чел.) и динамики сокращения сельских школ в 2000–2010 гг. [Зубаревич, 2013а, 2013б]. Схожие взаимосвязи примерно в этот же период времени устанавливает Л.В. Менщикова для Курганской области [Менщикова, 2013]. В свою очередь, ряд других авторов, немного упрощая свой анализ, в качестве фактора сокращения объектов образования

выдвигают естественную и механическую убыль населения, в частности в работах для Еврейской автономной области [Калинина, Суховеева, 2017], Забайкальского края [Горина, Баранова, 2016], Вологодской области [Кузнецова, Иванова, 2017]. Наряду с этим, сельско-городскую миграцию можно рассматривать не только как причину ликвидации школ на селе, но и как ее следствие. Проведенные исследования на территориях Мари-Турекского и Параньгинского районов Республики Марий-Эл [Чучкалов, Алексеев, 2020] и в Старицком районе Тверской области [Ткаченко и др., 2019] показали, что степень развития сферы обслуживания населения является одним из наиболее важных факторов поддержания жизнеспособности населенных пунктов. С 1980 гг. можно выделить тенденцию менее активной депопуляции населенных пунктов с более разнообразным набором услуг, предоставляемых населению различными учреждениями.

Процесс сжатия сети услуг, в частности школ, не является уникальным для России. С этими проблемами столкнулись почти все развитые страны с момента активного оттока сельчан в города. Так, правительством ряда европейских стран были разработаны и приняты программы реформирования сельских школ в меняющейся демографической ситуации. В Англии и Уэльсе еще в 1947 г. был разработан «Закон о городском и сельском планировании», различающий типы поселений на те, которые будут расширяться в местные сервисные центры, и те, в которых будет разрешено только ограниченное число объектов услуг. На примере северной части графства Норфолк авторы R.J. Green [Green, 1971] и H.D. Clout [Clout, 1972] прослеживают закрытие большого количества школ на момент 1970 г. и формирование локальных центров с начальной и старшей ступенью обучения. Авторы приходят к выводу, что сеть сельских поселений будет деградировать и дальше, что приведет к расширению практики использования автобусов для сбора учеников и их подвоза ко все меньшему числу центров оказания услуг. Эти же авторы приходят к выводу, что численность населения поселений этих территорий – ключевой критерий решения о сохранении или закрытии объектов услуг в нем. Так, для наличия в селе начальной школы и игрового поля «порогом» выступает людность в 600–1100 чел., а, например, для старшей школы и аптеки необходимо более 3 тыс. жителей. Такая модель оптимизации сектора услуг во многом была определена условиями сельского расселения графства с довольно регулярно расположенной сетью деревень, которые обычно находились на расстоянии около 3 км друг от друга. Отличительные подходы к оптимизации школ обнаружили Р. Моган и К. О’Коннор [Mogan,

О'Конног, 1981] за 1947–1976 гг. в графстве Уиммера (штат Виктория, Австралия). В послевоенное время сельское население этой территории росло, и местные власти не справлялись с обеспечением детей учителями и большими по площади школами. В рамках программы для решения этой проблемы была принята политика консолидации сельских школ, где небольшие сельские школы были закрыты в пользу перевозки детей к более крупным городским, расположенным в радиусе пяти, а позже 10 миль. После 1960-х гг. сельское население начало уменьшаться, и с этого момента сельские школы формально ликвидировались по причине недостаточной наполняемости, однако в интенсивности изменения географии школ графства сохранялась территориальная азональность по градиенту школы пригородов – школы в периферии. В 1966–1976 гг. было ликвидировано 38% сельских школ, находящихся в радиусе 10 миль от ближайшего города, против 6% сокращения школ в сельских поселениях, находящихся в удалении больше обозначенного радиуса. Разреженный характер расположения австралийских деревень предопределил стратегию оптимизации сети школ по принципу возможности городской консолидации, что отвечало запросам экономической эффективности реформы и транспортной доступности. Отдаленные села получали право сохранения автономного функционирования школ. Принцип «порога» людности для наличия и сохранения того или иного объекта услуг отходил на второй план.

Современные западные географы, занимающиеся сектором услуг, все более сдвигаются в гуманитарную географию с акцентом изучения на локальных темах и качественных методах, привнесенных из социологии [Зубаревич, 2013]. Или, если речь идет о сельских образовательных учреждениях, уходят в изучение оптимизации маршрутов автобусов к пунктам доставки учеников с использованием возможностей ГИС и языков программирования [Boussauw et al., 2014; Marique et al., 2013; Preston et al., 2007; Zwerts et al., 2010].

Авторы выдвигают исследовательскую гипотезу для объяснения процессов реструктуризации и ликвидации сельских школ в России: причину процесса реструктуризации и ликвидации сельских школ в России не стоит рассматривать строго как функцию от интенсивности депопуляции населения, но и искать причины в видении пространственного развития сельских территорий управляющими органами государства на разных временных этапах. На основе выдвинутой гипотезы в статье поставлены две задачи. Первая – детальный анализ советского и российского этапа оптимизации сельских школ, определение их интенсивности и главных факторов.

Вторая – выявление региональной специфики российского этапа оптимизации (с середины 2000-х гг. по настоящее время).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Статья основана на анализе трех групп материалов. Первая группа – материалы, не содержащиеся в открытых источниках, полученные по запросу с разрешением обработки и публикации данные Министерства просвещения РФ о количестве образовательных организаций и их структурных подразделений в сельской местности регионов России с начала 2000-х гг. Вторая группа – материалы Росстата и муниципальной статистики, включая итоги переписей населения РСФСР и России с 1959 по 2010 г., касательно динамики структуры снп по категориям людности, периодические издания, такие как Российский статистический ежегодник. Третья группа – советские и российские нормативно-правовые акты, документы, регламентирующие изменения и реформы территориального планирования, образовательной деятельности того периода.

Статистической базой для создания картосхемы «Средняя людность снп в муниципальных районах России» послужили данные переписи 2010 г. по всем 1829 муниципальным районам страны (в расчет брались также показатели из некоторых городских округов, в которые были включены снп, например в Ненецком АО), для которых собирались следующие данные: численность сельского населения, количество снп, количество снп без населения. Далее для каждого муниципального района были рассчитаны показатели средней людности снп без учета пунктов без населения.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Реформирование иерархической сети школ в периоды «плановых» преобразований расселения в сельской местности РСФСР.* К началу 1960-х гг. на большей части сельских территорий РСФСР сложилась иерархическая сеть учреждений социальных услуг. Становлению «узнаваемой» советской территориальной структуры обслуживания способствовали мероприятия по укрупнению колхозов. С конца 1930-х до начала 1960-х гг. прошло несколько волн укрупнения с наибольшей интенсивностью в 1950-е гг. В колхозах, объединявших несколько деревень, стали явно выделяться «центральные усадьбы», в которых концентрировались основные учреждения услуг: полная или неполная средняя школа, сельская амбулатория или ФАП, дом культуры или клуб, столовая, почта, позже – комплексный приемный пункт бытового обслуживания. В других, более мелких населенных пунктах (отделений,

бригад или поселков при фермах) центральных и поволжских регионов оставались неполная или лишь начальная школа, клуб, магазин «товаров повседневного спроса» и реже ФАП. Интенсивная миграция сельской молодежи в города и старение населения в малых селах в этот период способствовали процессу «укрупнения» сети социального обслуживания (например, в результате начавшегося перевода учащихся в школу при центральной усадьбе и т. п.). Но все же этот процесс не был интенсивным. Поддержание иерархической сельской сети обслуживания было одной из задач «самообеспеченности советского села». К тому же текущее содержание сельской социальной инфраструктурой поддерживалось наравне с государством и сельхозпредприятиями, получавшими за это дотации. Чаще всего в небольших селах учреждения сферы услуг до 1960-х гг. окончательно ликвидировались лишь по мере их обветшания. Однако количественные масштабы преобразования сети школ ввиду отсутствия открытой статистики оценить достаточно проблематично.

После 1960-х вплоть до конца 1970-х гг. политика государства вновь была направлена на преобразование сети сельских населенных пунктов. Отправной точкой нового витка укрупнения поселенческой структуры в сельской местности можно считать решение Пленума ЦК КПСС в 1959 г. о разработке новых схем «районных и внутрихозяйственных планировок» в сельской местности. В частности, в принятой Программе 1961 г. говорилось: «Постепенно колхозные деревни и села преобразуются в укрупненные населенные пункты городского типа с благоустроенными жилыми домами, коммунальным обслуживанием, бытовыми предприятиями, культурными и медицинскими учреждениями. В конечном счете, по культурно-бытовым условиям жизни сельское население сравнивается с городским».

Занимавшиеся этими вопросами проектные институты должны были все села и деревни разделить на две категории в зависимости от численности их населения, обеспеченности инфраструктурой и от того, в какой степени они соответствовали условиям и задачам хозяйственного развития местности. В поселениях с численностью населения не менее 1–1,5 тыс. человек планировалось строительство производственных объектов, жилья и объектов соцкультбыта. В большинстве своем это были центральные усадьбы колхозов – они стали относиться к категории «перспективные». Остальные снт стали именоваться «неперспективными» и, в свою очередь, делились на две подкатегории: сохраняемые на переходный период и селяемые. Ликвидация малых сельских пунктов и переселение жителей в «перспективные» поселки объяснялись стремлени-

ем к переходу к высококонцентрированным формам расселения. Предполагалось, что данный переход позволит увеличить за счет эффекта масштаба экономическую эффективность высокомеханизированного сельского хозяйства, сконцентрирует социально-культурные и бытовые объекты села, тем самым приблизив их уровень к городским стандартам.

Изначально планировалось к 1979 г. из 704 тыс. снт в СССР для перспективного развития оставить около 110 тыс., в последующем эти цифры пересматривались. Однако, как отмечает А.И. Алексеев [Алексеев и др., 2019], приводя доводы своих полевых исследований тех времен, а также И.Б. Карпунина, Л.Н. Мазур [Карпунина, Мелентьева, 2004; Мазур, 2002], активного преобразования «перспективных» поселков не было. В большинстве субъектов это сводилось к строительству «образцово-показательных» поселков, расположенных, как правило, вблизи областных центров (там было проще строить и больше возможностей показать свои достижения республиканскому и союзному начальству). Исключением являлась лишь Московская область, где строительство пятиэтажек и социальных объектов велось в каждой центральной усадьбе колхоза.

В то же время с 1968 г. в схемах территориального планирования для населенных пунктов, объявленных «неперспективными», более не планировалось новое строительство и капитальный ремонт объектов социальной и производственной инфраструктуры. Это приводило к закрытию школ, магазинов, клубов. Но А.И. Алексеев добавляет к этому довод, что местные власти в основном не использовали в работе разработанные схемы территориального планирования. Прежде всего, объективные условия приводили к тому, что для колхозов было оптимальнее размещать новые постройки в центральных усадьбах или в других крупных снт. Без первичных звеньев обслуживания в малых селах складывались условия, которые еще сильнее подталкивали жителей к отъезду и, как следствие, дальнейшему старению населения и исчезновению населенного пункта.

Естественное, благодаря урбанизации, и «плановое» сокращение числа сельских пунктов отчетливо прослеживается в статистике переписей населения. Так, в 1970–1979 гг. их количество в РСФСР сократилось с 216 845 до 177 047 (на 18,4%). В большей части это затронуло нечерноземные районы. Совокупность территориальных стратегий для «неперспективных» сел, не направленных на восстановление обветшавших социальных объектов в сохраняемых снт, и программы переселения жителей с полной ликвидацией оставшихся объектов обслуживания в прочих, привела к очередной фазе укрупнения сети сельских школ (рис. 2).

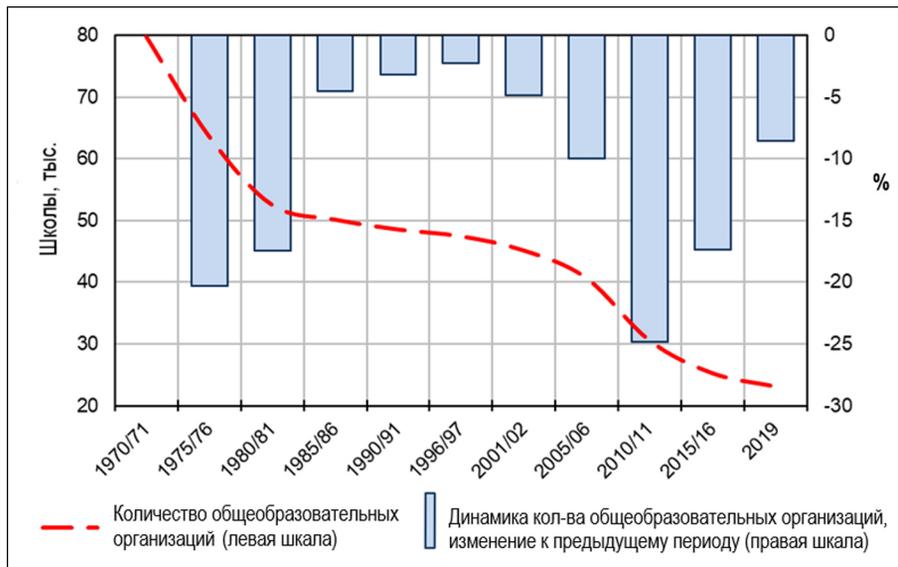


Рис. 2. Изменение числа общеобразовательных организаций в сельской местности РСФСР и России в период 1970–2019 гг. *Источник:* составлено автором по данным Российского статистического ежегодника

Fig. 2. Changes in the number of general education organizations in rural areas of the RSFSR and Russia during 1970–2019. *Source:* compiled by the author according to the Russian Statistical Yearbook

Эту трансформацию можно проследить и благодаря появившейся статистике, которая показывает интенсивные масштабы изменений. К моменту отмены решения деления снп на «перспективные» и «неперспективные» в 1980 г. количество сельских школ сократилось до 52,6 тыс. по сравнению с имевшимися почти 80 тыс. в 1970 г. К тому же пространственное сжатие обжитого пространства привело к осложнению возможностей межселенного обслуживания в силу увеличения транспортно-временных издержек.

Последнее десятилетие перед распадом СССР сеть сельских школ сжималась относительно медленно, не более 5% за 5-летний промежуток времени. Примерно такие же медленные темпы сокращения их количества были и в 1990-е гг. Оптимизация сети не была приоритетом федеральной власти в эти годы, а на региональном уровне не было правовых и нормативных документов, регламентирующих какие-либо оптимизационные решения. Незначительное сокращение количества образовательных учреждений происходило инерционно, в большей степени из-за проблем с финансированием на муниципальном уровне. Важным дифференцирующим фактором динамики сети школ в сельской местности выступали приоритеты местных региональных властей. Ряд субъектов продолжали финансировать школы в депопулирующих сельских территориях, другие же главы субъектов пытались в разной степени оптимизировать сеть школ под складывающиеся особенности расселения.

**Программа реструктуризации сельских школ России с середины 2000-х гг.** С началом 2000-х гг. со

сменой федерального правительства обозначилось направление на оптимизацию региональных расходов на «социалку». Вновь было обращено внимание на проблемы малокомплектных школ депопулирующих сельских территорий. Задача оптимизации сети образовательных учреждений была поставлена в Плане действий Правительства РФ по модернизации системы российского образования, что привело к разработке и внедрению Приказа Министерства образования РФ «О реструктуризации сети общеобразовательных учреждений, расположенных в сельской местности» со сроком реализации на период с 2002 по 2010 г.

В видении разработчиков повышение качества образования планировалось достичь за счет более эффективного использования материально-технических, кадровых, финансовых и управленческих ресурсов общеобразовательных учреждений на основе их концентрации и кооперации. Для этого были приняты в разработку новые нормативные акты, методики расчета нормативной базы общеобразовательных учреждений, регламентирующие процесс реструктуризации (табл. 1).

Таким образом, предусматривалось сокращение количества малокомплектных школ, не удовлетворяющих требованиям наполняемости. Прежде всего, это касалось учеников на уровне обучения в СОШ и ООШ с последующим их переводом в школы близлежащих населенных пунктов с большим контингентом учащихся. Прослеживалось стремление к созданию базовых школ с сетью филиалов НОШ и ранее преобразованных ООШ и СОШ в нижние по уровню ступени общеобразовательного учреждения. Наряду с нормативными критериями

реорганизации школьной сети, направленными на их концентрацию, в документе были представлены модели реструктуризации сельских школ со следующими основными идеями кооперации<sup>1</sup>:

1. *Вертикальная оптимизация структуры*: продлевается обучение учеников на базе НОШ до 5–6 классов. Детские сады интегрируются в НОШ и/или ООШ, что преобразует данные организации в оказывающие услуги и дошкольного, и начального образования.

2. *Горизонтальная оптимизация структуры*: при отсутствии достаточного количества учителей-предметников в ООШ и наличии надлежащих условий на базе ближайшей СОШ могут создаваться территориальные школьные объединения, направленные на совместное использование педагогических кадров, учебного оборудования, стадионов и других спортивных сооружений.

В 2002–2004 гг. проводились тестовые варианты реструктуризации сети общеобразовательных организаций в сельской местности 18 субъектов с применением различных моделей. После начался полноценный этап реформирования во всех субъектах. К 2005/06 учебному году число сельских школ сократилось на 10% по сравнению со значениями на момент начала реструктуризации, а за следующие пять лет сократилось почти на четверть от количества школ в 2005/06 учебном году (см. рис. 2). Таким образом, 2002–2010 гг., когда число школ сократилось с 45,2 тыс. до 30,6 тыс., стал самым интенсивным периодом оптимизации за рассмотренное время<sup>2</sup>. После формального завершения Концепции в 2010 г. ожидаемого прекращения реорганизации не случилось. Число общеобразовательных организаций по-прежнему сокращалось.

Таблица 1

**Критерии реорганизации сельских школ согласно Приказу Министерства образования РФ № 103 от 16.01.2002 г.**

Ступени обучения	Критерий наполняемости, учеников	Направление решений реорганизации
Начальная общеобразовательная школа (1–4 классы)	До 10	Преобразуется в филиал основной или средней (полной) общеобразовательной школы, расположенной в другом населенном пункте
Общеобразовательное учреждение основного общего образования (5–9 классы)	40 и менее	При наличии организационно-транспортных условий и расположенного вблизи (до 3 км) другого общеобразовательного учреждения с большим контингентом обучающихся может быть реорганизовано
Общеобразовательное учреждение среднего (полного) общего образования (10–11 классы)	100 и менее	Реорганизуется в общеобразовательное учреждение основного общего образования

За 2001–2019 гг. количество сельских школ в России сократилось почти на половину (на 49%). Естественно, что показатели сильно варьируются в различных частях страны. Исследование на уровне регионов подтверждает взаимосвязь этого процесса с характеристиками расселения и демографической структурой в целом для РФ (табл. 2). Значение линейного коэффициента корреляции (ЛКК) между долей снп с людностью менее 200 чел., средней наполняемостью школ и интенсивностью оптимизации школьной сети может интерпретировать между ними связь как заметную в 2001–2012 уч. гг. и умеренную после. На рис. 3 представлена диаграмма,

позволяющая оценить степень интенсивности реорганизаций за весь современный российский период в субъектах и случаи видимых отклонений от региональной проекции.

Наиболее интенсивная реорганизация происходила в сильно депопулирующих мельчайше- и малоселенных регионах европейской части России – Нечерноземья и Европейского Севера. За несколькими исключениями, в этих субъектах сокращение школ происходило в диапазоне от –83 до –40%. При примерно схожем расселении, этот диапазон чрезмерно широкий. К тому же в Тульской области с измельчающимися селами динамика реорганизации школ

<sup>1</sup> В документе также представлена модель, сочетающая направления концентрации и кооперации объектов обслуживания путем объединения образовательных учреждений с учреждениями дополнительного образования, культуры, спорта и здравоохранения в одном помещении.

<sup>2</sup> Однако еще раз отметим особенность, что за этот период реальных ликвидаций школ было меньше, поскольку большинство школ, «исчезнувших» из статистики, были переведены в статусы филиалов более крупных.

(составляющее –39%) заметно ниже в сравнении с другими типичными субъектами Нечерноземья. Отдельно стоит рассматривать Московскую область, благодаря положительному сальдо миграционных потоков структура расселения (относительно соседних регионов) поддерживается и интенсивно, сокращения числа школ не происходит. В этом же диапазоне присутствуют и более населенные – среднеселенные регионы Черноземной зоны и Поволжья. Из регионов этих зон лишь Самарская об-

ласть оптимизировала школьную сеть чуть менее интенсивно (на –35%). Самыми примечательными примерами являются среднеселенные Тамбовская и Тюменская области, в которых отмечены опережающие темпы реорганизации на 95 и 88% соответственно. Во многом это чрезмерная «филиализация» СОШ и ООШ с переводом их в статус ООШ и/или НОШ, что не могло не привести к осложнению транспортно-временной доступности образовательных услуг для учеников старше 6 класса.

Таблица 2

**Значения ЛКК между долей снп с людностью менее 200 чел., средней наполняемостью школ и интенсивностью оптимизации школьной сети, рассчитанных по субъектам РФ**

Показатели	Динамика количества сельских школ за 2001/02–2011/12 учебные годы, %	Динамика количества сельских школ за 2011/12–2019 учебные годы, %
Доля снп с людностью менее 200 чел. на начало анализируемого периода	–0,52	–0,42
Средняя наполняемость сельских школ на начало анализируемого периода, учеников*	0,57	0,3

*Источник:* рассчитано автором.

*Примечание:* \* значение высчитывалось как отношение числа жителей, входящих в возрастные группы от 5 до 19 лет, к количеству общеобразовательных учреждений в регионе по данным ВПН 2002 и 2010 гг.

В диапазоне не менее 20% присутствуют регионы Дальнего Востока и ряд субъектов Сибири и Крайнего Севера, сдерживающих реорганизацию школьной сети по объективным причинам: природным (суровые климатические условия, затрудняющие возможности ожидания автобусов), инфраструктурным (слабая развитость автодорог) и расселенческим (большие расстояния между населенными пунктами). Выделяется показатель реорганизации у Магаданской области (на 42%), имеющей экстремальные климатические условия в совокупности со слаборазвитой транспортно-дорожной сетью. Что, впрочем, объясняется ликвидацией и переселением ряда поселков и сел в регионе с 2000-х гг. Крупноселенные республики Северного Кавказа, Ставропольский и Краснодарский края, с Республикой Адыгея, также оптимизировали сеть школ в темпах, не опускающихся ниже 20%. Столь сдержанной по российским меркам динамике способствовало и то, что крупноселенная структура расселения поддерживается сохраняющимся на этих территориях положительным естественным приростом. Лишь в трех субъектах количество школ осталось примерно на том же уровне или незначительно увеличилось: Республика Ингушетия (на –1%), Чеченская Республика (на +3%) и Саха-

линская область (на +4%). В первых двух случаях фиксировалась низкая нормативная обеспеченность изначально, в силу различных военных конфликтов 1990-х гг. и, соответственно, восстановительная компания в последующие годы. В случае Сахалинской области прирост связан с преобразованием в 2004–2005 гг. трех городов и 25 пгт в сельские населенные пункты, что привело к статистическому увеличению количества образовательных учреждений в сельской местности.

Вновь возвращаясь к рассмотрению проблематики в разрезе 2001–2012 и 2012–2019 уч. гг., обозначим, что, после завершения срока на реструктуризацию школьной сети, делегированного Министерством образования, процесс отчасти закончился лишь в 15 субъектах. В остальных регионах с той или иной интенсивностью оптимизация продолжалась, т. е. можно говорить об ее инерции (табл. 3). Для 18 субъектов количество реорганизованных школ осталось примерно на том же уровне, что и между двумя периодами, а еще для трех – около  $\frac{3}{4}$  всех реорганизаций произошло после 2010 г. С этого времени схожие по характеру расселения регионы имеют менее схожие темпы оптимизации школьной сети. Это подтверждается и представленными ранее расчетами ЛКК для этого периода.

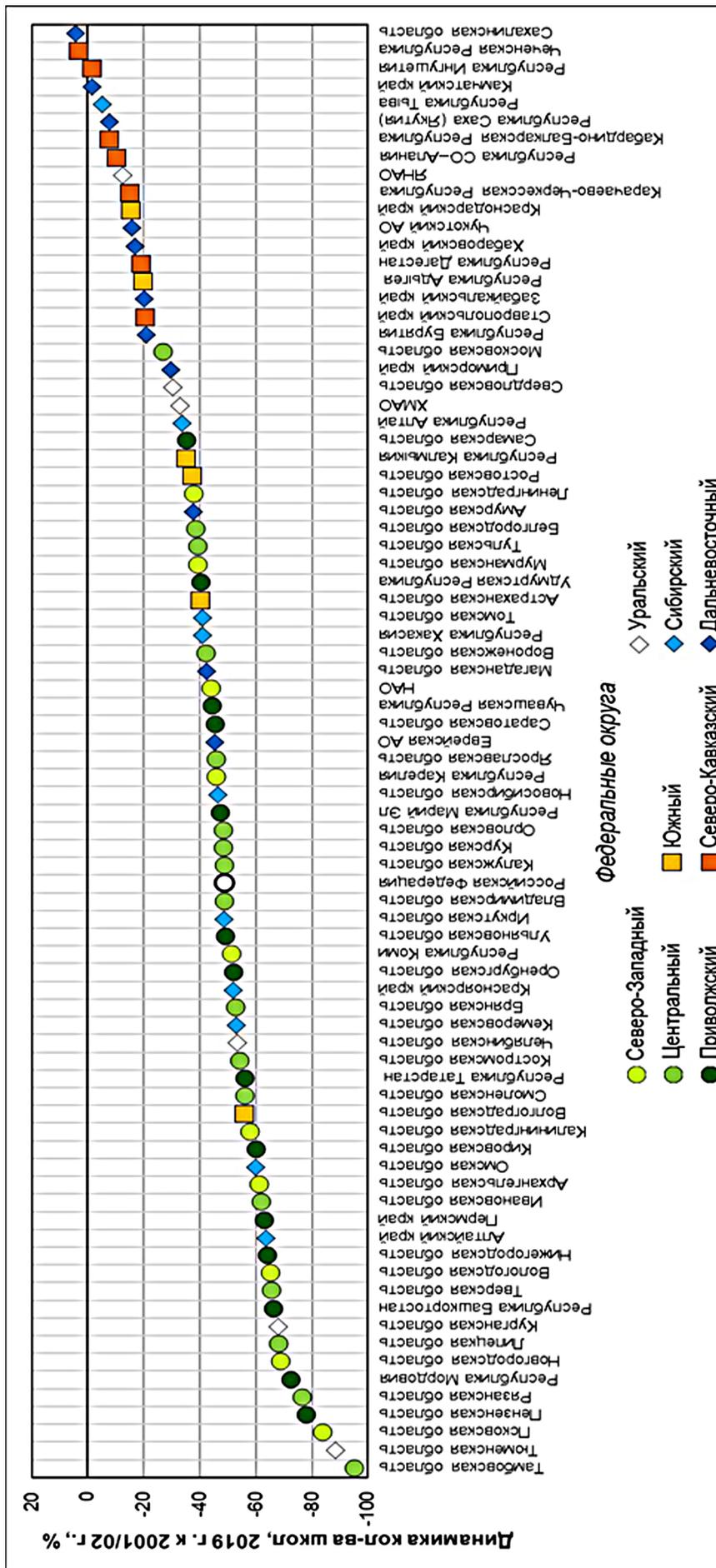


Рис. 3. Динамика числа общеобразовательных организаций в сельской местности регионов за период на начало 2019 к 2001/02 учебному году, %.  
 Источник: составлено автором на основе данных, полученных по запросу из Министерства просвещения РФ

Fig. 3. Dynamics of the number of general education organizations in rural areas of the regions at the beginning of 2019 to the 2001/02 academic year, %.  
 Source: Compiled by the author based on data received at the request from the Ministry of Education of the Russian Federation

Продолжающиеся преобразования могут содержать широкий спектр причин, не зависящих только от условий расселения и формирующихся как на федеральном, так и на местных уровнях:

1. *Правовые составляющие*: несмотря на окончание срока исполнения Приказа Концепции реструктуризации школьной сети в 2010 г., сам документ оста-

ется действующим. Это дает регионам возможность ссылаться на него при принятии оптимизационных решений и по сей день. До начала 2000-х гг. для региональных властей во многом именно правовая неопределенность и отсутствие «разрешения сверху» были сдерживающими моментами при решениях о реорганизации школ в ответ на депопуляцию сел.

Таблица 3

**Доля реорганизованных школ за делегированный период (2001/02–2011/12 уч. гг.) Концепцией «О реструктуризации сети общеобразовательных учреждений» в общем числе реорганизаций (принятом за 1) за 2001/02–2019 уч. гг.**

Доля, период / период	Субъекты РФ
Реорганизация производилась в делегированный период (доля от 0,9 до 1)	Магаданская область, Республика СО–Алания, Тамбовская область, Рязанская область, Калининградская область, Ростовская область, Липецкая область, Самарская область, Республика Хакасия, Омская область, Ставропольский край, Красноярский край, ЯНАО, Челябинская область, Мурманская область
Примерно $\frac{3}{4}$ всех реорганизаций произошло в делегированный период (доля от 0,7 до 0,8)	Новосибирская область, Саратовская область, Республика Калмыкия, Республика Марий Эл, Кемеровская область, Чукотский АО, Республика Алтай, Приморский край, Тверская область, Ивановская область, Калужская область, Архангельская область, Республика Башкортостан, Московская область, Белгородская область, Республика Карелия, Краснодарский край, Орловская область, Иркутская область, Пермский край, Костромская область, Оренбургская область, Нижегородская область, Хабаровский край, <b>Российская Федерация</b> , Удмуртская Республика, Ярославская область, Псковская область, Курская область, Пензенская область, Кировская область, Томская область, Владимирская область, Ленинградская область, Еврейская АО, Воронежская область, Республика Бурятия, Ульяновская область, Чувашская Республика, Курганская область, Тюменская область
Реорганизация производилась примерно в равных долях (доля от 0,4 до 0,6)	Республика Саха (Якутия), Кабардино-Балкарская Республика, Республика Татарстан, Республика Мордовия, Свердловская область, Волгоградская область, Республика Коми, Астраханская область, Вологодская область, Смоленская область, Забайкальский край, Новгородская область, Карачаево-Черкесская Республика, Брянская область, Республика Адыгея, ХМАО, Алтайский край, Амурская область
Примерно $\frac{3}{4}$ всех реорганизаций произошло в инерционный период (доля от 0,2 до 0,3)	Тульская область, НАО, Республика Дагестан
Иные случаи	В делегированный период произошло увеличение числа школ, а в инерционный – их уменьшение: Республика Тыва, Камчатский край, Республика Ингушетия, Сахалинская область; в делегированный период произошло уменьшение числа школ, а в инерционный – их увеличение: Чеченская Республика

Источник: рассчитано автором.

2. Переход к «подушевому финансированию»: с начала 2010-х гг. для любой школы средства выделяются с учетом того, сколько детей в ней учатся. Итоговая величина выплат, положенных в течение учебного года на одного школьника, в разных субъектах Российской Федерации различается, так как ее утверждают на местном уровне. Для малокомплектных школ в сельской местности подушевой подход не применяется. Такие школы получают

фиксированные средства из бюджета для того, чтобы вести образовательную деятельность. При этом сумма не зависит от точного количества учеников. Такой подход может показаться «спасительным» для школ в малых селах и деревнях. На практике же этого фиксированного финансирования в большинстве регионов хватало лишь на зарплату сотрудников (учителей и администрации) и немногочисленные прочие расходы. Выделенных средств не

в полной мере хватало на коммунальные услуги и услуги связи; ремонт здания, покупку мебели; приобретение необходимого для занятий оборудования и учебной литературы. Это вызывало обветшание заведений, участились случаи нехватки учебников. Для регионов<sup>3</sup>, не имеющих возможностей для дополнительных субсидий малокомплектным школам, новые правила финансирования лишь ускорили тенденции к оптимизации школ в небольших сельских пунктах. Укрупнение школьной сети выглядело способом улучшения учебно-материальной базы для контингента обучающихся (через увеличение числа учеников в одной школе и, соответственно, возможность выделения больших средств).

3. *Мероприятия по реализации государственной социальной политики*, согласно которым в 2012–2020 гг. среднемесячная зарплата учителей общеобразовательных организаций должна была достигнуть уровня средней заработной платы в регионе. Ответственность за достижения этих результатов была возложена на глав субъектов. Как отметила Н.В. Зубаревич [Зубаревич, 2014], «рьяное» выполнение указов Президента в 2012–2013 гг. привело к дестабилизации бюджетной системы субъектов Федерации. В дальнейшем регионы не смогли бы сохранять прежние темпы прибавок заработной платы работникам образования, но и указы никто не корректировал. При неизменяющемся бюджете на «социалку» альтернативными путями для региональных и муниципальных властей выступали меры по сокращению штата учителей. В действительности было два варианта развития ситуации: собственно сокращение штата и увеличение нагрузки на работников при сохранении той же доли ставки или сокращение самой структуры сети учреждений с резким ухудшением их доступности.

Период ответной адаптации школьной сети к изменениям в сельском расселении продолжился и после 2010-х гг., неся в себе инерцию направлений и моделей «Концепции реструктуризации общеобразовательных учреждений». На этот раз триггерами реформирования, наряду с объективными последствиями измельчания сельских пунктов, выступили новые форматы финансирования образовательных учреждений и персонала в них. Все это сделало формирование новой территориальной конфигурации школ зависимым от бюджетных возможностей региона и социальных приоритетов местных управленцев. Принятие решений «сверху» об изменении конфигурации сети школ зачастую приводило к ро-

сту социальных издержек. Ряд регионов чрезмерно пренебрегает ими, нарушая нормативные гарантии доступности базовых услуг для населения. Обратная связь от местного населения слабая, однако, последние годы протестные мнения по решениям реструктуризации сельских школ нарастают. Результаты социологических исследований в 2016 г. по проблемам сельской школы, проведенных в рамках мониторинга состояния сельских территорий (опрос был проведен среди 2,5 тыс. сельчан, имеющих детей школьного возраста и проживающих в 23 субъектах РФ), показали, что от 45 до 64% опрошенных отметили такие отрицательные последствия, как сокращение свободного времени школьников, утомляемость и рост заболеваемости, опасность транспортировки, отток сельского учительского корпуса и обеднение культурной жизни села. Обострились проблемы кадрового и материально-технического обеспечения сельских школ, профессионального обучения учеников. Примерно для 40% сельских учащихся из числа вынужденных добираться до места обучения транспортом школьный автобус недоступен [Бондаренко, 2017; Широкалова, 2015].

В то же время у сельского населения есть правовые возможности отстаивания собственных интересов, в абзаце 2 статьи 20 Закона РСФСР «О социальном развитии села» от 21.12.90 № 438–1 (с изм. от 28.04.93) сказано, что закрытие малокомплектных сельских школ может быть осуществлено только с согласия схода местных жителей. На практике же этим положением удалось воспользоваться считанное количество раз. Решения о реструктуризации и ликвидации школ принимаются на уровне местных администраций (муниципалитетов), а не региональными властями или министерствами образования, как многие полагают. Администрации местных органов власти, вынужденные руководствоваться принципами экономии бюджетных средств, находят пути, позволяющие закрывать школы на селе. Такая неэластичность принятия решений без учета интересов сельских сообществ усиливает конфликт интересов. Логически напрашивающиеся механизмы «золотой середины» между критериями экономической рациональности и оптимизации бюджетных расходов при непрекращающейся поляризации сельского расселения, с одной стороны, и сохранением базовой доступности без больших социальных издержек – с другой, в большинстве российских регионах не были выработаны.

## ВЫВОДЫ

Начиная со второй половины XX в., сельское население России активно депопулирует, меняется структура поселенческой сети снтп, что не может не отражаться на производственных и социальных

<sup>3</sup> К этому выводу на основе проведенных исследований и расчетов приходят для Самарской области О.Н. Гладкова [Гладкова, 2006], для Алтайского края и Новосибирской области А.Е. Лопаткина [Лопаткина, 2014], для Воронежской области Е.С. Кусмагамбетова [Кусмагамбетова, 2016].

функциях территорий. В частности, прослеживается сокращение числа школ с разной интенсивностью во времени. В силу разных по интенсивности волн урбанизации и смены политико-экономических режимов корректно выделять два этапа реформирования территориальной сети сельских школ и сокращения их количества: советский (с начала 1960-х по конец 1970-х гг.) и российский (с середины 2000-х гг. по настоящее время).

В советский период на фоне стремительной убыли сельского населения правительственные органы предприняли попытку адаптировать систему обслуживания к меняющимся условиям через процессы «планового» укрупнения системы расселения. Выделенные «неперспективные» деревни не попадали в планы развития инфраструктуры и, в конечном счете, теряли свои школы и прочие объекты обслуживания. Советский план был направлен на сглаживание социально-экономических различий между городом и деревней, но создал пространство, фрагментированное по административным единицам, и возможно еще больше усилил отток населения из села.

С 1980-х вплоть до начала 2000-х гг., несмотря на продолжающееся нарастание мелкоселенности в структуре снт, сельская сеть школ сокращалась инерционно, в небольших диапазонах. Новый виток произошел после Приказа Министерства образования РФ «О реструктуризации сети...» в 2002 г. Таким образом, период с 2002 по 2010 г., когда число школ сократилось с 45,2 тыс. до 30,6 тыс., стал самым интенсивным периодом оптимизации за рассмотренное время.

На уровне регионов прослеживается зависимость между интенсивностью сокращения ко-

личества школ и характеристикой расселения. В региональном масштабе процесс необходимо рассматривать более детально, поскольку большинство школ, «исчезнувших» из статистики, были переведены в статусы филиалов более крупных.

После формального завершения действия программы реструктуризации школ процесс реорганизации школ в большинстве регионов не прекратился. Вступившие в действие «подушевое финансирование» образовательных учреждений и мероприятия по реализации государственной социальной политики (конкретно – уровень оплаты труда учителей) поставили в невыгодное положение перед местными администрациями содержание мало наполняемых учениками школ.

Несмотря на отмеченное негативное восприятие сельским населением проводимых реорганизаций, проблема достаточно скудно освещается в центральных СМИ, мало научных и научно-прикладных исследований, оценивающих уровень социальной эксклюзии населения после ликвидации или реорганизации школы в населенном пункте проживания. Видится актуальным проведение в регионах мониторинга соблюдения гарантированных требований по временной доступности общеобразовательных учреждений.

Понятно, что процесс депопуляции сельского населения и измельчания поселенческой сети не прекратится в ближайшее время. В связи с этим возникает потребность в формировании и обосновании новых подходов функционирования всего сектора услуг во внегородском пространстве, в том числе в порядке финансирования, усовершенствования дорожной инфраструктуры.

**Благодарность.** Работа выполнена за счет средств «Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.И., Воробьев М.И.* Сколько сельских жителей в России зимой? // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 5. С. 104–107.
- Алексеев А.И., Сафронов С.Г.* Изменение сельского расселения в России в конце XX – начале XXI века // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 2. С. 66–76.
- Алексеев А.И., Сафронов С.Г., Савоскул М.С., Кузнецова Г.Ю.* Основные тенденции эволюции сельского расселения России в XX – начале XXI вв. // ЭКО. 2019. № 4. С. 26–49.
- Бондаренко Л.В.* Сельской школе быть // АПК: Экономика, управление. 2017. № 7. С. 78–89.
- Гладкова О.Н.* Трансформация образовательных и медицинских услуг в сельской местности в постсоветский период // Региональные исследования. 2006. № 4. С. 56–65.
- Глезер О.Б.* Система местного самоуправления как составная часть институциональной среды расселения в современной России // Вопросы географии. Сб. 135: География населения и социальная география / отв. ред. А.И. Алексеев, А.А. Ткаченко. М.: Кодекс, 2013. С. 224–244.
- Горина К.В., Баранова О.А.* Объекты социальной инфраструктуры как индикаторы трансформации социально-экономического пространства Забайкальского края // Вестн. Забайкальского гос. ун-та. 2016. № 8. С. 79–87.
- Егоров Д.О., Шурупина В.С.* Сельское расселение России: типология территорий по людности сельских населенных пунктов // Региональные исследования. 2018. № 4(62). С. 4–16.
- Зубаревич Н.В.* География сектора услуг: новые вызовы // Вопросы географии. № 135. География населения и социальная география. М.: Кодекс, 2013а. С. 483–491.

- Зубаревич Н.В. Трансформация сельского расселения и сети услуг в сельской местности // Известия РАН. Серия географическая. 2013б. № 3. С. 26–38.
- Казьмин М.А., Чернышева Е.А. Современная динамика сельского расселения европейской России // Региональные исследования. 2006. № 4. С. 65–77.
- Калинина И.В., Суховеева А.Б. Инфраструктура сельской местности Еврейской автономной области: 15 лет перемен // Региональные проблемы. 2017. Т. 20. № 4. С. 129–138.
- Карпунина И.Б., Мелентьева А.П. Политика ликвидации «неперспективных» деревень и ее социально-демографические последствия в Западной Сибири (1960–1980-е гг.) // Сибирская деревня: проблемы истории. Новосибирск, 2004. С. 171–185.
- Кусмагамбетова Е.С. Социальная инфраструктура сельских территорий: состояние и основные направления совершенствования // Вестн. Воронежского гос. аграрного ун-та. 2016. № 2. С. 198–204.
- Лопаткина А.Е. Структура ущерба от подушевого финансирования в образовании // ЭКО. 2014. № 8(482). С. 176–182.
- Мазур Л.Н. Политика ликвидации неперспективных деревень в 1960–1970-е гг.: истоки, этапы, реализация, результаты (на материалах Урала) // Россия в XX в.: история и историография: сб. науч. ст. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2002. С. 92–122.
- Менищикова Л.В. Территориальная трансформация систем расселения и обслуживания сельского населения Курганской области на рубеже XX и XXI веков: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Пермь, 2013. 23 с.
- Нефедова Т.Г. Десять актуальных вопросов о сельской России: Ответы географа. М.: ЛЕНАНД, 2014. 456 с.
- Ткаченко А.А., Смирнов И.П., Смирнова А.А. Трансформация сети центров сельского расселения в низовом районе Центральной России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2019. № 2. С. 78–85.
- Фомкина А.А. Расхождения в оценках численности сельского населения (на примере Тверской области) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 6. С. 88–91.
- Чучкалов А.С., Алексеев А.И. Эффект колеи в эволюции сельских населенных пунктов Республики Марий Эл // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 2. С. 53–65.
- Широкалова Г.С. Сельская школа: приказано жить или умирать? // Философия хозяйства. 2015. № 3 (99). С. 193–201.
- Boussauw K., Meeteren van M., Witlox F. Short trips and central places: The home-school distances in the Flemish primary education system (Belgium), *Applied Geography*, 2014, no. 53, p. 311–322.
- Clout H.D. *Rural geography: an introductory survey*, Oxford, Pergamon, 1972, 204 p.
- Green R.J. *Country Planning: The Future of the Rural Regions*, Manchester University Press, 1971, 123 p.
- Hoekveld J.J. Time-space relations and the differences between shrinking regions, *Built Environ.*, 2012, vol. 38, no. 2, p. 179–195.
- Marique A.-F., Dujardin S., Teller J., Reiter S. School commuting: The relationship between energy consumption and urban form, *Journal of Transport Geography*, 2013, no. 26, p. 1–11.
- Moran P., O'Connor K. Change in the Location of Primary Schools in the Wimmera, Victoria, 1947–1976, *Settlement systems in sparsely populated regions the United States and Australia*, New York, Pergamon Press, 1981, p. 262–275.
- Preston J., Raje F. Accessibility, mobility and transport-related social exclusion, *Journal of Transport Geography*, 2007, no. 15(3), p. 151–160.
- Zwerts E., Allaert G., Janssens D., Wets G., Witlox F. How children view their travel behavior: A case study from Flanders (Belgium), *Journal of Transport Geography*, 2010, no. 18(6), p. 702–710.
- Электронный ресурс*  
Зубаревич Н.В. Крым и Российская «нефедерация» // Радио свободы [сайт]. 2014. URL: <https://www.svoboda.org/a/26699669.html> (дата обращения 10.09.2020).
- Кузнецова Е.П., Иванова М.И. Тенденции развития сети общеобразовательных организаций в Вологодской области // Вопросы территориального развития. 2017. № 3(38). 10 с. URL: <http://vtr.isert-ran.ru/article/2268>.

Поступила в редакцию 17.03.2021  
После доработки 16.10.2021  
Принята к публикации 27.12.2021

## REFORMING THE SCHOOL NETWORK IN RURAL AREAS OF RUSSIA: MAIN STAGES, DIRECTIONS AND FACTORS

D.O. Egorov<sup>1</sup>, R.S. Nikolaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazan Federal University, Institute of International Relations, Higher School of International Relations and Oriental Studies, Department of International Economic Relations, Senior Lecturer; e-mail: [dmitriy.m.egorov@mail.ru](mailto:dmitriy.m.egorov@mail.ru)

<sup>2</sup> Perm State National Research University, Faculty of Geography, Department of Socio-Economic Geography, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: [rroommaa27@mail.ru](mailto:rroommaa27@mail.ru)

The article analyzes the processes of reducing numbers and reorganization of schools in rural areas of Russia for the period from the 1970s to 2019. Two large periods of rundown were identified. The Soviet one (early 1960s – late 1970s) is associated with programs of “regular” countryside transformation. The Russian one

(from the mid – 2000s to the present) began with the adoption of the Order “On restructuring of the network of educational institutions located in rural areas”. The quantitative characteristics of the process of closing schools in the RSFSR and Russia are shown. A comprehensive analysis of state documents, legal acts and orders shows their leading role in determining the directions and territorial projections of the ongoing school network transformation.

The relationship between the dynamics of school reorganization and the characteristics of rural settlement (in terms of their average population numbers) was analyzed for the Russian stage. In the period from 2002 to 2019, the most intensive reorganization of schools (reduction in the numbers from 83 to 40%) was characteristic of the least-populated regions of the European Center and the North-West and the Volga River region. Relatively stable network of villages in the European South and the disperse location of settlements in Siberia and the Far East contributed to a relatively moderate reorganization within these territories. The study showed general correspondence between the optimization solutions and the conditions of resettlement, but there are also visible deviations. It is noted that at the present stage the existing statistics overestimate the ongoing liquidation of educational institutions, since some schools are no longer considered after their transformation into a branch of the basic school (the process of reorganization). The author’s calculations show that after the formal completion of school restructuring program in 2010, the administrations of municipalities in most regions were forced to continue reducing and / or reorganizing the school network. This time the factors of “per capita financing” of educational institutions and measures for the implementation of state social policy (in particular, the level of teachers’ salaries) were complicating the functioning of small schools.

**Keywords:** rural area, small school, reorganization of schools, restructuring of schools, liquidation of schools, depopulation

**Acknowledgement.** The work was supported by the Strategic Academic Leadership Program of the Kazan Federal University.

## REFERENCES

- Alekseev A.I., Safronov S.G. Izmenenie sel'skogo rasseleniya v Rossii v kontse XX – nachale XXI veka [Changes in rural settlement patterns in Russia during the late 20<sup>th</sup> – early 21<sup>st</sup> centuries], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2015, no. 2, p. 66–76. (In Russian)
- Alekseev A.I., Safronov S.G., Savoskul M.S., Kuznetsova G.Yu. Osnovnye tendentsii evolyutsii sel'skogo rasseleniya Rossii v XX – nachale XXI v. [The main trends in the evolution of rural settlement in Russia in the 20<sup>th</sup> – early 21<sup>st</sup> centuries], *EKO*, 2019, no. 4, p. 26–49. (In Russian)
- Alekseev A.I., Vorob'ev M.I. Skol'ko sel'skikh zhitelei v Rossii zimoi? [How many rural residents are there in Russia in winter?], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 5, p. 104–107. (In Russian)
- Bondarenko L.V. Cel'skoi shkole byt' [Rural school to be], *APK: Ekonomika, upravlenie*, 2017, no. 7, p. 78–89. (In Russian)
- Boussauw K., Meeteren van M., Witlox F. Short trips and central places: The home-school distances in the Flemish primary education system (Belgium), *Applied Geography*, 2014, no. 53, p. 311–322.
- Chuchkalov A.S., Alekseev A.I. Effekt kolei v evolyutsii sel'skikh naselennykh punktov Respubliki Marii El [The track effect in the evolution of rural settlements in the Republic of Mari El], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 2, p. 53–65. (In Russian)
- Clout H.D. *Rural geography: an introductory survey*, Oxford, Pergamon, 1972, 204 p.
- Egorov D.O., Shurupina V.S. Sel'skoe rasselenie Rossii: tipologiya territorii po lyudnosti sel'skikh naselennykh punktov [Rural Settlement System of Russia: Typology of Territories by Rural Settlements Population], *Regional'nye issledovaniya*, 2018, no. 4(62), p. 4–16. (In Russian)
- Fomkina A.A. Raskhozhdeniya v otsenkakh chislennosti sel'skogo naseleniya (na primere Tverskoi oblasti) [Discrepancies in the rural population number estimates (case study of the Tver region)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 6, p. 88–91. (In Russian)
- Gladkova O.N. Transformatsiya obrazovatel'nykh i meditsinskikh uslug v sel'skoi mestnosti v postsovetskii period [Transformation of educational and medical services in rural areas in the post-Soviet period], *Regional'nye issledovaniya*, 2006, no. 4, p. 56–65. (In Russian)
- Glezer O.B. [The system of local self-government as an integral part of the institutional environment of settlement in modern Russia], *Voprosy geografii, no. 135, Geografiya naseleniya i sotsial'naya geografija* [Questions of Geography, no. 135, Geography of Population and Social Geography], Moscow, Codex Publ., 2013, p. 224–244. (In Russian)
- Gorina K.V., Baranova O.A. Ob'ekty sotsial'noi infrastruktury kak indikatory transformatsii sotsial'no-ekonomicheskogo prostranstva Zabaikal'skogo kraja [Objects of social infrastructure as indicators of the transformation of the socio-economic space of the Trans-Baikal Territory], *Vestn. Zabaikal'skogo gos. un-ta*, 2016, no. 8, p. 79–87. (In Russian)
- Green R.J. *Country Planning: The Future of the Rural Regions*, Manchester University Press, 1971, 123 p.
- Hoekveld J.J. Time-space relations and the differences between shrinking regions, *Built Environ.*, 2012, vol. 38, no. 2, p. 179–195.
- Kalinina I.V., Sukhoveeva A.B. Infrastruktura sel'skoi mestnosti Evreiskoi avtonomnoi oblasti: 15 let peremen [Rural Infrastructure of the Jewish Autonomous Oblast: 15 Years of Change], *Regional'nye problem*, 2017, no. 4, p. 129–138. (In Russian)
- Karpunina I.B., Melent'eva A.P. [The policy of liquidating “unpromising” villages and its socio-demographic consequences in Western Siberia (1960–1980s)], *Sibirskaya derevnya: problemy istorii* [Siberian village: history problems], Novosibirsk, 2004, p. 171–185. (In Russian)

- Kaz'min M.A., Chernysheva E.A. Sovremennaya dinamika sel'skogo rasseleniya evropeiskoi Rossii [Modern dynamics of rural settlement in European Russia], *Regional'nye issledovaniya*, 2006, no. 4, p. 65–77. (In Russian)
- Kusmagambetova E.S. Sotsial'naya infrastruktura sel'skikh territorii: sostoyanie i osnovnye napravleniya sovershenstvovaniya [Social infrastructure of rural areas: the state and main directions of improvement], *Vestn. Voronezh. gos. agrarnogo un-ta*, 2016, no. 2, p. 198–204. (In Russian)
- Lopatkina A.E. Struktura ushcherba ot podushevogo finansirovaniya v obrazovanii [Structure of damage from per capita financing in education], *EKO*, 2014, no. 8(482), p. 176–182. (In Russian)
- Marique A.-F., Dujardin S., Teller J., Reiter S. School commuting: The relationship between energy consumption and urban form, *Journal of Transport Geography*, 2013, no. 26, p. 1–11.
- Mazur L.N. [Politika likvidatsii neperspektivnykh dereven' v 1960–1970-e gg.: istoki, etapy, realizatsiya, rezul'taty (na materialakh Urala)], *Rossiya v XX v.: istoriya i istoriografiya: sbornik nauchnykh statei* [Russia in the 20<sup>th</sup> century: history and historiography: collection of scientific articles], Ekaterinburg, Ural University Publ., 2002, p. 92–122. (In Russian)
- Menshchikova L.V. *Territorial'naya transformatsiya sistem rasseleniya i obsluzhivaniya sel'skogo naseleniya Kurganskoi oblasti na rubezhe XX i XXI vekov* [Territorial transformation of settlement systems and services for the rural population of the Kurgan region at the turn of the 20th and 21st centuries], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, Perm, Perm University Publ., 2013, 23 p. (In Russian)
- Moran P., O'Connor K. Change in the Location of Primary Schools in the Wimmera, Victoria, 1947–1976, *Settlement systems in sparsely populated regions the United States and Australia*, New York, Pergamon Press, 1981, p. 262–275.
- Nefedova T.G. *Desyat' aktual'nykh voprosov o sel'skoi Rossii: Otveti geografa* [Ten Topical Questions about Rural Russia: Geographer's Answers], Moscow, LENAND Publ., 2014, 456 p. (In Russian)
- Preston J., Raje F. Accessibility, mobility and transport-related social exclusion, *Journal of Transport Geography*, 2007, no. 15(3), p. 151–160.
- Shirokalova G.S. Sel'skaya shkola: prikazano zhit' ili umirat'? [Country school: ordered to live or die?], *Filosofiya khozyaistva*, 2015, no. 3(99), p. 193–201. (In Russian)
- Tkachenko A.A., Smirnov I.P., Smirnova A.A. Transformatsiya seti tsentrov sel'skogo rasseleniya v nizovom raione Tsentral'noi Rossii [Transformation of the rural settlement centers network in a municipal district of Central Russia], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2019, no. 2, p. 78–85. (In Russian)
- Zubarevich N.V. [Service sector geography: new challenges], *Voprosy geografii, no. 135, Geografiya naseleniya i sotsial'naya geografiya* [Questions of Geography, no. 135, Geography of Population and Social Geography], Moscow, Codex Publ., 2013, p. 483–491. (In Russian)
- Zubarevich N.V. Transformatsiya sel'skogo rasseleniya i seti uslug v sel'skoj mestnosti [Transformation of rural settlement pattern and service networks in rural areas], *Izvestiya RAN, Ser. Geogr.*, 2013, no. 3, p. 26–38. (In Russian)
- Zwerts E., Allaert G., Janssens D., Wets G., Witlox F. How children view their travel behavior: A case study from Flanders (Belgium), *Journal of Transport Geography*, 2010, no. 18(6), p. 702–710.

#### Web sources

- Kuznetsova E.P., Ivanova M.I. Tendentsii razvitiya seti obshcheobrazovatel'nykh organizatsii v Vologodskoi oblasti [Trends in the development of a network of educational organizations in the Vologda Oblast], *Voprosy territorial'nogo razvitiya*, 2017, no. 3(38), 10 p., URL: <http://vtr.isert-ran.ru/article/2268>. (In Russian)
- Zubarevich N.V. Krym i Rossiiskaya "nefederatsiya" [Crimea and the Russian "non-federation"], URL: <https://www.svoboda.org/a/26699669.html> (access date 10.09.2020).

Received 17.03.2021

Revised 16.10.2021

Accepted 27.12.2021

## ВЕСЕННИЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ В КАМЧАТСКОМ ПРОЛИВЕ ЗА 1950–2017 ГГ.

Г.А. Власова<sup>1</sup>, С.С. Марченко<sup>2</sup>, Н.И. Рудых<sup>3</sup>

<sup>1–3</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт имени В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, лаборатория информатики и мониторинга океана

<sup>1</sup> Вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: gavlasova@mail.ru

<sup>2</sup> Вед. инженер; e-mail: svetikvirginy@mail.ru

<sup>3</sup> Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: rudykh@poi.dvo.ru

Камчатский пролив является самым западным и глубоководным проливом Алеутского архипелага. Суровый климат, влияние постоянных и сезонных центров действия атмосферы, прохождение циклонов, сейсмическая активность, цунами-опасность, сложный рельеф дна существенно затрудняют исследование циркуляции вод Камчатского пролива. Все это определило цель исследований: изучение изменчивости циркуляции вод пролива в весенний гидрологический сезон (май – июнь) за 1950–2017 гг. на основе численного моделирования с использованием программного обеспечения Ocean Data View (ПО ODV) для статистической обработки и графического отображения данных. Результаты моделирования показали, что при смене зимнего атмосферного муссона на летний в весенний период происходит трансформация системы течений. На фоне господствующего в течение года циклонического движения вод в регионе Алеутской островодужной системы, в Камчатском проливе весной циклоническая деятельность ослабевает, формируются антициклонические круговороты, способствующие существенно-му притоку теплых тихоокеанских вод в Берингово море. Кроме того, Камчатское течение в указанный сезон не представляет собой единого неразрывного потока водных масс. Вместо этого отмечаются несколько гидродинамических круговоротов разного знака, что говорит о его вихревой перестроенной структуре. Показано, что весенний гидрологический сезон является неким порогом смены режимов вод от зимнего к летнему в связи с тем, что в весеннем синоптическом сезоне (март – апрель) господствует еще зимний муссон, и среднемесячная температура воздуха имеет значения ниже нуля. Различия в мае и июне показывают последовательность в сезонной трансформации схем циркуляций в этом регионе и некоторую неустойчивость гидродинамических структур, связанную с неравномерностью весенних атмосферных процессов.

**Ключевые слова:** Алеутская островодужная система, Камчатское течение, зимний и летний муссоны, циркуляция вод

### ВВЕДЕНИЕ

Камчатский пролив расположен в крайней западной части Алеутской островной дуги, отделяет о. Беринг, входящий в группу Командорских островов, от Камчатки и соединяет Берингово море с Тихим океаном (рис. 1). Площадь сечения пролива – 335,34 км<sup>2</sup>, ширина – 191 км при глубине до 4420 м, что позволяет Берингову морю осуществлять глубинный водообмен с Тихим океаном.

Географическое положение региона определяет основные черты его климата. На протяжении года данная акватория находится под влиянием постоянных центров действия атмосферы (Полярный и Гавайский максимумы) и сезонных крупномасштабных барических образований (Алеутский минимум, Сибирский максимум, Азиатская депрессия). Циклонические вихри, развивающиеся между этими центрами действия атмосферы, во многом определяют здесь климат и погоду. За год на Берингово море выходит 50–60 циклонов, большое количество

которых проходит через Командорские о-ва. В регионе высота волн цунами может достигать 10–40 м. Кроме этого, Командорские о-ва находятся в зоне активных приливов и отливов: максимальный показатель прилива составляет 2,3 м [Государственный..., 2020].

Известно, что общая циркуляция вод Берингова моря определяется циклоническим круговоротом, который является продолжением крупномасштабного стационарного субарктического круговорота в умеренной зоне Тихого океана между 40–60° с. ш. [Арсеньев, 1967]. Западным звеном указанной циклонической циркуляции является Камчатское (Восточно-Камчатское) течение, характеризующееся сильной пространственно-временной межгодовой и сезонной изменчивостью, в связи с чем происходит и крупномасштабная изменчивость водообмена с Тихим океаном через Камчатский пролив [Хен, Заочный, 2009]. В связи с сезонной изменчивостью Камчатского течения существуют

термины режима вод «летний» и «зимний». Ниже мы будем использовать эти термины. В переходные периоды – весной и осенью – происходят перестроенные гидродинамические процессы.

В настоящее время по результатам исследований, полученных на основе морских экспедиционных работ, изучены лишь некоторые аспекты преимущественно летних пространственно-вре-

менных гидрологических характеристик и водообмена в указанных проливах [Overland et al., 1994; Solomon, Ahlnas, 1978; Рогачев, Шлык, 2010]. Публикаций, посвященных исследованию океанологического режима вод непосредственно в Камчатском проливе крайне мало [Хен, Заочный, 2009; Жабин и др., 2010; Solomon, Ahlnas, 1978; Panteleev et al., 2006].

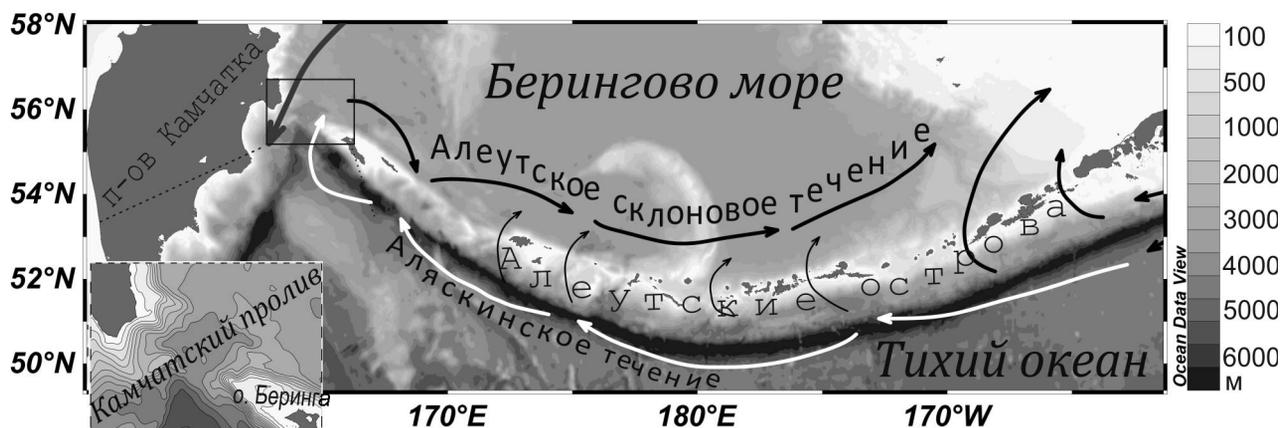


Рис. 1. Карта Алеутского архипелага; прямоугольником и врезкой показана область исследований

Fig. 1. Map of the Aleutian Archipelago; the rectangle and the inset show the research area

Гидрологическое описание Берингова моря, включая основные проливы Алеутской островной дуги, дано в основополагающих работах Добровольского и Арсеньева [Добровольский, Арсеньев, 1961; Арсеньев, 1967]. По их мнению, основным источником водных масс Берингова моря является Тихий океан. Так, например, в Камчатском проливе водообмен происходит до глубины 4420 м, и глубинные воды имеют здесь тихоокеанское происхождение. Близость берега усиливает летний прогрев вод в Камчатском проливе, а влияние холодного Камчатского течения усиливает зимнее выхолаживание до глубины 600 м. Циклоническая циркуляция здесь усиливается зимой и ослабевает летом, оставаясь господствующей в течение всего года. На основе динамического метода по материалам экспедиционных летних наблюдений (1950–1953, 1955–1956) авторы пришли к выводу о переносе тихоокеанских вод вдоль Камчатского пролива на север и слабый вынос через крайнюю западную часть пролива в результате антициклонической циркуляции вокруг Командорских о-вов. Ими предполагается, что весной температура вод довольно быстро должна понижаться с глубиной, поэтому глубже 50 м везде, вероятнее всего, сохраняются признаки вод зимнего режима.

В работах [Khen, Vasyuk, 2005; Хен, Заочный, 2009; Хен, Заволокин, 2015] анализируется термо-

халинная структура вод в Камчатском проливе за летний и осенний периоды 2002–2008 гг. и изменчивость расхода воды, связанная с интенсивностью Камчатского течения по данным многолетних наблюдений за 1950–2008 гг. Авторы приходят к выводу, что пролив играет основную роль в стоке берингоморских вод благодаря Камчатскому течению. Однако, с их точки зрения, интенсивность Камчатского течения то ослабевает, то усиливается, в связи с чем расход воды в проливе колеблется от 0,2 до 6 Св ( $1 \text{ Св} = 1 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{с}$ ), что свидетельствует об уменьшении или увеличении водообмена между Тихим океаном и Беринговым морем.

Рассматривая Камчатское течение, многие авторы делают акцент на его вихревой структуре. Так, в работе [Solomon, Ahlnas, 1978] анализируются 52 спутниковых изображения с января 1976 г. по июнь 1977 г. и делается вывод о том, что практически все возникающие вихри в Камчатском течении являются антициклоническими. В работе [Рогачев, Шлык, 2010] делается вывод, что Аляскинское течение на западе распадается на мезомасштабные алеутские вихри, которые обеспечивают западный перенос теплой воды в область Камчатского течения. В противовес сказанному в работе [Overland et al., 1994] авторы утверждают, что Камчатское течение довольно устойчивое и не имеет сильного меандрирования, т. е. имеющиеся несколько крупных меан-

дров квазистационарны и не распадаются на более мелкие, которые подвержены сильной пространственно-временной изменчивости. Авторы в работе [Хен, Заочный, 2009] показывают, что в зимний период Камчатское течение хорошо выражено, а в летний период заметно слабее. Его скорости летом составляют 5–10 см/с, но вблизи континентального склона в верхнем 200-метровом слое достигают 15–20 см/с. Оценка расхода воды Камчатского течения значимо отличается между перечисленными авторами и находится в диапазоне 5–24 Св.

С развитием численного моделирования добавилось количество публикаций по циркуляции вод Берингова моря, косвенно касаясь и Камчатского пролива [Kinney, Maslowski, 2012; Panteleev et al., 2012]. Во всех этих работах подтверждается картина двухстороннего водообмена в проливе, отмеченного еще А.Д. Добровольским и В.С. Арсеньевым. Отличия состоят в том, что авторы исследуют разный интервал лет или конкретные годы, сезоны (как правило, летний и зимний), поэтому полученные ими оценки расхода воды в проливе значительно отличаются и находятся в диапазоне 0,5–15 Св.

Отсутствуют публикации, посвященные исследованию гидродинамического режима вод непосредственно в Камчатском проливе. Переходные весенний и осенний периоды практически не анализируются. Это и определило цель наших исследований: изучение изменчивости циркуляции вод в Камчатском проливе в весенний сезон за 1950–2017 гг. на основе численного моделирования. Район исследований ограничен координатами 54–57° с. ш.; 162°30′–166°30′ в. д. (см. рис. 1).

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для реализации сформулированной цели выбрана технология моделирования на базе известной квазигеострофической модели интегральной циркуляции вод, описанная в монографиях и статьях и кратко изложенная ниже [Фельзенбаум, 1970; Васильев, 2001; Полякова и др., 2002; Власова и др., 2008]. Как сказано выше, работы по исследованию гидродинамики вод в Камчатском проливе отсутствуют, поэтому авторам в данном случае представляется целесообразным использовать двумерную модель для того, чтобы в «чистом» виде выявить роль отдельных факторов в общем механизме циркуляции вод.

Указанная модель была адаптирована к программному обеспечению Ocean Data View (ODV – DIVA-gridding) для статистической обработки и графического отображения исходных океанографических данных [Schlitzer, 2002]. Апробация модельных результатов проводилась на сравнении с материалами экспедиционных исследований.

Модель учитывает пространственное распределение плотности воды, рельеф дна, морфологию берегов и водообмен через проливы.

Для моделирования использовались следующие исходные данные:

- значения глубин морского дна из массива топографических данных GEBCO30 [ICO..., 2003];
- значения атмосферного давления на уровне морской поверхности (SLP) из массива NCEP Reanalysis [NCEP/NCAR..., 2018];
- значения температуры и солёности на поверхности моря из массива WOD2013 за период 1950–2017 гг. [World Ocean Database..., 2013].

Для дна были приняты условия прилипания (скорость течения на дне равна нулю).

Моделирование включало расчет интегральной циркуляции вод в виде поля полных потоков ( $S^x = -\partial\psi/\partial y$ ;  $S^y = \partial\psi/\partial x$ ) по заданному на поверхности тангенциальному напряжению ветра ( $T$ ) и плотности морской воды ( $\rho$ ). Расчет структуры течений и плотности водных масс по заданным параметрам  $T$  и  $\rho$  выполнен путем решения уравнения для интегральной функции тока  $\psi(x, y)$  методом минимальных невязок. На твердых границах бассейна (береговая линия) задавалась функция  $\psi$ , на жидкой границе – ее нормальная производная.

Для расчетов использовалась равномерная сетка 5'×5' ( $\approx 9$  км по широте,  $\approx 5$  км по долготе), что оказалось допустимым для данного района, где в непосредственной близости от расчетной площади располагаются Алеутский и Курило-Камчатский глубоководные желоба с глубинами 7000 м и более [Белоненко и др., 2016]. С помощью алгоритмов ODV (DIVA-gridding) в узлах 5-минутной сетки рассчитывались среднемесячные значения атмосферного давления, поверхностной температуры и солёности за 1950–2017 гг.

В процессе работы были получены значения составляющих скорости ветра, тангенциального напряжения ветра и его завихренности, глубины и теплосодержания однородного слоя, вертикальной составляющей скорости течения, дрейфовых и градиентных составляющих скорости течения на разных глубинах, составляющих полного потока, модуль вектора придонного слоя и др.

Для анализа полученных результатов привлекались данные из массива WOD2013 (Profiling Float data), по которым были определены пути перемещения буев ARGO в мае – июне в разные годы (2004–2018).

Для расчетов использовался весенний гидрологический сезон (май – июнь) как пример перехода от зимнего субарктического режима вод к летнему умеренному при смене зимнего атмосферного муссона на летний. В рамках указанной модели

рассчитывались интегральные функции тока на поверхности, от поверхности до глубины 200 м и от поверхности до дна. В результате были построены соответствующие карты течений на поверхности, в слое 0–200 м и от поверхности до дна для мая и июня за 1950–2017 гг.

Поскольку для расчетов использовались обобщенные за многолетний период, типичные для данного региона (квазистационарные) параметры атмосферных процессов, то результаты моделирования также должны рассматриваться в качестве квазистационарных.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты предыдущих исследований показывают, что в Камчатском проливе существует не только односторонний вынос вод Берингова моря в

Тихий океан, но в разные годы и сезоны с различной интенсивностью происходит и двухсторонний водообмен между этими бассейнами.

Выполненные нами расчеты показали, что в рассматриваемый период (май – июнь) на исследуемой акватории моделируется довольно сложная гидродинамическая ситуация. Так, на фоне общего циклонического движения Камчатское течение не представляет собой единого неразрывного потока водных масс в модельной области. Вместо этого здесь формируются несколько гидродинамических круговоротов разного знака (рис. 2, 3, 4).

В поверхностных водах в мае – июне формируются смешанные структуры, как циклонические, так и антициклонические (см. рис. 2А, Б). Но даже в рамках этого периода картина их размещения и конфигурации меняется.

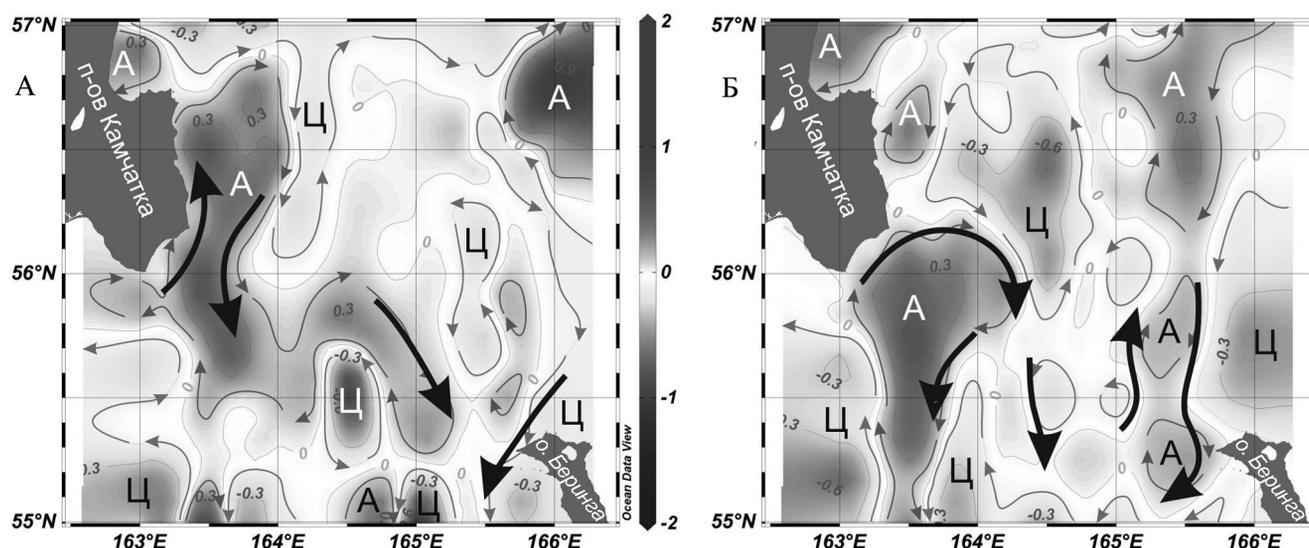


Рис. 2. Схема циркуляции поверхностных вод в Камчатском проливе в мае (А) и июне (Б) по результатам моделирования (функции тока,  $1 \times 10^6 \text{ см}^3/\text{с}$ ): стрелки – направление движения водных масс; общая шкала – расход воды в поверхностном слое в мае и июне; А – антициклон; Ц – циклон

Fig. 2. The scheme of surface water circulation in the Kamchatka Strait in May (A) and June (B) according to the simulation results (current functions,  $1 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{s}$ ): arrows show the direction of water masses movement; the scale indicates water consumption in the surface layer; A – anticyclone; Ц – cyclone

Так, в мае (см. рис. 2А) в западной части пролива выделяется мощный и обширный антициклонический круговорот, простирающийся в меридиональном направлении вдоль побережья Камчатки ( $\approx 55^{\circ}30' - 56^{\circ}54'$  с. ш.,  $162^{\circ} - 165^{\circ}20'$  в. д.), размеры которого составляют  $\approx 3,7 \times 5,6$  км. В соответствии с этим вдоль п-ова Камчатка поток теплых тихоокеанских вод входит в Берингово море, а в восточной части этой структуры воды Берингова моря перемещаются в Тихий океан. Формирование указанного антициклонического круговорота можно объяснить началом перестройки синоптических процессов,

переходящих в режим, близкий к летнему. Антициклоническая циркуляция вокруг Командорских островов, куда входит и о-в Беринга, была отмечена ранее в работах [Добровольский, Арсеньев, 1961; Штокман, 1954] и было дано объяснение этому явлению. Оно связано с существованием вблизи островных дуг постоянных потоков, распространяющихся в противоположных направлениях (в нашем случае Аляскинское и Алеутское течения) и их конвергенции, а также с влиянием поперечной неравномерности (завихренности) ветра [Штокман, 1954]. Согласно другим исследованиям [Тимонов,

1960], эта циркуляция поддерживается также приливными явлениями за счет неравномерного пространственного распределения скоростей приливного потока, а исследуемый район располагается в зоне активных приливных процессов.

В восточной части пролива, около о. Беринга, моделируются небольшие антициклонические вих-

ри с преимущественным стоком холодных берингоморских вод в Тихий океан. Таким образом, в восточной части пролива превалирует зимний режим вод, так как в этой близкой к о. Беринга мелководной части пролива значимое влияние оказывает зимнее выхолаживание вод [Добровольский, Арсеньев, 1961].

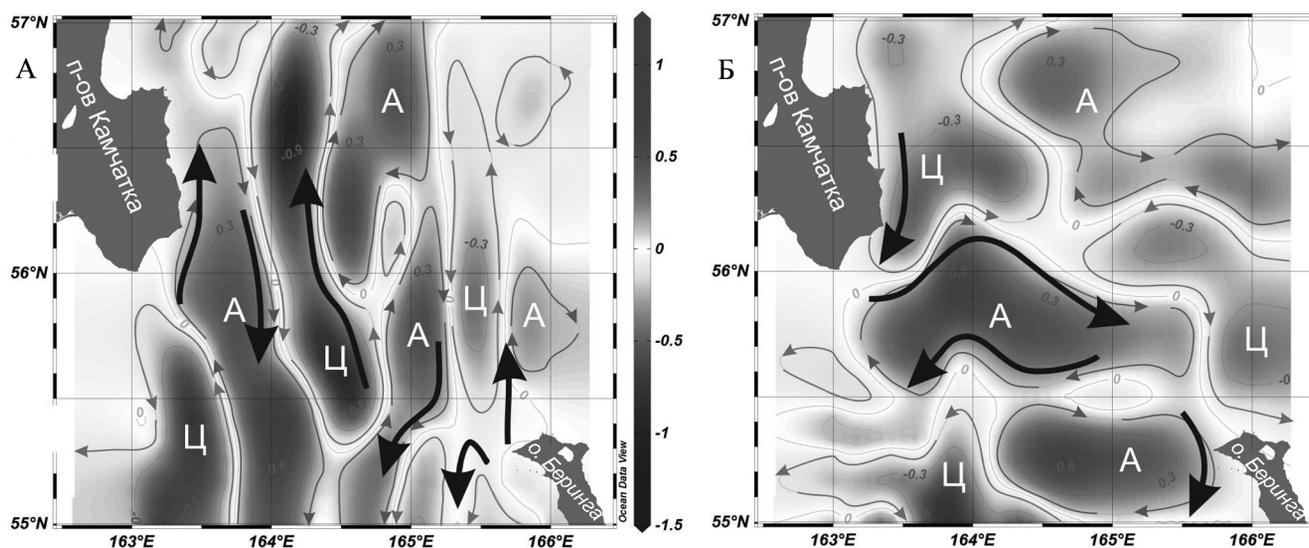


Рис. 3. Схема циркуляции вод в слое 0–200 м в Камчатском проливе в мае (А) и июне (Б) по результатам моделирования (интегральные функции тока,  $1 \times 10^{11}$  см<sup>3</sup>/с): стрелки – направление движения водных масс; общая шкала – расход воды в слое 0–200 м в мае и июне; А – антициклон; Ц – циклон

Fig. 3. The scheme of water circulation in the 0–200 m layer in the Kamchatka Strait in May (A) and June (Б) according to the simulation results (integral current functions,  $1 \times 10^{11}$  cm<sup>3</sup>/s): arrows show the direction of water masses movement; the scale indicates water consumption in the layer 0–200 m; A – anticyclone; Ц – cyclone

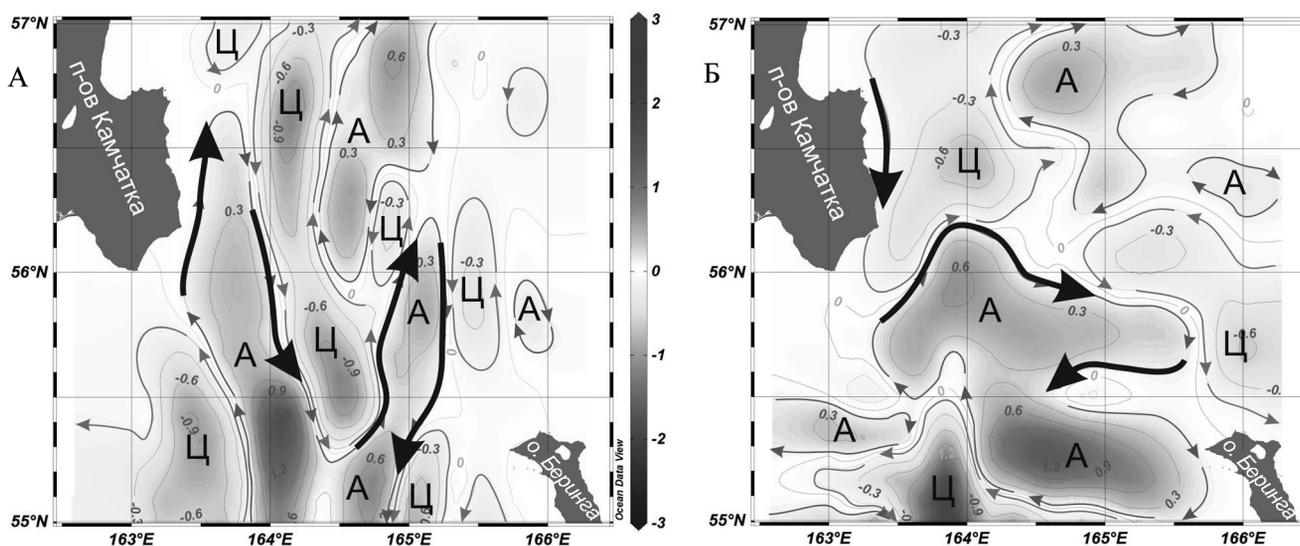


Рис. 4. Схема циркуляции вод от поверхности до дна в Камчатском проливе в мае (А) и июне (Б) по результатам численного моделирования (интегральные функции тока, Sv): стрелки – направление движения водных масс; общая шкала – расход воды от поверхности до дна в мае и июне; А – антициклон; Ц – циклон

Fig. 4. The scheme of water circulation from the surface to the bottom in the Kamchatka Strait in May (A) and June (Б) according to the numerical modeling results (integral current functions, Sv): arrows show the direction of water masses movement; the scale indicates water flow rates from the surface to the bottom; A – anticyclone; Ц – cyclone

В центре пролива в районе  $\approx 55^{\circ}15' - 56^{\circ}$  с. ш. и  $\approx 164^{\circ}15' - 165^{\circ}45'$  в. д. наблюдаются несколько небольших вихрей разного знака, что обеспечивает как слабый сток берингоморских вод, так и слабый приток со стороны Тихого океана.

В июне (см. рис. 2Б) гидродинамическая картина несколько меняется, что можно связать с усилением солнечной активности и продолжением процессов формирования термохалинных характеристик поверхностного слоя [Хен, Заочный, 2009].

В западной части пролива присутствие майского антициклонического круговорота сохраняется, однако эта структура существенно деформирована: она разбивается на отдельные субмезомасштабные круговороты. При этом схема течений близка к майской, вблизи п-ова Камчатка она соответствует летнему режиму вод (приток тихоокеанских вод), а в пределах восточной ветви антициклона – зимнему режиму (сток берингоморских вод).

В восточной части пролива майский антициклонический круговорот, сформированный на северо-востоке исследуемой акватории ( $\approx 56^{\circ}20' - 57^{\circ}$  с. ш.;  $165^{\circ}30' - 166^{\circ}20'$  в. д.), расширяется вплоть до о. Беринга и в совокупности с рядом находящимся циклоническим круговоротом обеспечивает сток берингоморских вод (зимний режим).

В центральной части майский антициклонический круговорот сместился на юго-запад, в связи с чем сформировалась серия небольших циклонических вихрей, которые инициировали как сток, так и приток вод.

В слое 0–200 м (см. рис. 3А, Б) описанный выше поверхностный майский антициклонический круговорот, сформированный вблизи п-ова Камчатка (см. рис. 3А), разбивается на два не менее мощных многоцентровых круговорота, вытянутых в меридиональном направлении и занимающих существенно большую площадь исследуемого района, чем на поверхности. Между ними вклинивается циклонический круговорот, также ориентированный по меридиану.

Первый из названных антициклонов, располагающийся в западной части в непосредственной близости от берега Камчатки, повторяет конфигурацию и схему движения водных масс антициклона, смоделированного для поверхности. Вдоль берега Камчатки поток движется из Тихого океана в Берингово море, постепенно переходя к летнему режиму, а на его восточном крыле происходит сброс берингоморских вод в Тихий океан, что соответствует зимнему режиму.

Второй антициклон смещен к центру пролива, в результате здесь должен происходить как сток берингоморских вод, так и поступление вод из Тихого океана.

В восточной части пролива в районе о. Беринга схема циркуляции близка к поверхностной (зимний режим).

В соответствии с результатами моделирования июньская схема циркуляции вод в слое 0–200 м резко отличается от июньской схемы на поверхности и майских схем, как на поверхности, так и в слое 0–200 м (см. рис. 3Б). В этот период все гидродинамические структуры меняют свое направление с меридионального на широтное. Таким образом, в Камчатском проливе с глубиной наблюдается водообмен как в широтной, так и в меридиональной плоскостях. Выполненные расчеты находятся в определенном соответствии с буйковыми наблюдениями (рис. 5), где наряду с меридиональными видны и широтные составляющие в общей схеме течений. Из этого мы делаем вывод, что результаты моделирования в принципе согласуются с экспериментальными данными и отражают реальную возможность указанной смены гидродинамического режима в слое 0–200 м.

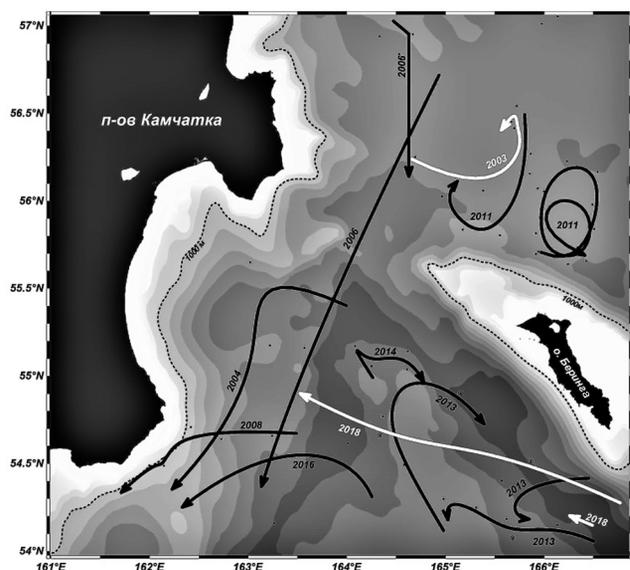


Рис. 5. Пути перемещения буйев ARGO с мая по июнь (Profiling Float data, WOD2013); цифры у стрелок – год перемещения буйа в мае – июне

Fig. 5. ARGO buoy paths from May to June (Profiling Float data, WOD2013); the numbers in the arrows indicate the year of the buoy movement in May – June

На наш взгляд, существует несколько факторов, которые могли бы оказать значимое влияние на указанную смену движения водных масс в рассматриваемом районе. Сюда, прежде всего, можно отнести смену направления ветров в связи переходом от зимнего муссона к летнему, усиление солнечной активности и ослабление Камчатского течения, что приводит к активному поступлению теплых тихо-

океанских вод в Берингово море. Нельзя обойти вниманием выход атмосферных циклонов в рассматриваемый район и, как следствие, апвеллинг и конвективное перемешивание вод. В целом, с глубиной происходит общее усиление гидродинамических процессов и формирование разнонаправленных круговоротов в проливе, в мае ориентированных по долготе, а в июне – по широте.

В связи с этим, в разных частях пролива имеются отличия. В западной части пролива вдоль Камчатки формируется циклонический круговорот и происходит сток берингоморских вод (зимний режим).

Практически всю центральную часть пролива  $\approx 55^{\circ}–56^{\circ}25'$  с. ш. и  $\approx 163^{\circ}–165^{\circ}40'$  в. д. от Камчатки вплоть до о. Беринга занимает мощный многоцентровый антициклонический круговорот (размеры которого составляют  $\approx 2,6 \times 4,9$  км), вытянутый по широте. В связи с этим меняется и характер циркуляции: здесь происходит как сток берингоморских вод в Тихий океан, так и приток тихоокеанских вод в Берингово море.

В восточной части пролива вдоль о-ва Беринга наблюдается вынос вод из Берингова моря (зимний режим).

Схемы циркуляции вод в слое от поверхности до дна (см. рис. 4А, Б) повторяют вышеописанные схемы в 200-метровом слое. Таким образом, цирку-

ляция вод, сформированная на глубине 200 м, практически не меняется до дна.

## ВЫВОДЫ

По итогам численного моделирования весенней циркуляции вод в Камчатском проливе за 1950–2017 гг. сделаны следующие выводы:

– показано, что весенний гидрологический сезон (май – июнь) является неким порогом смены режимов вод от зимнего к летнему, в связи с тем, что в весеннем синоптическом сезоне (март – апрель) господствует еще зимний муссон и среднемесячная температура воздуха имеет значения ниже нуля;

– выявлено, что в указанный сезон в проливе не существует выраженного потока вод Камчатского течения, которое в данном случае имеет вихревую перестроенную структуру и представляет собой разнонаправленные круговороты вод;

– отмечено, что в Камчатском проливе наблюдается водообмен как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях;

– различия в мае и июне (смена движения водных масс) показывают последовательность в сезонной трансформации схем циркуляций в этом регионе, и в то же время некоторую неустойчивость гидродинамических структур, связанную с неравномерностью весенних атмосферных процессов.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке государственной бюджетной темы «Исследование основных процессов, определяющих состояние и изменчивость океанологических характеристик окраинных морей Азии и прилегающих районов Тихого и Индийского океанов» Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева Дальневосточного научного центра РАН, № рег. 121021700341-2.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арсеньев В.С.* Течения и водные массы Берингова моря. М.: Наука, 1967. 135 с.
- Белоненко Т.В., Кубряков А.А., Станичный С.В.* Спектральные характеристики волн Россиби северо-западной части Тихого океана // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1–2. С. 43–52.
- Васильев А.С.* Адаптивно-обучающаяся система прогнозирования классов природных процессов. Ч. 1. СПб.: ГМИ, 2001. 136 с.
- Власова Г.А., Васильев А.С., Шевченко Г.В.* Пространственно-временная изменчивость структуры и динамики вод Охотского моря. М.: Наука, 2008. 359 с.
- Добровольский А.Д., Арсеньев В.С.* Гидрологическая характеристика Берингова моря // Труды ИО АН СССР. 1961. Т. 38. С. 64–96.
- Жабин И.А., Лобанов В.Б., Ватанабе С., Вакута М., Таранова С.Н.* Водообмен между Беринговым морем и Тихим океаном через Камчатский пролив // Метеорология и гидрология. 2010. № 3. С. 84–92.
- Полякова А.М., Власова Г.А., Васильев А.С.* Влияние атмосферы на подстилающую поверхность и гидродинамические процессы Берингова моря. Владивосток: Дальнаука, 2002. 202 с.
- Рогачев К.А., Шлык Н.В.* Увеличение радиуса алеутских вихрей и их долговременная эволюция // Метеорология и гидрология. 2010. № 3. С. 68–73.
- Тимонов В.В.* Результирующие и вторичные течения в морях с приливами // Труды Океанографической комиссии АН СССР. 1960. Т. 10. Вып. 1. С. 43–50.
- Фельзенбаум А.И.* Динамика морских течений. Итоги науки. Гидромеханика. М.: ВИНТИ, 1970. С. 97–338.
- Хен Г.В., Заволокин А.В.* Перемена в циркуляции вод и ее значение в распределении и обилии лососей в западной части Берингова моря в начале XXI столетия // Известия ТИНРО. 2015. Т. 181. С. 95–114.
- Хен Г.В., Заочный А.Н.* Изменчивость расхода Камчатского течения и океанологических параметров в Камчатском проливе // Известия ТИНРО. 2009. Т. 158. С. 247–260.
- Штокман В.Б.* О причине круговых течений около островов и противоположных течений у берегов проливов // Известия АН СССР. Сер. географическая. 1954. № 4. С. 29–37.

- Kinney C.J., Maslowski W. On the oceanic communication between the Western Subarctic Gyre and the deep Bering Sea, *Deep-Sea Research*, 2012, vol. 66, p. 11–25.
- Khen G.V., Basyuk E.O. Oceanographic Conditions of the Bering Sea in BASIS, *NPAFC Technological Report*, 2005, no. 6, p. 21–23.
- Overland J.E., Spillane M.C., Hurlburt H.E., Wallcraft A.J. A numerical study of the circulation of the Bering Sea basin and exchange with the North Pacific Ocean, *Physical oceanography*, 1994, vol. 24, p. 736–758.
- Panteleev G.G., Stabeno P., Luchin V.A., Nechaev D.A., Ikeda V. Summer transport estimates of the Kamchatka Current derived as a variational inverse of hydrophysical and surface drifter data, *Geophysical Research Letters*, 2006, vol. 33, 5 p., DOI: 10.1029/2005GL024974.
- Panteleev G., Yaremchuk M., Luchin V., Nechaev D., Kukuichi T. Variability of the Bering Sea in the period 1992–2010, *J. Oceanogr.*, 2012, vol. 68, p. 485–496, DOI: 10.1007/s10872-012-0113-0.
- Schlitzer R. Interactive analysis and visualization of geoscience data with Ocean Data View, *Computers & Geosciences*, 2002, vol. 28, p. 1211–1218.
- Solomon H., Ahlnas K. Eddies in the Kamchatka Current, *Deep Sea Resource*, 1978, vol. 25, p. 403–410.
- Электронные ресурсы  
Государственный природный биосферный заповедник «Командорский». Территория. URL: <http://komandorsky.ru/territory.html> (дата обращения 22.05.2020).
- IOC, IHO, and BODC, 2003. “Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas”, published on CD-ROM on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization as part of the General Bathymetric Chart of the Oceans; British Oceanographic Data Centre, Liverpool, URL: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/) (дата обращения 22.02.2018).
- NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables, URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.html> (дата обращения 22.02.2018).
- World Ocean Database 2013, URL: [https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/pr\\_wod.html](https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/pr_wod.html) (дата обращения 22.02.2018).

Поступила в редакцию 04.04.2021

После доработки 04.11.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## SPRING HYDRODYNAMIC REGIME IN THE KAMCHATKA STRAIT FOR THE PERIOD OF 1950–2017

G.A. Vlasova<sup>1</sup>, S.S. Marchenko<sup>2</sup>, N.I. Rudykh<sup>3</sup>

<sup>1–3</sup> V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Informatics and Ocean Monitoring Laboratory

<sup>1</sup> Leading Scientific Researcher; Ph.D. in Geography; e-mail: [gavlasova@mail.ru](mailto:gavlasova@mail.ru)

<sup>2</sup> Leading Engineer; e-mail: [svetikvirginy@mail.ru](mailto:svetikvirginy@mail.ru)

<sup>3</sup> Senior Scientific Researcher; Ph.D. in Geography; e-mail: [rudykh@poi.dvo.ru](mailto:rudykh@poi.dvo.ru)

The Kamchatka Strait is the westernmost and deepest strait of the Aleutian archipelago. The harsh climate, the influence of permanent and seasonal atmospheric action centers, the passage of cyclones, seismic activity, tsunami hazard, and the complex bottom topography significantly complicates the investigation of water circulation in the Kamchatka Strait. Thus the goal of our research was to study the variability of water circulation in the strait during spring hydrological season (May, June) for the period of 1950–2017 based on numerical modeling. The Ocean Data View software (ODV software) was used for statistical processing and graphical display of the data. The modeling results showed that the spring change of the winter atmospheric monsoon to the summer monsoon causes the transformation of current system. Against the background of cyclonic water movement prevailing during the whole year in the region of the Aleutian Island arc, the cyclonic activity in the Kamchatka Strait weakens in the spring, and anticyclonic gyres are formed, contributing to significant inflow of warm Pacific waters into the Bering Sea. Besides, during the above-mentioned season the Kamchatka current is not a single continuous flow of water masses. Instead, several hydrodynamic gyres of different signs are noted, indicating its vortex transitional structure. It is shown that the spring hydrological season is a kind of a threshold for the change from winter to summer water regimes, because in the spring synoptic season (March, April) the winter monsoon still prevails, and the average monthly air temperature is below zero. The differences in May and June show a gradual seasonal transformation of circulation schemes in the region, and, at the same time, a certain instability of hydrodynamic structures associated with uneven spring atmospheric processes.

**Keywords:** Aleutian Island arc, Kamchatka Current, winter and summer monsoons, water circulation

**Acknowledgements.** The study was financially supported by the state budget theme of the V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, “Investigation of principal processes influencing the state and variability of oceanographic parameters of the peripheral seas of Asia and adjacent areas of Pacific and Indian oceans” (Reg no. 121021700341-2).

## REFERENCES

- Arsen'yev V.S. *Techeniya i vodnye massy Beringova morja* [Flows and water masses of the Bering Sea], Moscow, Nauka Publ., 1967, 135 p. (In Russian)
- Belonenko T.V., Kubryakov A.A., Stanichny S.V. Spektral'nye karakteristiki voln Rossbi severo-zapadnoj chasti Tihogo okeana [Spectral characteristics of Rossby waves of the North-Western Pacific Ocean], *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2016, no. 1–2, p. 43–52. (In Russian)
- Dobrovolsky A.D., Arsen'yev V.S. Gidrologicheskaja karakteristika Beringova morja [The Hydrological Characteristic of the Bering Sea], *Trudy IO of the USSR Academy of Sciences*, 1961, vol. 38, p. 64–96. (In Russian)
- Felsenbaum A.I. [Dynamics of sea currents], *Itogi nauki. Gidromekhanika* [Results of Science. Hydromechanics], Moscow, VINITI Publ., 1970, p. 97–338. (In Russian)
- Khen G.V., Basyuk E.O. Oceanographic Conditions of the Bering Sea in BASIS, *NPAFC Technological Report*, 2005, no. 6, p. 21–23.
- Khen G.V., Zaochniy A.N. Izmenchivost' rashoda Kamchatskogo techenija i okeanologicheskikh parametrov v Kamchatskom prolive [The variability of the flow of the Kamchatka current and oceanological parameters in the Kamchatka Strait], *Izvestia of TINRO*, 2009, vol. 158, p. 247–260. (In Russian)
- Khen G.V., Zavolokin A.V. Peremena v cirkuljacii vod i ee znachenie v raspredelenii i obilii lososej v zapadnoj chasti Beringova morja v nachale 21-go stoletija [Change in water circulation and its importance in the distribution and abundance of salmon in the western part of the Bering Sea at the beginning of the 21<sup>st</sup> century], *Izvestia of TINRO*, 2015, vol. 181, p. 95–114. (In Russian)
- Kinney J.C., Maslowski W. On the oceanic communication between the Western Subarctic Gyre and the deep Bering Sea, *Deep-Sea Research*, 2012, vol. 66, p. 11–25.
- Overland J.E., Spillane M.C., Hurlburt H.E., Wallcraft A.J. A numerical study of the circulation of the Bering Sea basin and exchange with the North Pacific Ocean, *Physical oceanography*, 1994, vol. 24, p. 736–758.
- Panteleev G., Yaremchuk M., Luchin V., Nechaev D., Kuchichi T. Variability of the Bering Sea in the period 1992–2010, *J. Oceanogr.*, 2012, vol. 68, p. 485–496, DOI: 10.1007/s10872-012-0113-0.
- Panteleev G.G., Stabeno P., Luchin V.A., Nechaev D.A., Ikeda V. Summer transport estimates of the Kamchatka Current derived as a variational inverse of hydrophysical and surface drifter data, *Geophysical Research Letters*, 2006, vol. 33, 5 p., DOI: 10.1029/2005GL024974.
- Polyakova A.M., Vlasova G.A., Vasilyev A.S. *Vlijanie atmosfery na podstilajushhuju poverhnost' i gidrodinamicheskie protsessy Beringova morja* [The influence of the atmosphere on the underlying surface and hydrodynamic processes of the Bering Sea], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2002, 202 p. (In Russian)
- Rogachev K.A., Shlyk N.V. Uvelicheniye radiusa aleutskikh vikhrey i ikh dolgovremennaya evolyutsiya [The increased radius of the Aleutian eddies and their long-term evolution], *Russian Meteorology and Hydrology*, 2010, vol. 35, no. 3, p. 206–210, DOI: 10.3103/S1068373910030076.
- Schlitzer R. Interactive analysis and visualization of geoscience data with Ocean Data View, *Computers & Geosciences*, 2002, vol. 28, p. 1211–1218.
- Shtokman V.B. O prichine krugovyh techenij okolo ostrovov i protivopolozhnyh techenij u beregov prolivov [About the cause of circular currents near the islands and opposite currents near the coast of straits], *Izvestija AN SSSR, Ser. geogr.*, 1954, no. 4, p. 29–37. (In Russian)
- Solomon H., Ahlnas K. Eddies in the Kamchatka Current, *Deep Sea Resource*, 1978, vol. 25, p. 403–410.
- Timonov V.V. Rezul'tirujushhie i vtorichnye techenija v morjah s prilivami [Resulting and secondary currents in the tidal seas], *Proceedings of the Oceanographic Commission of the USSR Academy of Sciences*, 1960, vol. 10(1), p. 43–50. (In Russian)
- Vasiliev A.S. *Adaptivno-obuchajushhajasja sistema prognozirovanija klassov prirodnyh processov, ch.1* [Adaptive learning system of forecasting the classes of natural processes, part 1], St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2001, 136 p. (In Russian)
- Vlasova G.A., Vasilyev A.S., Shevchenko G.V. *Prostranstvenno-vremennaja izmenchivost' struktury i dinamiki vod Ohotskogo morja* [Spatio-temporal variability of the structure and dynamics of water of the Sea of Okhotsk], Moscow, Nauka Publ., 2008, 359 p. (In Russian)
- Zhabin I.A., Lobanov V.B., Watanabe S., Vakita M., Taranova S.N. Vodoobmen mezhdru Beringovym morem i Tikhim okeanom cherez Kamchatskiy proliv [Water exchange between the Bering Sea and the Pacific Ocean through the Kamchatka Strait], *Russian Meteorology and Hydrology*, 2010, vol. 35, no. 3, p. 218–224, DOI: 10.3103/S106837391003009X.

## Web sources

- IOC, IHO, and BODC, 2003. “Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas”, published on CD-ROM on behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization as a part of the General Bathymetric Chart of the Oceans; British Oceanographic Data Centre, Liverpool, URL: [https://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data/](https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/) (access date 22.02.2018).
- NCEP/NCAR Reanalysis Monthly Means and Other Derived Variables, URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.html> (access date 22.02.2018).
- State Nature Biosphere Reserve “Komandorsky”. Territory, URL: <http://komandorsky.ru/territory.html> (access date 05.22.2020).
- World Ocean Database 2013, URL: [https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/pr\\_wod.html](https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD/pr_wod.html) (access date 22.02.2018).

Received 04.04.2021

Revised 04.11.2021

Accepted 27.12.2021

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ РАЗРЕЗА «ЧЕРЕМОШНИК» (ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.Д. Шеремецкая<sup>1</sup>, И.А. Каревская<sup>2</sup>, А.В. Самусь<sup>3</sup>,  
Е.В. Гаранкина<sup>4</sup>, И.Г. Шоркунов<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 4</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,  
кафедра геоморфологии и палеогеографии*  
<sup>1, 3, 5</sup> *Институт географии РАН*

<sup>1</sup> *Сектор информации и координации географических исследований, гл. спец.; e-mail: sheremetskaya@gmail.com*

<sup>2</sup> *Инж., канд. геогр. наук; e-mail: inessa.karevskaja@yandex.ru*

<sup>3</sup> *Отдел палеогеографии четвертичного периода, инж.-иссл.; e-mail: alina.samus.msu@gmail.com*

<sup>4</sup> *Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: evgarankina@gmail.com*

<sup>5</sup> *Отдел географии и эволюции почв, науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: shorkunov@gmail.com*

Северо-восточный макросклон Борисоглебской возвышенности в течение многих десятилетий находится в центре внимания ученых-естественников, чьи интересы лежат в области геохронологии и реконструкции природной среды четвертичного периода. Один из важнейших сводных разрезов Ярославского Поволжья представлен серией скважин, обнажений и расчисток в бортах овражной системы ручья Пужбол. Среди них разрез ORV – на правом борту оврага Восточный Черемошник – детально рассмотрен с помощью комплекса аналитических методов. Во вскрытой толще выявлена прерывистая запись локальных преобразований ландшафта: нестабильное заполнение минеральным и минерально-биогенным материалом озерной депрессии в термоксеротическую стадию микулинского межледниковья; развитие заболоченных ареалов с биогенной и минерально-биогенной аккумуляцией на фоне перехода к субаральной обстановке в перигляциальных условиях одной из начальных фаз калининской стадии валдайского оледенения; дискретное протекание эрозионно-аккумулятивных и сопряженных с ними склоновых процессов в средне- и поздневалдайское время; эпизод делювиальной аккумуляции, атрибутируемой к одной из холодных стадий голоцена. Зафиксирована потеря палеогеографической информации для разных по продолжительности временных отрезков, как минимум для термогигротической фазы микулинского межледниковья и значительной части валдайской и голоценовой эпох, вследствие эпизодической активизации эрозионных процессов. Наличие стратиграфических несогласий в разрезе ORV не позволяет использовать его в качестве опорного для реконструкции природной среды Борисоглебской возвышенности в позднем плейстоцене и голоцене. Однако присутствие в толще слоев, сформированных в результате заполнения озерных депрессий и эрозионных врезов, дает возможность привлекать их дробный гранулометрический состав в качестве чуткого индикатора позднплейстоценовой динамики локальных литопотоков.

**Ключевые слова:** Борисоглебская возвышенность, поздний плейстоцен, голоцен, гранулометрический анализ, спорово-пыльцевой анализ

### ВВЕДЕНИЕ

Северо-восточный макросклон Борисоглебской возвышенности в течение десятилетий находится в центре пристального внимания исследователей геохронологии и природной среды четвертичного периода. Один из важнейших сводных разрезов Ярославского Поволжья в районе д. Черемошник представлен серией геологических выработок. Впервые погребенные торфяники и озерные гиттии в бортах оврагов Восточный Черемошник и Пужбол обнаружил Н.В. Чижиков в 1938 г. Генетическая и возрастная интерпретация отложений 1950–1970-х гг. [Тюремнов, Виноградова, 1952; Сукачев, Недосеева 1954; Москвитин, 1965; Горлова, 1968; Губонина и др., 1973; Новский, 1975; Базилевская и др., 1984; Путеводитель..., 1984] позднее была подкреплена

массивом инструментальных определений возраста [Русаков и др., 2017; Rusakov et al., 2019]. Многократные пересмотры границ ранневалдайского оледенения и реконструкции послеледниковых ландшафтов [Разрезы..., 1977; Проблемы..., 2001; Novenko et al., 2005; Судакова, 2012; Shishkina et al., 2019; Belyaev et al., 2020] лишь подчеркнули трудности сопоставления региональной хроностратиграфической схемы с локальными данными. Последние в основном получены по трем ключевым разрезам (рис. 1). Разрез А расположен на левом борту долины ручья Пужбол, В и С – в верховьях оврага Восточный Черемошник. В статье рассмотрен разрез ORV, заложенный в правом борту этого оврага А.В. Русаковым с коллегами [2017] и сопоставленный с «Черемошником С». Однако поло-

жение между устьями правых отвершков оврага (57,16632 с. ш., 39,2886 в. д.) позволяет соотносить его с архивной расчисткой 514 [Путеводитель..., 1984], а уникальная для региона плотность датировок требует ревизии фациальной интерпретации и хроностратиграфической значимости разреза.

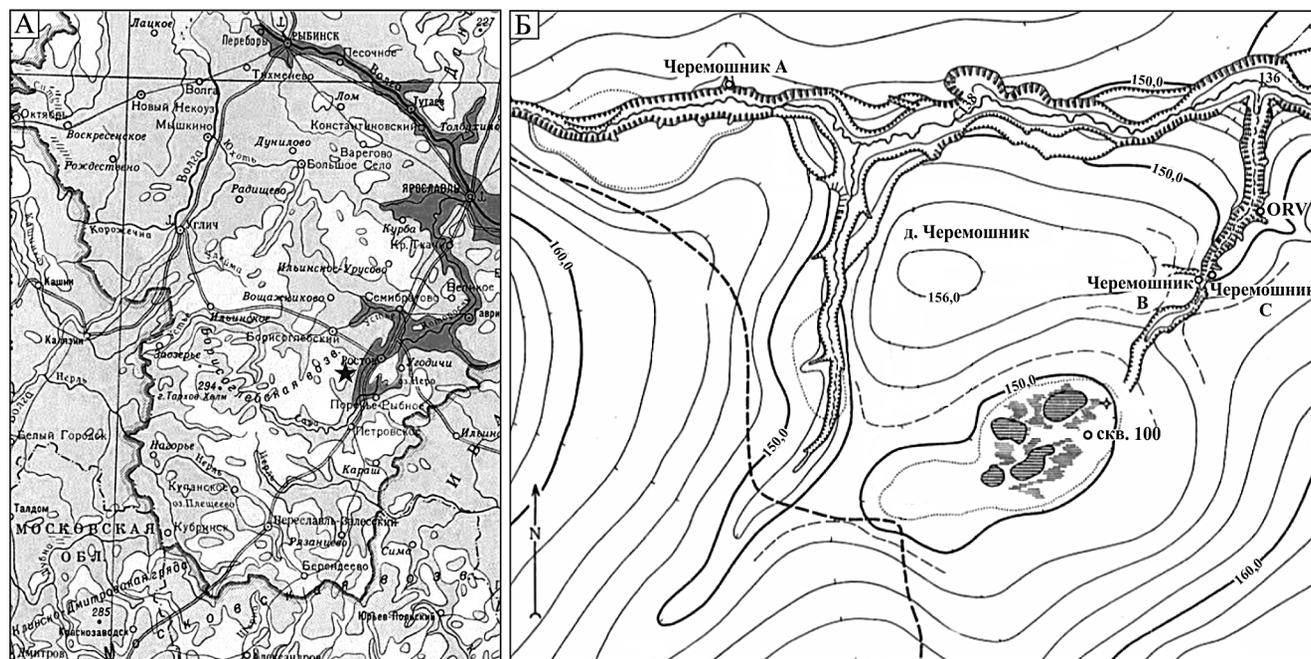


Рис. 1. Географическое положение разреза «Черемошник»: А – участок исследования (отмечен звездочкой); Б – ключевые геологические выработки в пределах овражной системы Пужбол-Черемошник (по [Гричук и др., 1973] с дополнениями)

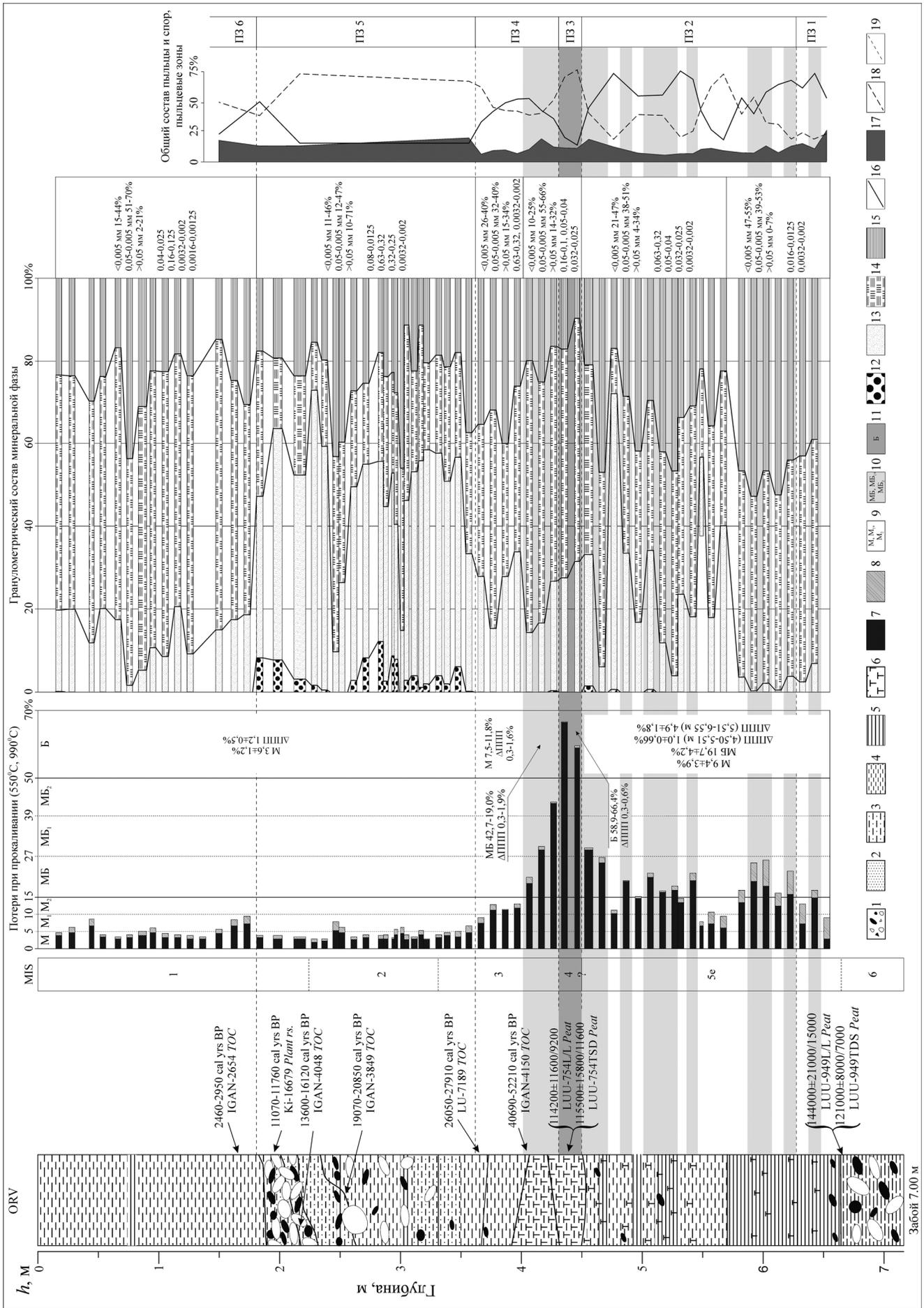
Fig. 1. Geographical location of the Cheremoshnik section: A – the study area; Б – key geological cross-sections in the Puzhbol-Cheremoshnik gully system (according to Grichuk et al., 1973, supplemented)

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Для 78 образцов определены потери при прокаливании (ППП) сухой навески при температурах 550 и 990°C [Standard Test..., 2020]. При сопоставлении с классификациями отложений по содержанию органического вещества [Субетто, Прыткова, 2016; Huang et al., 2009 и др.], осадки разделены на семь групп, соответствующих минеральному, минерально-органогенному и органогенному типам осадконакопления (рис. 2). Многофракционный гранулометрический анализ выполнен по смешанной методике [Шеремецкая, 2008] рассева на виброгрохоте Fritsch ANALYSETTE 3 Pro для частиц >0,1 мм и лазерной гранулометрии на Fritsch ANALYSETTE 22 NanoTec для частиц <0,1 мм по шкале с шагом 10 корней из 10 [Багурин, 1947]. Предварительно органическое вещество удалено 18%-й H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Литологические различия слоев охарактеризованы соотношением обломочно-песчаных частиц, алевролита и глины; главными (с наибольшим содержанием) и дополнительными модальными фракциями. Литологические наименования даны по классификации USDA [Natural..., 2021].

При проведении спорово-пыльцевого анализа 31 образца, в том числе для их обогащения микрофоссилиями, использована сепарационная методика

В.П. Гричука [Гричук, Заклинская, 1948], доработанная в ИГ РАН. В основе интерпретации ископаемых спектров лежит анализ процентного соотношения микрофоссилий пыльцы и спор доминантов и субдоминантов растительного покрова, характер выявленной палеопалинофлоры. Реконструкция палеорастительности и палеоклимата выполнена с актуалистических позиций путем подбора современных районных аналогов по сходству анализируемых ископаемых спорово-пыльцевых спектров с субфоссильными субаральными спектрами тундры, лесотундры и северотаежного редколесья Западной Сибири [Болиховская и др., 2001], лесной и лесостепной зон заповедных территорий европейской части России [Новенко и др., 2017], современных отложений оз. Неро [Гунова, 1975] и Верхневолжья [Самусь и др., 2017]. При интерпретации учтены особенности формирования палиноспектров в разных генетических типах отложений, влияющие на степень их адекватности характеру растительного покрова [Гричук и др., 1973; Каревская, 2002]. Так, палиноспектры озерно-болотных отложений, торфяников и палеопочв отличаются слабой осредненностью пыльцевого дождя и зачастую отражают локальные фитоценозы, не в полной мере соответствуя зональным типам растительности и климата.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Толща разделена на три пачки по преобладанию минерального, минерально-биогенного и биогенного типов осадконакопления (см. рис. 2). Минеральная фаза осадка по разрезу существенно дифференцирована (рис. 3). На спорово-пыльцевой диаграмме выделено шесть палинозон (ПЗ, рис. 4).

**Пачка 1 (6,55–4,50 м)** с нерегулярной сменой минерального и минерально-биогенного типов литогенеза насыщена горизонтально залегающими древесными и обугленными остатками растений. Минеральные осадки со следами органического вещества переслаиваются со слабооторфованным материалом, мощность прослоев и содержание органики в котором нарастают вверх по разрезу.

В слое 1.1 (6,55–5,70 м) оторфованный материал крупно переслаивается с глиной алевритистой, сизой и сизо-коричневой, неясно тонкослоистой и плитчатой. Глинистые и алевритистые частицы содержатся в близких долях. Уникально для разреза отсутствие частиц >0,063 мм. Минеральная фаза оторфованного осадка имеет аналогичный механический состав. Отложения накапливались в динамически спокойных озерных условиях, с тенденцией к снижению интенсивности аккумуляции.

В основании слоя 1.1 (6,55–6,30 м) выделена ПЗ 1 по абсолютному преобладанию пыльцы древесных таксонов, представленных преимущественно зернами *Picea sect. Eupiceae* (до 56%) и *Pinus s/g Diploxylon* (26–54%). Незначительную роль в спектрах играет пыльца *Betula sect. Albae* (6–26%); единичны микрофоссилии *Alnus glutinosa*, *Abies*, *Pinus sibirica* и широколиственных таксонов *Acer*, *Corylus*, *Ulmus*. В группе пыльцы трав и кустарничков преобладает пыльца *Artemisia* (20–

40%), *Poaceae* (до 24%), *Liliaceae* (до 18%), *Cyperaceae* (до 26%); постоянно встречаются единичные зерна *Chenopodiaceae*, *Cruciferae*, *Ephedra* и др. Среди спор доминируют *Polypodiaceae* и *Bryales*. Ближайшими районами-аналогами можно считать заповедники Печоро-Ильчский (Республика Коми) и Нургуш (Кировская обл.). Спорово-пыльцевые спектры ПЗ 1 отражают распространение северо- и среднетаежных формаций, представленных сосново-березово-еловыми лесами с редким участием широколиственных таксонов бореальной флоры в условиях умеренно-континентального климата с продолжительной суровой зимой и коротким прохладным летом. На фоне преобладания лесных ценозов в напочвенном покрове свободных от леса пространств заметную роль играли криоксерофитные травяно-моховые группировки из полей с участием маревых и эфедры, сохранившиеся, по-видимому, после криоксеротической стадии московского оледенения и уступившие большую часть территории лесным ценозам термоксеротической стадии микулинского межледниковья.

В слое 1.2 (5,70–4,50 м) сизые алевритистые глины неравномерно переслаиваются с глинистыми и алевритисто-глинистыми суглинками, выше 5,40 м приобретая коричневый оттенок. Растет доля песчаной фракции. На глубинах 5,51–5,48 м и 4,80–4,75 м есть сильно опесчаненные косослоистые прослои с единичным гравием, слойки отмытого песка. Отдельные прослои «разорваны», вверх по слою приобретая наклон к вершине оврага. Осадконакопление продолжалось в озерных, а выше – преимущественно озерно-болотных условиях. Этапы стабилизации и зарастания котловины чередовались с эпизодами активизации литопотоков и поступления минерального вещества с водосбора.

Рис. 2. Данные аналитических исследований разреза ORV: 1 – мелкообломочный материал; 2 – песок; суглинки: 3 – опесчаненный, 4 – алевритистый или оглиненный; 5 – глина; 6 – торф; ППП: 7 – 550°C, 8 – 990°C; типы осадконакопления: 9 – минеральный (М – минеральный, М<sub>1</sub> – со слабыми следами органического вещества, М<sub>2</sub> – с заметными следами органического вещества), 10 – минерально-биогенный (МБ – слабо оторфованный, МБ<sub>1</sub> – оторфованный, МБ<sub>2</sub> – сильно оторфованный); числовые данные соответствуют среднему арифметическому значению ППП<sub>550</sub>; ΔППП – разность между ППП<sub>990</sub> и ППП<sub>550</sub>); 11 – биогенный (Б); данные гранулометрического анализа: 12 – мелкообломочный материал (> 1 мм), 13 – песок (1–0,05 мм), 14 – алеврит (0,5–0,005 мм), 15 – глина (< 0,005 мм); пыльца: 16 – деревьев и кустарничков; 17 – трав и кустарничков; 18 – споры; 19 – границы пыльцевых зон. Для гранулометрического состава приведены главные модальные фракции. Абсолютные датировки приведены по [Rusakov et al., 2017, 2019]; калибровка выполнена с использованием IntCal20: Northern Hemisphere в программе CALIB REV 8.2 (c), 1986–2020 [Stuiver et al., 2021]

Fig. 2. Analytical data from the ORV section: 1 – debris; 2 – sand; loam: 3 – sandy, 4 – silty or clay; 5 – clay; 6 – peat; loss on ignition: 7 – at 550°C, 8 – at 990°C; type of sedimentation: 9 – mineral (M – actually mineral, M<sub>1</sub> – with traces of organic matter, M<sub>2</sub> – with noticeable amount of organic matter), 10 – mineral-biogenic (MB – with low peat content, MB<sub>1</sub> – with medium peat content, MB<sub>2</sub> – with high peat content), 11 – biogenic (B); grain size data analysis: 12 – fine-grained material (>1 mm), 13 – sand (1–0,05 mm), 14 – silt (0,5–0,005 mm), 15 – clay (<0,005 mm); pollen: 16 – arboreal and shrub, 17 – herbaceous and dwarf shrub; 18 – spores, 19 – boundaries of pollen zones. The data of particle size analysis present the main modal fractions. Absolute dates are according to [Rusakov et al., 2017, 2019]; calibration was performed using IntCal20: Northern Hemisphere in the CALIB REV 8.2 (c), 1986–2020 software [Stuiver et al., 2021]

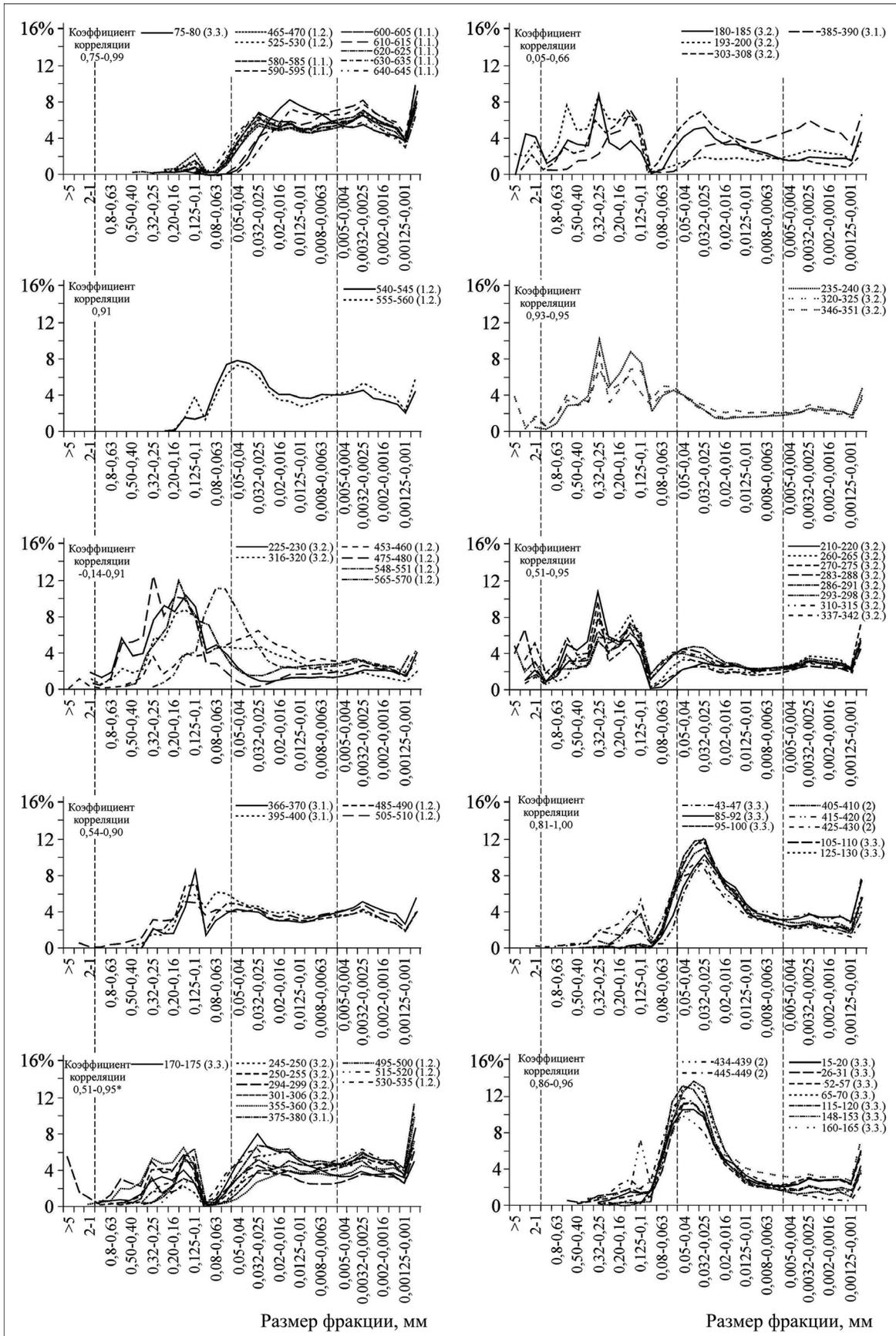


Рис. 3. Гранулометрический состав отложений разреза ORV. В скобках указаны номера пачки и слоя. Глубины образцов приведены в сантиметрах

Fig. 3. Particle size distribution of sediments of the ORV section. The numbers of beds and layers are indicated in brackets. Sample depths are in centimeters

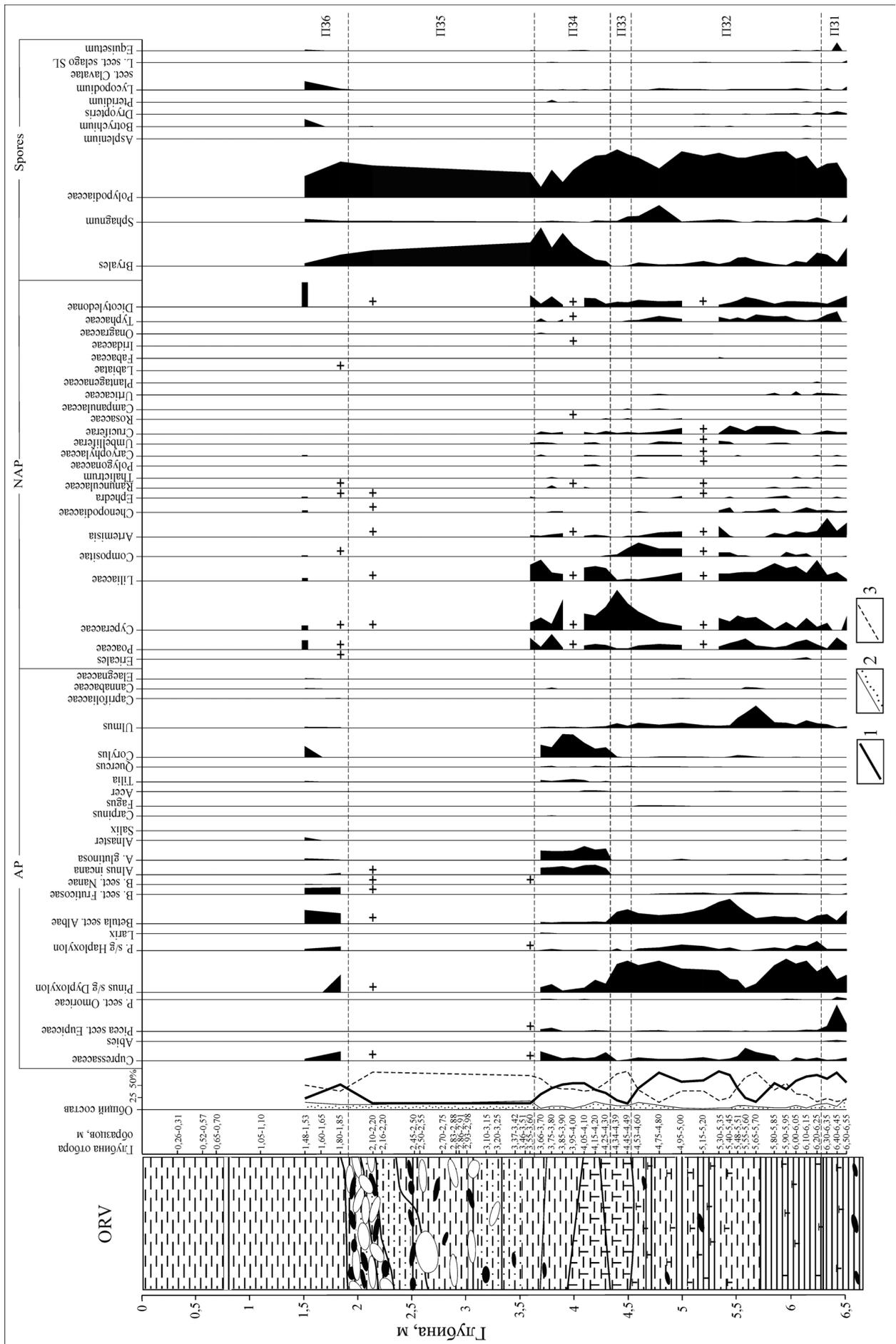


Рис. 4. Спорно-пыльцевая диаграмма разреза ORV: 1 – пыльца деревьев и кустарников; 2 – пыльца трав и кустарничков; 3 – споры

Fig. 4. Spore-pollen diagram of the ORV section: 1 – arboreal and shrub pollen; 2 – herbaceous and dwarf shrub pollen; 3 – spores

Верхнюю часть слоя 1.1 и слой 1.2 (6,30–4,50 м) охватывает ПЗ 2. В ее спорово-пыльцевых спектрах преобладают зерна древесно-кустарниковых таксонов (42–78%), меньше спор (15–54%) и пыльцы травянисто-кустарничковых растений (1–13%). В группе деревьев и кустарников доминирует пыльца сосны (до 85%); субдоминант – *Betula sect. Albae* (10–47%). Единичны зерна ели и ольхи. По сравнению с ПЗ 1 возрастает доля пыльцы *Ulmus* (до 20%). Разнообразны широколиственные таксоны: *Ulmus*, *Quercus*, *Acer*, *Corylus*; одно зерно *Fagus* скорее всего переотложено. В группе травянисто-кустарничковых растений преобладает пыльца *Liliaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*. Относительно велика роль пыльцы тундростепных и криоксерофитных таксонов: *Artemisia* (до 38%), *Ephedra* (до 4%), *Compositae* (до 28%) и др. В группе спор доминируют зерна *Polypodiaceae* (45–59%) и *Sphagnum* (до 34%); меньше – *Bryales*. Ближайшим районом-аналогом можно считать сосновые леса Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (Тверская обл.). ПЗ 2 отражает распространение средне- и южно-таежных березово-сосновых лесов с незначительной примесью широколиственных пород (дуба, вяза, клена, ильма, орешника) и редким участием в древостое ели и ольхи в условиях умеренно-континентального климата. В подлеске произрастали жимолость, лещина, кустарники семейства лоховых. На открытых участках сохранялись кустарниковые виды берез и тундростепные сообщества. На фоне продолжающегося потепления и континентализации климата территория оставалась в термоксеротической стадии микулинского межледниковья.

В двух спектрах ПЗ 2 (5,70–5,55 м) резко возрастает процентное содержание ильма в группе деревьев и кустарников, спор – в общем составе. Изменение всего двух компонентов может отражать локальные ценозы береговой зоны водоема при измененном характере зональной растительности. На глубинах 5,48–5,70 м резко снижаются ППП<sub>50</sub>; в отдельных прослоях в два-три раза возрастает содержание песка (до 57%), что может быть вызвано усилением литопотоков и (или) изменением источников сноса. Четкая литологическая граница на 5,74 м отвечает размыву этой толщи, предполагая возможность переотложения означенных микрофоссилий. В интервале 4,80–4,50 м признаки перерыва в осадконакоплении также фиксируют потенциальный размыв. Ему сопутствовало более активное поступление песка с водосбора (до 72%) и быстрое восстановление переобводнения и торфонакопления.

Таким образом, в первой половине микулинского межледниковья ландшафтная картина была близка

к северной и средней, а затем средней и южной тайге в условиях умеренно-континентального климата. На открытых пространствах сохранялись криоксерофитные растительные группировки. В условиях стабилизации дневной поверхности существовал локальный озерный бассейн [Garankina et al., 2019]. Геологическая летопись зафиксировала минимум 14 этапов его развития, отвечающих прослоям мощностью 5–40 см. Стабильные условия осадконакопления сменяли периоды колебания уровня, выразившиеся в зарастании и эпизодической проточности котловины.

Раннемикулинский возраст пачки 1, восстановленный по палиноспектрам, хорошо согласуется с U-Th возрастом подстилающих слоистых глин 121–144 тыс. л. н. [Rusakov et al., 2019], а ее полная сохранность вызывает сомнения. Ранее нарушения стратификации микулинской торфяно-глинистой толщи, прослой песков, торфа и растительного детрита и отторгнутые от основных массивов «кусочки торфа» стремились объяснить ее вовлечением в калининскую морену [Горлова, 1968; Новский, 1975; Москвитин, 1965]. Однако размывы, переотложение и «разорванность» прослоев верхних двух третей пачки 1 вполне соответствуют постседиментационной эрозионной и (или) криогенной переработке *in situ* в конце микулинского и в валдайском времени. Это подтверждает и выпадение в разрезе «классических» торфов микулинского оптимума [Горлова, 1968; Гричук и др., 1973; Базилевская и др., 1984], частично зафиксированное и в разрезе-аналоге «Черемошника А» [Novenko et al., 2005].

**Пачка 2 (4,50–4,05 м)** выделяется биогенным и минерально-биогенным типами осадконакопления. Сапропели со спрессованными неразложившимися растительными остатками перекрыты минерально-биогенной пачкой с убывающей вверх оторфованностью. Хорошо сортированный алевритистый суглинок с преобладанием фракции 0,01–0,05 мм принципиально отличен от подстилающих. Четкая верхняя граница падает к вершине отвершка; нижняя вогнута. Пачка накопилась в динамически спокойных заболоченных условиях, с тенденцией перехода (с ≈4,25 м) к субаэральной обстановке. Наличие песчаных зерен не исключает поступления вещества с водосбора.

В биогенных осадках основания пачки (4,50–4,30 м) выделена ПЗ 3. В общем составе доминируют споры (до 80%), представленные в основном *Polypodiaceae*. В группе немногочисленных трав и кустарничков преобладает пыльца *Cyperaceae*, в древесно-кустарниковой – *Pinus s/g Diploxylon et Betula sect. Albae*, что отвечает перигляциальным травяно-моховым тундровым сообществам, распространившимся на открытых незалесенных про-

странствах в условиях глубокого похолодания климата. Незначительную роль в ландшафтах играли сосново-березовые редколесья с редким участием в древостое наиболее выносливых широколиственных таксонов. Фактор переотложения пыльцы ильма и дуба из более древних осадков исключать нельзя. Но не исключено, что редкие ильмовые ценозы могли сохраняться в благоприятных местообитаниях локальных депрессий рельефа, постепенно деградируя, на что указывает насыщение оторфованной пачки крупными древесными фрагментами.

Торф пачки 2 (ПЗ 3) датирован  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -методом 114–115 (116) тыс. л. н., что позволило отнести его накопление к финалу микулинского межледникового [Русаков и др., 2017]. Но высокая степень сохранности материала без явных признаков перемещения, близость полученного возраста к рубежу микулинской и калининской эпох и высокие значения его стандартного отклонения, отсутствие в разрезе спорово-пыльцевых спектров, отвечающих термогигротической стадии межледникового, ставят вопрос о наличии здесь крупного стратиграфического перерыва. Характер спектров ПЗ 3 и стратиграфическое положение биогенных осадков позволяют предполагать, что они накапливались в одну из холодных фаз калининской стадии валдайского оледенения, когда на участке получили развитие заболоченные ландшафты, а озеровидное понижение заполнялось биогенным и минерально-биогенным веществом.

**Пачка 3 (4,05–0,00 м)** с минеральным типом осадконакопления разделена на три слоя.

В типичном до оглиненной суглинке *слоя 3.1* (4,05–3,65 м) еще заметны следы органического вещества с тенденцией к становлению субаэральных условий. Несмотря на полимодальность, суммарные соотношения песка, алевролита и глины примерно равны, хотя доля песка растет. Нижние 5–10 см однородного материала нарушены разветвленными черными линзами и гнездами песка. Выше проявляется нерегулярная тонкая косая слоистость с падением, как и границ пачки, к вершине отвершка; слои утолщаются по падению. Текстурированный рисунок соответствует склоново-пролювиальному заполнению врез в условиях локального переувлажнения. Источником могли служить отложения междуречий (в т. ч. почвенные горизонты) или залегающие гипсометрически выше озерно-болотные толщи, аналогичные слою 1.2.

В спектрах *ПЗ 4* (4,30–3,65 м) на контакте пачек 2 и 3 преобладает пыльца мелколиственных пород – *Alnus incana* (до 20%), *A. glutinosa* (до 26%); зерна пыльцы хвойных и широколиственных деревьев единичны. В общем составе спектров значительна доля спор, представленных *Bryales* (до 80%) и *Polypodiaceae* (до 90%). Палиноспектры отражают

распространение мелколиственных лесов северо- и среднетаежных формаций с редким участием наиболее хладостойчивых представителей широколиственной флоры (клен, липа, ильм, лещина). Незначительные площади были заняты смешанными лесами с участием ели, лиственницы, сосен, березы, ольхи; открытые незалесенные пространства – луговыми и травяно-моховыми группировками, в том числе тундровыми осоково-зеленомошными. Климат был холоднее и влажнее современного.

Склоново-пролювиальный генезис отложений дает основание связать высокое содержание пыльцы *Corylus* (до 50%) в ископаемых спектрах, фиксирующих в целом хладолюбивые ландшафты, с отражением локальных фитоценозов, формировавшихся в условиях овражно-балочного рельефа.

Резкая смена характера палиноспектров и биогенного типа литогенеза на минерально-биогенный на границе ПЗ 3 и ПЗ 4 (4,30 м) позволяет предполагать перерыв в осадконакоплении, а стратиграфическое положение осадков относить реконструированные палеоландшафты ПЗ 4 к молодого-шекснинскому межстадиалу, что подтверждается  $^{14}\text{C}$  датами в интервале 52–26 тыс. кал. л. н. [Русаков и др., 2017]. В средневалдайское время здесь формировались эрозионные врезы, заполняясь пролювиально-склоновым материалом [Shishkina et al., 2019]. Этапы активизации морфолитодинамики прерывались периодами стабилизации дневной поверхности, фиксируемыми серией эфемерных погребенных почв стадии MIS 3 [Belyaev et al., 2020]. Впервые палеопочва интерстадиального потепления, предшествовавшего криогигротической стадии валдайской эпохи, была обнаружена еще Л.И. Базилевской с коллегами [1984].

С глубины 3,65 м и до дневной поверхности значения  $\text{ППП}_{550}$  минимальны. Толща сформирована в процессе минерального осадконакопления.

*Слой 3.2* (3,65–1,80 м) – опесчаненный или песчано-глинистый суглинок с более тонкодисперсными прослоями, несортированный, местами сцементированный, вмещает до 12% обломков крупнее 1 см. Границы линз и прослоев наклонные, волнистые, языковатые. На глубине 1,85–2,20 м несогласно вложена линза, насыщенная обломками вплоть до мелких валунов. Слой обладает индивидуальностью механического состава и соответствует динамической активности этапа формирования и заполнения разномасштабных врезов.

Соответствующая слою 3.2 *ПЗ 5* охарактеризована двумя сходными палиноспектрами с глубин 3,55–3,60 и 2,10–2,20 м на фоне отсутствия микрофоссилий в остальных образцах. Спектры содержат лишь единичные зерна древесно-кустарниковой пыльцы (ели, сосны, березы, ольхи серой), мало зе-

рен группы трав и кустарничков. В общем составе доминируют споры (70–75%): *Polypodiaceae* (40–60%) и *Bryales* (30–55%). ПЗ 5 отвечает холодным условиям осташковской стадии валдайского оледенения с господством травяно-моховых ерниковых тундр. Резкий переход от теплых условий (ПЗ 4) к похолоданию (ПЗ 5) подкрепляется минеральным типом литогенеза и ярко выраженным флювиальным генезисом отложений.

Следует отметить, что в двух из шести описанных спорово-пыльцевых зон (ПЗ 3 и ПЗ 5) этапы глубокого похолодания климата сопровождались широким распространением травяно-моховых сообществ с участием спор *Polypodiaceae*. Их периспорий не сохранился, что не позволяет уверенно определить их таксономическую принадлежность до рода. Представители этого семейства распространены по всему земному шару; так, щитовники *Dryopteris filix-mas* и кочедыжники *Athyrium filix-femina* освоили Гренландию, Скандинавию, Кольский п-ов и северо-восток России [Жизнь растений..., 1978]. Это позволяет предполагать, что в составе тундровых сообществ холодных эпох позднего плейстоцена значительную роль могли играть представители подсемейств щитовниковых, кочедыжниковых и других *Polypodiaceae*.

Поныне существуют две точки зрения на генезис слоя 3.2. Согласно одной, эта толща морены калининского оледенения [Сукачев, Недосеева 1954; Москвитин, 1965; Новский, 1975; Судакова, 2012]. Приверженцы второй [Чеботарева, Макарычева, 1974; Базилевская и др., 1984] относят ее к делювиально-склоновому, в том числе солифлюкционному, местами оползневому, пролювиальному типам, получившим развитие в перигляциальных условиях. Положение пачки 2, слоев 3.1 и 3.2, стратиграфически выше мологосексинских осадков, и их палеоландшафтная и литогенетическая интерпретации заставляют нас подчеркнуть роль локального врезания в средне- и поздневалдайское время в несколько этапов, разделенных эпизодами стабилизации эрозионных форм [Shishkina et al., 2019]. Вывод об их прерывистом развитии согласуется с маломощными педоседиментами возрастом 15–20 тыс. кал. л. н., маркирующими погребенные склоны врезов, и последующим обломочным выполнением эрозионной формы вплоть до 11 тыс. кал. л. н. в эпоху дегляциации [Русаков и др., 2017; Garankina et al., 2019].

**Слой 3.3 (1,80–0,00 м)** наиболее однородных алевритистых суглинков имеет контрастную линзовидно-слоистую по цвету текстуру. На глубинах 1,80–1,70, 0,92–0,75 и 0,47–0,43 м есть прослой алевритисто-глинистого суглинка и алевритистой глины; верхний и нижний – со следами органической фазы. Основная масса приходится на лессовую

фракцию. Накопление толщи отвечает низкоэнергетическим, но динамически неоднородным условиям преобладания склонового стока с прилегающего междуречья [Belyaev et al., 2020].

Два резко различающихся по общему составу, доминирующим таксонам и ископаемой палинофлоре образца с глубин 1,80–1,85 и 1,48–1,53 м объединены в ПЗ 6. Несмотря на смешанный характер, спектры отражают распространение мелколиственных и сосново-березовых лесов с редким участием ольхи и даже широколиственных таксонов в условиях значительно более теплых, чем ПЗ 5. На глубинах <1,50 м выделить микрофоссилии не удалось.

Венчающий разрез ORV слой 3.3, по всей видимости, формировался в голоценовую эпоху. Гумусированный прослой в его основании датирован рубежом суббореальной и субатлантической стадий [Русаков и др., 2017]. Однако отсутствие микрофоссилий и близость к поверхности не позволяют исключить омоложение радиоуглеродного возраста. Текстура, состав и значительная мощность слоя, резкие различия палиноспектров в двух единственных информативных для спорово-пыльцевого анализа образцах роднят его с делювиальной пачкой, вскрытой в схожей геоморфологической позиции разрезом ORZ (аналог Черемошника А) [Belyaev et al., 2020]. Подстилающая мощную серию педоседиментов среднеголоценового возраста, она может быть рассмотрена как ответ ландшафта на перестройку от холодной бореальной стадии голоцена к атлантическому потеплению.

## ВЫВОДЫ

Результаты комплексных аналитических исследований позволили выделить в разрезе ORV как минимум четыре локальных ландшафтных перестройки в пределах депрессии московского рельефа.

В разрезе отсутствуют отложения, отвечающие оптимуму микулинского межледниковья, которое представлено здесь исключительно термоксеротической стадией.

Горизонт автохтонных торфов, обнаженный овражной системой Пужбол–Черемошник и широко используемый как стратиграфический репер микулинского термохрона, возможно, местами следует относить к одной из начальных фаз калининской стадии валдайского оледенения. К этому подталкивает нетипичная ассоциация перигляциальных палиноспектров и скоплений древесных макроостатков, а также выявленный стратиграфический перерыв с озерными гиттиями начала микулинского времени.

Средне- и поздневалдайские линзовидно-слоистые биогенно-минеральные и минеральные отложения вмещают множество наклонных эрози-

онных границ, отвечая прерывистому склоново-пролювиальному накоплению. В совокупности с хроностратиграфической позицией это опровергает предположения о гляциальном генезисе вложенных в них линз «валунных суглинков», более 70 лет остававшихся на повестке научной дискуссии.

Голоценовая эпоха в разрезе представлена лишь эпизодом делювиальной аккумуляции, атрибутируемой к одной из его холодных стадий и не характеризующей сложную голоценовую историю развития участка в целом.

Зафиксирована потеря палеогеографической информации для разных по продолжительности временных отрезков: как минимум для термоги-

ротической фазы микулинского межледниковья, значительной части валдайской и голоценовой эпох вследствие эпизодической активизации эрозионных процессов.

Наличие стратиграфических несогласий в разрезе ORV не позволяет использовать его в качестве опорного для реконструкции природной среды Борисоглебской возвышенности в позднем плейстоцене и голоцене. Присутствие слоев, сформированных в результате заполнения озерных депрессий и эрозионных врезов, дает возможность привлекать их детальную гранулометрическую характеристику в качестве чуткого индикатора позднеплейстоценовой динамики локальных литопотоков.

**Благодарности.** Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ №19-77-10061 в части полевых исследований; аналитические работы проведены в рамках темы ГЗ № АААА-А16-116032810089-5. Анализатор Fritsch ANALYSETTE 22 NanoТес закуплен по Программе развития МГУ. Авторы благодарны за помощь В.Р. Беляеву, Е.Д. Тулякову, А.И. Бондарю, М.Б. Нестеровой, Ю.В. Шишкиной.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Базилевская Л.И., Большаков В.А., Величкевич Ф.Ю., Немцова Г.М., Писарева В.В., Судакова Н.Г. Результаты комплексного изучения четвертичных отложений окрестностей г. Ростова Ярославской области / Геология, полезные ископаемые и инженерно-геологические исследования Центральных районов европейской части СССР; под ред. С.М. Шика. М., 1984. С. 56–71.
- Батурич В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.: Изд-во АН СССР, 1947. 335 с.
- Болиховская Н.С., Гунова В.С., Каревская И.А., Симакова А.Н., Фаустов С.С. Закономерности развития плейстоценовой перигляциальной растительности в различных районах Северной Евразии // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2001. № 6. С. 62–68.
- Горлова Р.Н. Смена растительного покрова в микулинское межледниковье по исследованиям торфяников Ярославской области / История развития растительного покрова центральных областей европейской части СССР в антропогене; под ред. Н.И. Пьявченко. М.: Наука, 1968. С. 45–91.
- Гричук В.П., Губонина З.П., Зелинсон Э.М., Моносзон М.Х. Межледниковые отложения района г. Ростова (Ярославского) / Палинология плейстоцена и плейстоцена. М.: Наука, 1973. С. 188–203.
- Гричук В.П., Заклинская Е.Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: ОГИЗ, 1948. 224 с.
- Губонина З.П., Зелинсон Э.М., Моносзон М.Х. Флористический и фитоценологический анализ палеоботанических материалов по межледниковым отложениям в районе д. Черемошник / Палинология плейстоцена и плейстоцена. М.: Наука, 1973. С. 53–59.
- Гричук М.П., Каревская И.А., Полосухина З.М. Палеоботаническое обоснование возрастной корреляции позднекайнозойских отложений в Индигино-Колымском горном районе. М.: Депонир. в ВИНТИ, 1975. 181 с.
- Гунова В.С. История озера Неро по палеоботаническим данным: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1975. 21 с.
- Жизнь растений. Т. 4 / под ред. А.А. Федорова. М.: Просвещение, 1978. 447 с.
- Каревская И.А. Учет специфики спорово-пыльцевых спектров отложений разного генезиса при палеогеографических реконструкциях. Методические аспекты палинологии: материалы X Всероссийской палинологической конференции. М.: ИГиРГИ, 2002. С. 98–99.
- Москвитин А.И. Плейстоцен европейской части СССР (Критический обзор литературных данных) // Труды ГИН. 1965. Вып. 123. 180 с.
- Новенко Е.Ю., Мазей Н.Г., Зерницкая В.П. Рецентные спорово-пыльцевые спектры заповедных территорий европейской части России как ключ к интерпретации результатов палеоэкологических исследований // Заповедная наука. 2017. Т. 2. № 2. С. 55–65.
- Новский В.А. Плейстоцен Ярославского Поволжья. М.: Наука, 1975. 236 с.
- Проблемы стратиграфии четвертичных отложений и палеогеография Ярославского Поволжья: материалы симпозиума. М.: ГЕОС, 2001. 158 с.
- Путеводитель экскурсии 27-го МГК. Четвертичные отложения окрестностей г. Ростова-Ярославского. М.: Наука. 1984.
- Разрезы отложений ледниковых районов Центра Русской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1977. 198 с.
- Русаков А.В., Никонов А.А., Савельева Л.А., Симакова А.Н., Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю., Коркка М.А., Савенко В.Б., Старикова А.А. Хроностратиграфия опорного разреза «Черемошник» (Ярославское Поволжье) на основе новой серии абсолютных датировок, палинологических и палеопочвенных исследований // Доклады Академии наук. 2017. № 472(6).

- С. 704–707. DOI: 10.7868/S0869565217060214.
- Самусь А.В., Каревская И.А., Мухаметшина Е.О. Субфосильные спорово-пыльцевые спектры отложений разного генезиса в Верхневолжье. Актуальные проблемы современной палинологии: материалы XIV Всероссийской палинологической конференции. М.: Географический факультет МГУ, 2017. С. 307–311.
- Субетто Д.А., Прыткова М.Я. Донные отложения разнотипных водоемов. Методы изучения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2016. 89 с.
- Судакова Н.Г. Актуальные дискуссионные вопросы о проявлении ледниковых событий в центре Русской равнины // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2012. № 72. С. 60–72.
- Сукачев В.Н., Недосеева А.В. О смене растительности в течение ресс-вюрмского межледникового // Доклады АН СССР. 1954. Т. 94. № 6. С. 1171–1174.
- Тюрменов С.Н., Виноградова Е.А. Межледниковые отложения близ г. Ростова-Ярославского // Уч. зап. Ярославского пед. ин-та. 1952. Вып. 14(24). С. 229–254.
- Чеботарева Н.С., Макарычева И.А. Последнее оледенение Европы и его геохронология. М.: Наука, 1974. 216 с.
- Шеремецкая Е.Д. Лазерная гранулометрия: принцип, сравнение с классическими методами и применение для фацеального анализа аллювиальных отложений. Общие экологические и инженерные аспекты изучения гидрологических, русловых и эрозионных процессов: сб. статей. М.: МГУ, 2008. С. 317–326.
- Belyaev V., Garankina E., Shorkunov I., Konstantinov E., Shorkunov I., Konstantinov E., Rusakov A., Andreev P., Verlova T. *Holocene erosion and deposition within a small catchment of the Northeastern Borisoglebsk Upland* (Central European Russia), Conference Series, Earth and Environmental Science, IOP Publ., 2020, vol. 438, DOI: 10.1088/1755-1315/438/1/012002.
- Garankina E., Belyaev V., Shorkunov I., Shishkina Y., Andreev P., Sheremetskaya E. Lake sedimentation as an agent of postglacial transformation of interfluves and fluvial landscapes of the Borisoglebsk Upland, Central European Russia, *Proceedings of IAHS*, 2019, no. 381, p. 13–20, DOI: 10.5194/piahs-381-13-2019.
- Huang P., Patel M., Santagata M.C., Bobet A. *Classification of Organic Soils*, Publication FHWA/IN/JTRP-2008/02. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2009.
- Novenko E., Velichko A., Zyuganova E., Junge F., Boettger T. Dynamics of vegetation at the late pleistocene glacial/interglacial transition (new data from the center of the east European Plain), *Polish Geological Institute Special Papers*, 2005, vol. 16, p. 77–82.
- Rusakov A., Sedov S., Sheinkman V., Dobrynin D., Zinoviyev E., Trofimov S., Maximov F., Kuznetsov V., Korikka M., and Levchenko S. Late Pleistocene paleosols in the extra-glacial regions of Northwestern Eurasia: Pedogenesis, post-pedogenic transformation, paleoenvironmental inferences, *Quaternary Int.*, 2019, no. 501, p. 174–192, DOI: 10.1016/j.quaint.2018.03.020.
- Shishkina Y., Garankina E., Belyaev V., Andreev P., Bondar A., Potapova V., Verlova T., Shorkunov I. Postglacial Incision-Widening-Infill Cycles at the Borisoglebsk Upland: Correlations Between Interfluvial Headwaters and Fluvial Network, *International Soil and Water Conservation Research*, 2019, vol. 7, iss. 2, p. 184–195.
- Электронные источники*  
 Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture (USDA), URL: <https://www.nrcs.usda.gov> (дата обращения 10.09.2020).  
 Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils, URL: <https://www.astm.org/Standards/D2974.htm> (дата обращения 10.09.2020).  
 Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R.W. CALIB 8.2 [WWW program], 2021, URL: <http://calib.org>, accessed 2021-2-16 (дата обращения 10.05.2021).

Поступила в редакцию 19.02.2021

После доработки 25.10.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## NEW DATA ON STRATIGRAPHIC IMPORTANCE OF THE CHEREMOSHNIK SECTION (YAROSLAVL OBLAST)

E.D. Sheremetskaya<sup>1</sup>, I.A. Karevskaya<sup>2</sup>, A.V. Samus<sup>3</sup>, E.V. Garankina<sup>4</sup>, I.G. Shorkunov<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 4</sup> *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography*  
<sup>1, 3, 5</sup> *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences*

<sup>1</sup> *Sector for Information and Coordination of Geographical Research, Chief Specialist; e-mail: sheremetskaya@gmail.com*

<sup>2</sup> *Engineer, Ph.D. in Geography; e-mail: inessa.karevskaja@yandex.ru*

<sup>3</sup> *Laboratory of Evolutionary Geography, Engineer-Researcher; e-mail: alina.samus.msu@gmail.com*

<sup>4</sup> *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: evgarankina@gmail.com*

<sup>5</sup> *Department of Soil Geography and Evolution, Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: shorkunov@gmail.com*

For several decades the northeastern slope of the Borisoglebsk Upland has been a focal point for natural scientist interested in geochronology and Quaternary environmental reconstructions. A key reference section of the Upper Volga River region is a set of geological cores, exposures and excavations on the side slopes of the Puzhbol Gully system. The ORV section (Eastern Cheremoshnik Gully) was studied in detail applying the

comprehensive analytical approach. We revealed an intermittent geological record of local transformations in the exposed sequence as follows: unstable infilling of a lacustrine depression by mineral and mineral-biogenic sediment during the Mikulin thermoxeric stage; biogenic and mineral-biogenic accumulation in waterlogged areas during the transition to subaerial deposition under periglacial environment of an initial phase of the Early Glacial; discrete erosion and accumulation with associated slope processes during Pleniglacial; and just an episode of colluvial deposition attributed to a cold Holocene stage. Hiatuses in the paleogeographic record were identified for several periods of different duration, at least for the Mikulino thermohygroic interglacial stage and for significant intervals of the Late Glacial and the Holocene, mainly because of the occasional activation of erosion processes. Stratigraphic discordances exposed in the ORV section have shown its deficiency as a reference one for the reconstruction of the Late Pleistocene and Holocene environmental history of the region. Nevertheless, we can use fractional particle size distribution of the layers formed by sedimentation of lacustrine depressions and erosion cuts as a sensitive indicator of the local Late Pleistocene lithodynamics.

**Keywords:** Borisoglebsk Upland, Late Pleistocene, Holocene, grain size analysis, palynological analysis

**Acknowledgements.** The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 19-77-10061, field work). Analytical examination was held under the state theme GA AAAA-A16-11632810089-5. Fritsch ANALYSETTE 22 NanoTec was purchased under the MSU Development Program. Authors are grateful to V. Belyaev, E. Tulyakov, A. Bondar, M. Nesterova and Y. Shishkina for their assistance.

## REFERENCES

- Baturin V.P. *Petrograficheskij analiz geologicheskogo proshlogo po terrigenym komponentam* [Petrographic analysis of geological past by terrigenous components], Moscow, AN SSSR Publ., 1947, 335 p. (In Russian)
- Bazilevskaya L.I., Bolshakov V.A., Velichkevich F.Yu., Nemczova G.M., Pisareva V.V., Sudakova N.G. Results of a complex study of Quaternary sediments in the Rostov area, Yaroslavl region, *Geologiya, poleznye iskopaemye i inzhenerno-geologicheskie issledovaniya Ccentralnykh rajonov evropejskoj chasti SSSR* [Geology, mineral resources and engineering-geological studies of the central regions of the European part of Russia], S.M. Shik (ed.), Moscow, 1984, p. 56–71. (In Russian)
- Belyaev V., Garankina E., Shorkunov I., Konstantinov E., Rusakov A., Shishkina Y., Andreev P., Verlova T. *Holocene erosion and deposition within a small catchment of the Northeastern Borisoglebsk Upland (Central European Russia)*, Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publ., 2020, vol. 438, DOI: 10.1088/1755-1315/438/1/012002.
- Bolihovskaja N.S., Gunova V.S., Karevskaya I.A., Simakova A.N., Faustov S.S. *Zakonomernosti razvitiya plejstocenoj periglacialnoj rastitelnosti v razlichnykh rajonah Severnoj Evrazii* [Pleistocene evolution regularities of periglacial vegetation in different regions of Northern Eurasia], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2001, no. 6, p. 62–68. (In Russian)
- Chebotareva N.S., Makarycheva I.A. *Poslednee oledenenie Evropy i ego geokhronologiya* [The last glaciation of Europe and its geochronology], Moscow, Nauka Publ., 1974, 216 p. (In Russian)
- Garankina E., Belyaev V., Shorkunov I., Shishkina Y., Andreev P., Sheremetskaya E. Lake sedimentation as an agent of postglacial transformation of interfluves and fluvial landscapes of the Borisoglebsk Upland, Central European Russia, *Proceedings of IAHS*, 2019, no. 381, p. 13–20, DOI: 10.5194/piahs-381-13-2019.
- Gorlova R.N. [Change of vegetation in the Mikulino interglacial according to studies of peatlands of the Yaroslavl region], *Istoriya razvitiya rastitelnogo pokrova ccentralnykh oblastej Evropejskoj chasti SSSR v antropogene* [The history of the development of the vegetation cover of the central regions of the European part of the USSR in anthropogen], N.I. Piavchenko (ed.), Moscow, Nauka Publ., 1968, p. 45–91. (In Russian)
- Grichuk M.P., Karevskaya I.A., Polosuhina Z.M. *Paleobotanicheskoe obosnovanie vozrastnoj korrelyacii pozdnekajnozozjskih otlozhenij v Indigiro-Kolymskom gornom rajone* [Paleobotanical substantiation of age correlation of Late Cenozoic deposits in the Indigiro-Kolyma Mountain region], Moscow, Deponir. v VINITI, 1975, 181 p. (In Russian)
- Grichuk V.P., Gubonina Z.P., Zelikson E.M., Monoszon M.Kh. [Interglacial deposits of the Rostov (Yaroslavl) region], *Palinologiya plioczena i plejstoczena* [Pliocene and Pleistocene palynology], Moscow, Nauka Publ., 1973, p. 188–203. (In Russian)
- Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. *Analiz iskopaemyh pyl'cy i spor i ego primeneniye v paleogeografii* [Fossil pollen and spores analysis and its application in paleogeography], Moscow, OGIZ Publ., 1948, 224 p. (In Russian)
- Gubonina Z.P., Zelikson E.M., Monoszon M.Kh. [Floristic and phytoceneological analysis of paleobotanical materials on interglacial deposits in the Cheremoshnik area], *Palinologiya plejstoczena i plioczena* [Pliocene and Pleistocene palynology], Moscow, Nauka Publ., 1973, p. 53–59. (In Russian)
- Gunova B.C. *Istoriya ozera Nero po paleobotanicheskim dannym* [History of Nero Lake according to paleobotanical data], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in geography, Moscow, 1975, 21 p. (In Russian)
- Huang P., Patel M., Santagata M.C., Bobet A. *Classification of Organic Soils*, Publication FHWA/IN/JTRP-2008/02, Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2009.
- Karevskaya I.A. Accounting of specifics of spore-pollen spectra of different genesis deposits in paleo-geographical reconstructions, *Metodicheskie aspekty palinologii, materialy X Vserossijskoj palinologicheskoi konferencii* [Methodological aspects of palynology, Proceedings of the X All-Russian Palynological Conference], Moscow, IGI RGI Publ., 2002, p. 98–99. (In Russian)
- Moskvitin A.I. *Plejstoczen Evropejskoj chasti SSSR (Kriticheskij obzor literaturnykh dannykh)* [Pleistocene of the

- European part of the USSR (Critical literature review)], Trudy GIN, iss. 123, Nauka Publ., 1965, 180 p. (In Russian)
- Novenko E., Velichko A., Zyuganova E., Junge F., Boettger T. Dynamics of vegetation at the late pleistocene glacial/interglacial transition (new data from the center of the east European Plain), *Polish Geological Institute Special Papers*, 2005, vol. 16, p. 77–82.
- Novenko E.Ju., Mazej N.G., Zernickaja V.P. Recentnye sporovo-pylcevye spektry zapovednyh territorij Evropejskoj chasti Rossii kak kljuch k interpretacii rezultatov paleoekologicheskikh issledovanij [Recent spore-pollen spectra of protected areas of the European part of Russia as a key to the results of paleoecological research], *Nature Conservation Research, Zapovednaja nauka*, 2017, iss. 2, no. 2, p. 55–65. (In Russian)
- Novskij V.A. *Plejstoczen Yaroslavskogo Povolzhya* [Pleistocene of the Yaroslavl Volga region], Moscow, Nauka Publ., 1975, 236 p. (In Russian)
- Problemy stratigrafii chetvertichnykh otlozhenij i paleogeografiya Yaroslavskogo Povolzhya, materialy simpoziuma* [Problems of Quaternary deposits stratigraphy and paleogeography of the Yaroslavl Volga region, Symposium materials], Moscow, GEOS Publ., 2001, 158 p. (In Russian)
- Putevoditel ekskursii 27-go MGK. Chetvertichnye otlozheniya okrestnostej g. Rostova-Yaroslavskogo* [Excursion guide for the 27th International Geological Congress. Quaternary deposits in the Rostov–Yaroslavl region], Moscow, Nauka Publ., 1984. (In Russian)
- Razrezy otlozhenij lednikovyh rajonov Centra Russkoj ravniny* [Sections of sediments of glaciated areas of Russian Plain center], Moscow, MSU Publ., 1977, 198 p. (In Russian)
- Rusakov A., Sedov S., Sheinkman V., Dobrynin D., Zinovjev E., Trofimova S., Maximov F., Kuznetsov V., Korkka M., and Levchenko S. Late Pleistocene paleosols in the extra-glacial regions of Northwestern Eurasia: Pedogenesis, post-pedogenic transformation, paleoenvironmental inferences, *Quaternary Int.*, 2019, no. 501, p. 174–192, DOI: 10.1016/j.quaint.2018.03.020.
- Rusakov A.V., Nikonov A.A., Saveleva L.A., Simakova A.N., Maksimov F.E., Kuznecov V.Ju., Korkka M.A., Savenko V.B., Starikova A.A. Hronostratigrafija opornogo razreza “Cheremoshnik” (Yaroslavskoe Povolzhie) na osnove novej serii absoljutnyh datirovok, palinologicheskikh i paleopochvennyh issledovanij [Chronostratigraphy of the reference section Cheremoshnik (Yaroslavl Volga region) based on a new series of absolute dating, palynological and paleosurface data], *Doklady Akademii nauk*, 2017, no. 472(6), p. 704–707, DOI: 10.7868/S0869565217060214. (In Russian)
- Samus A.V., Karevskaya I.A. Subfossil spore-pollen spectra of different genesis deposits in the Upper Volga region, *Aktualnye problemy sovremennoj palinologii, materialy XIV Vserossijskoj palinologicheskoi konferencii* [Actual problems of modern palynology, materials of the XIV All-Russian Palynological Conference], Moscow, Moscow St. univ., Geograficheskij fakul'tet Publ., 2017, p. 307–311. (In Russian)
- Sheremetskaya E.D. Laser granulometry: principle, comparison with classical methods and application for facial analysis of alluvium, *Obshhie ekologicheskie i inzhenernye aspekty izuchenija gidrologicheskikh, rusovyh i jerozionnyh processov, Sbornik statej* [General ecological and engineering aspects of the study of hydrological, riverbed and erosion processes. Collection of articles], Moscow, Moscow St. univ. Publ., 2008, p. 317–326. (In Russian)
- Shishkina Y., Garankina E., Belyaev V., Andreev P., Bondar A., Potapova V., Verlova T., Shorkunov I. Postglacial Incision-Widening-Infill Cycles at the Borisoglebsk Upland: Correlations Between Interfluvial Headwaters and Fluvial Network, *International Soil and Water Conservation Research*, 2019, vol. 7, iss. 2, p. 184–195.
- Subetto D.A., Prytkova M.Ja. *Donnye otlozhenija raznotipnyh vodoemov. Metody izuchenija* [Bottom sediments of different types of reservoirs. Methods of study], Petrozavodsk, Karelskij nauchnyj centr RAN Publ., 2016, 89 p. (In Russian)
- Sudakova N.G. Aktualnye diskussionnye voprosy o proyavlenii lednikovyx sobytij v centre Russkoj ravniny [Topical discussion questions about the appearance of glacial events in the center of the Russian Plain], *Byulleten komissii po izucheniyu Chetvertichnogo perioda*, 2012, no. 72, p. 60–72. (In Russian)
- Sukachev V.N., Nedoseeva A.V. O smene rastitelnosti v techenie riss-vyurmnskogo mezhljedniovya [Vegetation changes during the Riess-Wurm interglacial], *Dokl. AN SSSR*, 1954, iss. 94, no. 6, p. 1171–1174. (In Russian)
- Tyuremnov S.N., Vinogradova E.A. Mezhljedniovye otlozheniya bliz g. Rostova-Yaroslavskogo [Interglacial deposits near Rostov-Yaroslavl], *Uch. Zap. Yaroslavskogo ped. in-ta*, 1952, no. 14(24). (In Russian)
- Zhizn rastenij* [Plant life], vol. 4, A.A. Fedorov (ed.), Moscow, Prosveshhenie Publ., 1978, 447 p. (In Russian)

#### Web sources

- Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture (USDA), URL: <https://www.nrcs.usda.gov> (access date 01.09.2020).
- Standard Test Methods for Determining the Water (Moisture) Content, Ash Content, and Organic Material of Peat and Other Organic Soils, URL: <https://www.astm.org/Standards/D2974.htm> (access date 01.09.2020).
- Stuiver M., Reimer P.J., Reimer R.W., 2021, *CALIB 8.2* [WWW program], URL: <http://calib.org>, accessed 2021-2-16 (access date 01.09.2020).

Received 19.02.2021

Revised 25.10.2021

Accepted 27.12.2021

## РЕАЛИЗАЦИЯ КРУПНЫХ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРОЕКТОВ КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ В АЛТАЙСКОМ РАЙОНЕ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ

К.В. Демидова<sup>1</sup>, Д.М. Медведникова<sup>2</sup>, А.И. Алексеев<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России*

<sup>2</sup> *Центр пространственного анализа и региональной диагностики ИПЭИ РАНХиГС, мл. науч. сотр.*

<sup>1</sup> *Аспирант; e-mail: metsan\_henki@mail.ru*

<sup>2</sup> *Аспирант; e-mail: darina.medvednikova@yandex.ru*

<sup>3</sup> *Профессор, д-р геогр. наук; e-mail: alival@mail.ru*

На примере Алтайского района Республики Хакасия, где в 2010-х гг. стали разрабатываться новые угольные разрезы, рассматривается влияние реализации крупных проектов в сфере угледобычи на социально-экономические изменения в сельской местности. Исследование выполнено на основе материалов, собранных в ходе экспедиции в Алтайский район в августе 2021 г., дополненных открытыми статистическими данными районных и республиканских ведомств и Росстата. Показано, что прямые экономические эффекты от деятельности компаний угледобычи (рост занятости, заработных плат, налоговых поступлений) в пределах района концентрируются в сельских поселениях, находящихся в ближайшем окружении (в радиусе 20–30 км) от угольных разрезов. При этом более значительная часть эффектов от появления в Алтайском районе новых угольных предприятий концентрируется за пределами его территории. Развитие угольной промышленности хотя и является одним из факторов сдерживания убыли населения в сельских поселениях района, но основная доля занятых, подрядчиков, а также образовательные центры, готовящие кадры для угольной отрасли, расположены в близлежащих городах – Абакане и Черногорске, что практически не оказывает стимулирующего воздействия на динамику экономического развития исследуемого муниципального района. Занятость, увеличение доходов и финансирование социальных проектов на территории района концентрируются преимущественно в районном центре и наиболее близких к разработкам или имеющим угледобывающую специализацию населенных пунктах, в них же происходит и основная трансформация образа жизни населения – сокращение содержания скота в личных подсобных хозяйствах. Единственный вид эффектов от угледобычи, который распределяется по территории района относительно равномерно, – социальные бюджетные эффекты, а именно финансовая помощь угольных компаний по реализации в муниципалитете социальных проектов местного значения, которая распределяется администрацией района, в том числе и на периферийные его территории. В то же время существенного негативного влияния на сельское хозяйство района не оказывается: за период 2010-х гг. основные его показатели выросли, однако произошла территориальная трансформация – основное предприятие с. Аршаново «переехало» в более отдаленное от разрезов сельское поселение.

**Ключевые слова:** территориальная трансформация, социально-экономические эффекты, угледобывающая промышленность, инвестиционные проекты, Сибирь

### ВВЕДЕНИЕ

В отечественной литературе рассматриваются различные факторы трансформации сельской местности: урбанизация (расстояние до крупных городов и др.), изменение институциональных условий, демографическая ситуация и многое другое. Так, например, разработкой направления трансформации сельской местности в пригородной зоне занимался еще в 1980-е гг. Г.В. Иоффе [Иоффе, 1984], среди современных исследований можно выделить диссертацию Е.С. Гусевой [Гусева, 2012]. Миграция из сельской местности и изменения в занятости в сельском хозяйстве в постсоветский период

подробно изучены Т.Г. Нефедовой и коллегами (например, [Нефедова, Мкртчян, 2017]). Проблемы изменений функций сельской местности в старопромышленных районах изучены А.И. Алексеевым, Г.В. Иоффе, А.И. Трейвишем [Географические проблемы..., 1988].

Однако очень редко объектом рассмотрения географов являются территориальные изменения под воздействием реализации крупного инвестиционного проекта. В то же время исследования прямых и косвенных эффектов от крупных проектов на различных территориях являются достаточно распространенными среди как зарубежных, так

и отечественных экономистов. Особенно активно они стали развиваться после появления теорий «ресурсного проклятия», демонстрирующих ограниченность эффектов от проектов в сфере добычи полезных ископаемых на территориях их реализации [Auty, 1994; Karl, 1997; Ross, 1999]. Сегодня для уровня стран и регионов разработаны и рассчитаны мультипликаторы для разных нефтегазовых проектов [Finken et al., 1998; Конопляник, 2000], созданы различные экономические модели расчета эффектов [Pyatt, Round, 1979; Round, 2003; Семькина, 2013; Гантон, 2007]. Однако исследований, посвященных территориальному распределению эффектов на внутрирегиональном уровне, крайне мало – ими занимаются в основном экономикогеографы [Бабурин, Горячко, 2016].

Республика Хакасия является одним из регионов, в которых на территорию сельской местности совсем недавно (в 2010-х гг.) пришел крупный бизнес из сферы добычи полезных ископаемых.

Цель исследования – оценить роль прямых и косвенных социально-экономических эффектов реализации новых угледобывающих проектов в современной (территориальной) трансформации Алтайского района Республики Хакасия.

Алтайский район Республики Хакасия представляет интерес для изучения, исходя из двух его особенностей – пригородного расположения между Абакано-Черногорской агломерацией и Саяногорском (основными экономическими центрами региона) и расположения на его территории лицензионных участков Бейского каменноугольного месторождения, которые стали разрабатываться только в последнее десятилетие. В то же время район не имел чистой сельскохозяйственной специализации до этого периода, так как уже с середины XX в. здесь существует компактный ареал угледобычи – п. Изыхские Копи, где разрабатывается Изыхское угольное месторождение.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным источником информации для исследования стал полевой выезд на территорию Алтайского района в августе 2021 г., в ходе которого было проведено 10 экспертных интервью с уполномоченными представителями районной администрации, главами сельских поселений района, представителями угольных разрезов, ведущих деятельность на территории района, а также ряд глубинных интервью с жителями сел.

Кроме того, администрацией района были представлены статистические материалы, характеризующие современную социально-экономическую ситуацию в муниципальном образовании: социаль-

но-экономические паспорта сельских поселений, сводные доклады по Республике Хакасия «О результатах мониторинга эффективности деятельности органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов» за период 2013–2019 гг., доклады главы района о результатах деятельности администрации за период 2017–2019 гг. и данные, характеризующие современную ситуацию в сельском хозяйстве территории, за 2015–2019 гг. Недостающая информация частично была восполнена Базой данных муниципальных образований Росстата. В ходе посещения музеев и библиотек района были получены архивные данные, позволяющие оценить трансформацию социально-экономической ситуации на исследуемой территории по сравнению с периодом конца 1970-х гг., когда происходил активный рост местной экономики. Представителями угледобывающих компаний были представлены материалы, отражающие объемы ежегодного финансирования социальных проектов в районе и территориальное распределение выделяемых компаниями финансов по сельским поселениям района.

В ходе экспедиции было посещено пять сельских поселений, выбранных по принципу:

– положения в системе расселения района. Были посещены такие сельские поселения, как районный центр – Белоярский сельсовет, полупериферийные (Аршановский, Краснопольский) и периферийные (Новороссийский, Очурский) сельсоветы;

– специализации. Посещены как сельсоветы с активным развитием угольной отрасли (Аршановский, Краснопольский, Белоярский), так и сельсоветы, в которых развитие новых отраслей не происходило (Новороссийский, Очурский).

Для оценки трансформации социально-экономической ситуации в районе рассматриваются показатели, отражающие действие прямых (занятость, доходы населения, собственные доходы бюджета, уровень развития сельского хозяйства) и косвенных (миграционное движение населения, оборот розничной торговли, число субъектов малого и среднего предпринимательства – МСП) эффектов от реализации проектов в сфере добычи полезных ископаемых. Так, произведено сравнение показателей численности населения, индикаторов состояния сельского хозяйства – поголовья крупного и мелкого рогатого скота (КРС и МРС) и площадей, засеваемых зерновыми культурами, объемов добычи угля на территории за 1979, 2010 (когда угледобыча еще не начала активно развиваться) и 2019 гг. (когда угледобывающие предприятия вышли на проектную мощность). За 2010–2020 гг. рассматривается динамика миграции населения, заработных плат, косвенных индикаторов роста доходов населения –

оборота розничной торговли (без субъектов малого предпринимательства) и субъектов МСП на 10 тыс. жителей, собственных доходов бюджета Алтайского района и входящих в него сельсоветов в сравнении с другими муниципалитетами региона.

Также для определения степени замещения сельскохозяйственной отрасли промышленностью была рассмотрена внутрирайонная дифференциация сельскохозяйственной деятельности – территориальное распределение поголовья КРС и МРС в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) населения и крестьянско-фермерских хозяйствах (КФХ) по сельсоветам.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 1 представлено изменение положения Алтайского района среди других муниципальных образований региона за 2010–2020 гг. За это время район значительно улучшил свои социально-экономические показатели в сравнении с другими муниципалитетами Республики Хакасия: вошел в пятерку лидеров по объему отгрузки товаров собственного производства. Однако это не остановило сокращение численности его населения (–1,2% в 2020 г. в сравнении с 2010 г.), прежде всего в трудоспособном возрасте (–12,6%).

Таблица 1

### Место Алтайского района среди муниципальных образований Республики Хакасия

Показатель	2010 г.	2020 (или 2019) г.
Численность населения	7 (4)	6 (3)
Численность трудоспособного населения	7 (4)	6 (3)
Миграционный прирост на 10 тыс. человек в среднем за 2010–2014 гг. (1-й столбец) и 2015–2020 гг. (2-й столбец)	4 (2)	5 (2)
Продукция сельского хозяйства (в фактически действовавших ценах)	4 (4)	6 (6)
Продукция растениеводства (в фактически действовавших ценах)	4 (4)	4 (4)
Продукция животноводства (в фактически действовавших ценах)	1 (1)	7 (7)
Отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами (без субъектов малого предпринимательства)	6 (2) 2012 г.	4 (1)
Доля собственных доходов бюджета муниципального образования	8 (3)	3 (1)
Средняя зарплата (без субъектов малого предпринимательства)	10 (5) 2012 г.	3 (1)
Оборот розничной торговли	5 (2) 2012 г.	7 (4)
Число субъектов МСП в расчете на 10 тыс. человек населения	8 (4) 2013 г.	9 (5)

*Источник:* составлено авторами по данным администрации Алтайского района и Базы данных муниципальных образований Росстата. Первая цифра в каждой клетке – место среди муниципальных районов, цифра в скобках – с учетом городских округов.

Вместе с этим Алтайский район – один из двух муниципалитетов, где в отдельные годы рассматриваемого периода наблюдался миграционный прирост. Однако положительные показатели миграций пришлось только на период начала реализации угольных проектов, т. е. на этап строительства. После 2015 г. привлечение специалистов на новые угольные разрезы происходило преимущественно за счет кадров из центра с давно закрепившейся угольной специализацией – Черногорска (примерно 35% привлеченных в район работников). На основном предприятии компании ООО «СУЭК-Хакасия» в Черногорске занято более двух тысяч сотрудников, что примерно в 1,5 раза больше числа занятых в угледобыче Алтайского района – это необходимо

принимать во внимание при сравнении социально-экономической ситуации. Также работники приезжали из регионального центра – Абакана (40% привлеченных работников) и окружающего данные города Усть-Абаканского района (25% привлеченных работников).

Однако на новые угольные предприятия района были привлечены и угольщики из других регионов (прежде всего из Кемеровской области, Красноярского края и Донбасса), в основном, специалисты высшего звена. Благодаря близости Абакана и Черногорска работники угольных разрезов предпочитают жить в этих городах, а не в сельской местности, и ежедневно выезжать на работу в район. В связи с этим небольшой рост межрегиональной миграции

с 2015 г. пришелся только на эти два города (в среднем за 2015–2020 гг. межрегиональная миграция в них выше в 2,8 раза по сравнению с 2010–2014 гг.).

Представители двух угледобывающих компаний – ООО «Разрез Аршановский» и ООО «УК «Разрез Майрыхский» отметили, что доля жителей Алтайского района, занятых на данных предприятиях, составляет в среднем около 30% (суммарно около 600 человек, или 5% от трудоспособного населения района). Около половины из них – жители п. Изыхские Копи (поселок с начала XX в. имеет угольную специализацию, что обуславливает наличие большого опыта работы в отрасли у местных жителей), но также на этих разрезах заняты жители районного центра – с. Белый Яр, и одного из наиболее близких населенных пунктов – с. Краснополье. В итоге занятость на угольных предприятиях обеспечивается только для сел в радиусе 20–30 км от предприятий. При этом жители из ближайшего к разрезам села Аршаново почти не представлены среди работников, что объясняется слабой дисциплинированностью местного, преимущественно хакасского населения (по данным переписи населения 2010 г. доля хакасов в структуре населения Аршановского сельсовета составляла более 70%). «Дисциплина, конечно, там (на угольных разрезах), – свидетельствуют сотрудники сельской администрации, – а в совхозе работали, привыкли опоздать, выпить, с похмелья прийти на работу, а тут не получится. Многие, конечно, работали и остались потом без работы». По сведениям представителей администрации Аршановского сельсовета, а также местных жителей, именно национальные особенности хакасского населения, а также общий негативный настрой местных жителей против появления в границах сельсовета угольных предприятий из экологических соображений становятся главной причиной нетрудоустройства жителей села на высокооплачиваемую работу на разрезах.

Угледобыча, скорее, не привлекла на территорию новых людей, но способствует удержанию населения. Однако в данном случае существенной также является роль расположения района между крупнейшими городами – промышленными центрами Хакасии, что позволяет местным жителям работать в городах, не меняя места проживания, как и наоборот, ездить на работу в сельские муниципалитеты.

В ходе экспертных интервью нашли подтверждение оба фактора удержания местного населения в сельсоветах. Для сельсоветов близости от угольных разрезов основным сдерживающим миграционный отток фактором выступила угледобыча, где работает до 50% трудоспособного населения (например, Краснопольский сельсовет, но исключением стал Аршановский сельсовет). Для

сельсоветов, расположенных ближе к городам, таким фактором представляется занятость на городских предприятиях. Примерами таких сельсоветов выступают Очурский и даже Новороссийский сельсоветы, где администрация отмечает, что более 50% населения выезжает на работу на Саяногорский алюминиевый завод.

Помимо занятости одним из прямых эффектов является обеспечение более высоких доходов населения. Алтайский район за рассматриваемый период действительно переместился из аутсайдеров в группу лидеров по уровню зарплат (измеренных без учета субъектов малого предпринимательства). Рост показателя за период с 2012 по 2019 г. составил 2,5 раза при среднем значении по муниципалитетам региона 1,8 раза, и к 2020 г. его величина стала сопоставима с уровнем в Абакане (рост в 1,6 раза) и Черногорске (рост в 2 раза). Однако насколько это отразилось на косвенных индикаторах роста доходов населения?

Количество субъектов МСП в расчете на 10 тыс. человек в 2019 г. осталось практически сопоставимым с уровнем 2013 г., при этом если в Алтайском районе и г. Абакане показатели увеличились на 5–6%, то в Черногорске произошло снижение на 25%. С другой стороны, за 2012–2019 гг. Черногорск стал лидером по росту оборота розничной торговли (помимо субъектов малого предпринимательства), в то время как динамика показателя в Алтайском районе и Абакане была ниже среднего по всем муниципалитетам региона. В результате район уступил позиции нескольким другим муниципалитетам. Развитию малого бизнеса рост зарплат от угледобычи не способствовал, но можно говорить о том, что для среднего и крупного бизнеса в сфере розничной торговли он имел значение.

Однако в сельской местности торговля почти не представлена организациями среднего и крупного масштаба. Они, вероятно, в основном концентрируются в районном центре и, соответственно, все косвенные эффекты доходов жителей остаются там. Кроме того, наличие поблизости городов – центров с более обширным ассортиментом и более дешевыми товарами – приводит к тому, что траты на крупные покупки сельское население осуществляет в них, а не в торговых учреждениях сельской местности.

Одним из наиболее значимых прямых социально-экономических эффектов для Алтайского района вследствие развития угледобычи стал существенный рост налоговых поступлений в районный бюджет. Поступления, прежде всего налог на доходы физических лиц, а также земельный налог от новых угольных предприятий, привели к росту собственных налоговых и неналоговых доходов бюджета

Алтайского района в 2020 г. по отношению к 2013 г.<sup>1</sup> в 1,5 раза (при расчете в ценах одного года).

Появление угольных разрезов привело и к тому, что район стал абсолютным лидером среди муниципалитетов Хакасии по приросту обеспеченности населения налоговыми поступлениями в 2013–2020 гг. (прирост показателя в районе составил +60%; рис. 1) и фактически единственным муниципалитетом Республики, в котором в целом наблюдался рост бюджетной обеспеченности по налоговым доходам (кроме Алтайского района рост показателя наблюдался также в Усть-Абаканском районе, однако там он составил всего +19% за 2013–2020 гг.).

Опережающий рост налоговых бюджетных доходов тем не менее не вывел Алтайский район в лидерские позиции по совокупной бюджетной обеспе-

<sup>1</sup> Сравнение собственных доходов бюджета целесообразно проводить к 2013 г., а не к более ранним периодам, вследствие снижения норматива передачи в местные бюджеты одного из основообразующих налогов местного бюджета – НДФЛ – в 2012 г. (в местные бюджеты стало передаваться не 30% НДФЛ, а 15%). Это привело к снижению собственных доходов бюджета в преобладающем большинстве муниципалитетов страны и потому сделало сравнение с более ранними периодами некорректным.

ченности (он по-прежнему занимает предпоследнее место в Хакасии), что обусловлено снижением трансфертов из регионального бюджета с ростом собственной налоговой базы района. Однако появившиеся дополнительные налоговые доходы от разрезов позволили значительно нарастить объем бюджетных финансов, которыми районные власти могут распоряжаться самостоятельно и направлять на наиболее насущные локальные проекты развития.

Закономерно рост собственных доходов бюджета района определялся их стремительным увеличением именно в тех сельсоветах, где реализовывались новые угольные проекты. Так, наибольший рост налоговых и неналоговых поступлений в бюджет с 2013 по 2020 г. наблюдался в Аршановском сельсовете, где сконцентрирована основная зона нового угольного освоения (рост показателя в 2,6 раза), а также в Краснопольском сельсовете, на территории которого находится участок угольных разработок Кирбинского разреза (рис. 2).

Собственные доходы бюджета за счет роста зарплаток местных жителей при трудоустройстве на угольные предприятия в целом увеличились и во всех остальных сельсоветах района, однако рост

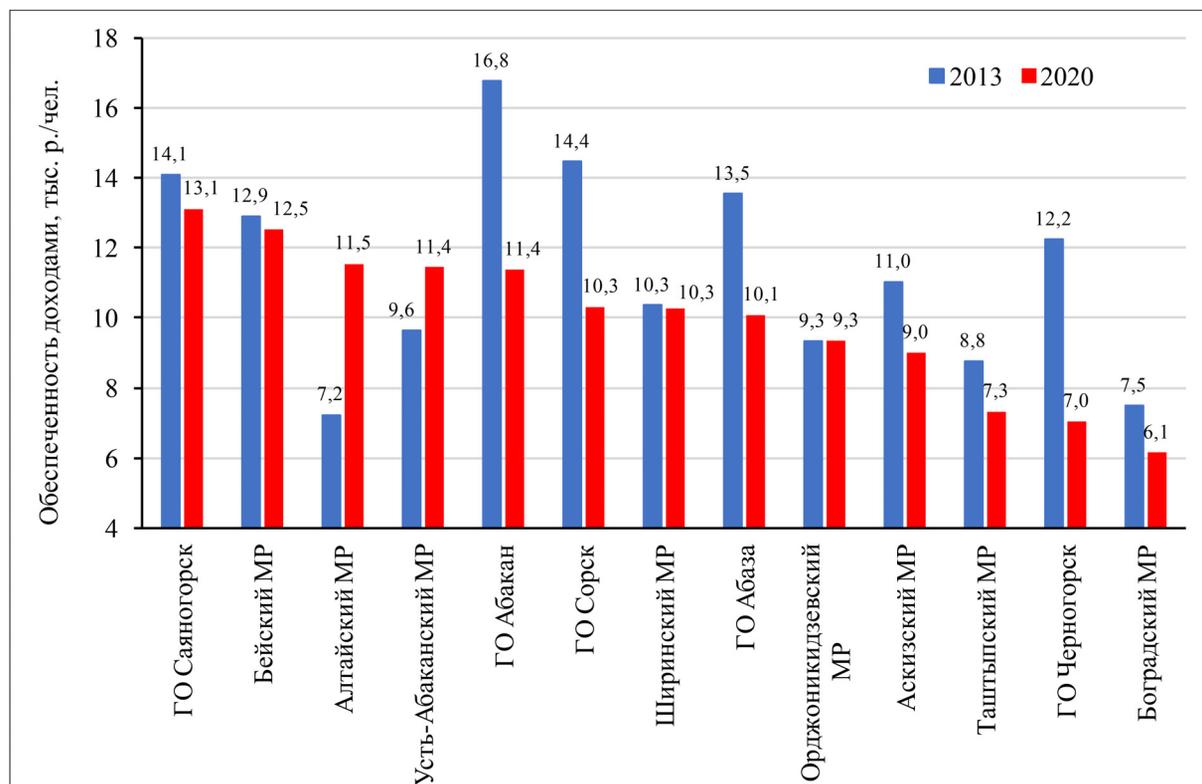


Рис. 1. Обеспеченность налоговыми и неналоговыми доходами бюджета муниципальных образований Республики Хакасия в 2013 и 2020 гг. в ценах 2020 г.

Источник: рассчитано авторами по данным БДМО Росстат

Fig 1. Provision with tax and non-tax revenues of municipal budgets of the Republic of Khakassia in 2013 and 2020, in 2020 prices. Source: calculated by authors based on data from the BDMO Rosstat

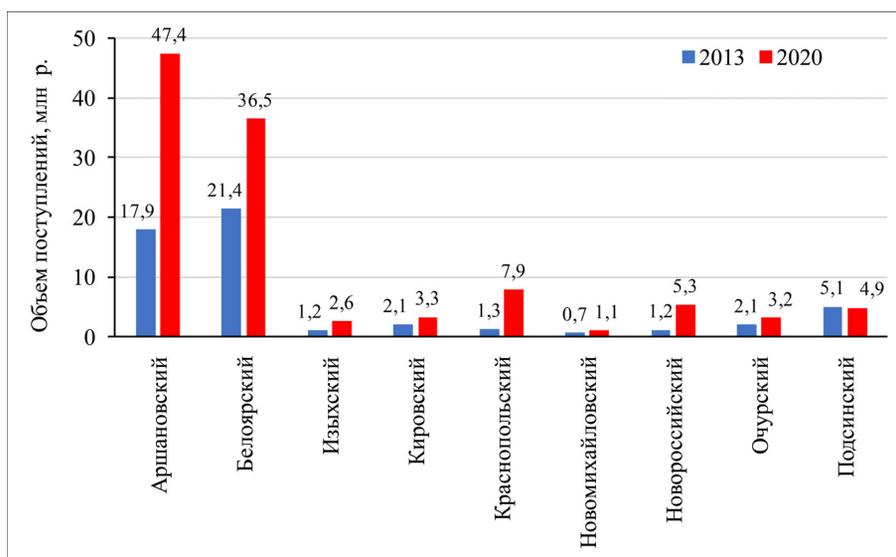


Рис. 2. Объем собственных налоговых и неналоговых поступлений в бюджет в сельсоветах Алтайского района в 2013 и 2020 гг. в ценах 2020 г.

Источник: рассчитано авторами по данным БДМО Росстата

Fig. 2. The volume of owned tax and non-tax budget revenues in village councils of the Altai district in 2013 and 2020, in 2020 prices. Source: calculated by authors based on data from the BDMO Rosstat

налоговых и неналоговых поступлений в них был менее заметен, чем в сельсоветах с непосредственным присутствием угольных разработок.

Рост собственных бюджетных поступлений в районе хотя и не поспособствовал изменению структуры бюджетных расходов, но позволил увеличить расходы бюджета по всем насущным статьям, прежде всего по статье «Образование» и «Физическая культура и спорт». При софинансировании угольных компаний в районе было построено несколько новых детских садов, а также ряд спортивных площадок – например, в районном центре селе Белый Яр и планируется в селе Аршаново.

Рост налоговых поступлений в бюджеты сельсоветов значительно сильнее повлиял на их бюджетные возможности. В частности, в Аршановском и Краснополяском сельсоветах после 2015 г. заметен рост инвестиционных расходов бюджета на сельскую капитальную инфраструктуру – ЖКХ и строительство поселковых дорог. Колоссальные объемы налоговых доходов в Аршановском сельсовете, ежегодно получаемые от угольщиков после их выхода на проектную мощность, позволили сельским властям нарастить объемы трат по статье «Национальная экономика» до 21–22% в 2018 и 2019 гг., что является фактически уникальным случаем для сельских поселений. Аналогично в результате дополнительных доходов от угольщиков более чем в четыре раза выросли расходы на дорогостоящие работы в сфере ЖКХ в Краснополяском сельсовете.

На бюджетных эффектах положительное влияние пришедшего в район угольного бизнеса не за-

канчивается. Зачастую крупный бизнес занимается также и социальной поддержкой на территории присутствия. В случае угледобычи это как собственные решения компаний, так и лицензионные соглашения, которые они обязаны согласовать и подписать с районной администрацией при получении разрешения на разработку лицензионного участка. В таких соглашениях прописаны социальные проекты и объемы финансирования, которые компании будут выделять каждый год до момента выхода предприятий на проектную мощность (и, соответственно, начала выплаты ими полного объема налогов).

Инициативные решения компаний, не связанные с лицензионными соглашениями, направлены на улучшение их имиджа на рынке (компании с повышенной социальной ответственностью более привлекательны для акционеров и инвесторов, что может повысить их капитализацию) и в глазах местного населения, с целью снижения его недовольства негативными последствиями (изъятием части земель для выпаса скота, появлением угольной пыли, снижением уровня грунтовых вод). В связи с этим наибольший объем средств направляется в ближайшее к разработкам сельское поселение Аршановское. Так, от ООО «Разрез Аршановский» местное население получает уголь бесплатно, школьникам средней и старшей школы оплачиваются обеды, для школ и детских садов компанией закупается техническое оборудование, для работников разрезов за счет средств предприятия проводится ремонт жилых помещений и прочие необходимые работы для повышения качества места проживания. Част-

ные заявки от жителей и администраций сельских поселений отбираются и агрегируются в районной администрации, и далее финансирование на них запрашивается у компании.

На примере ООО «Разрез Аршановский» и ООО «УК «Разрез Майрыхский» рассмотрим территориальное распределение двух указанных типов социальной поддержки (рис. 3) с сопоставимым объемом финансирования. Можно видеть работу администрации района в отношении распределения эффектов от лицензионного соглашения не только на сельские поселения, находящиеся в зоне действия компаний, но и на периферийную территорию

(Новороссийский, Кировский, Очурский сельсоветы). Несмотря на то что объемы помощи удаленным сельсоветам совсем небольшие, по словам сельских глав, она все равно очень значима: «В осенне-зимний отопительный сезон 2021 г. нам было выделено 300 т бесплатного угля. Это большая помощь. <...> В среднем у нас расход около 600 т, т. е. половину нам дали бесплатно», – поделился в ходе интервью глава Очурского сельсовета.

Однако в целом подтверждается распределение «социального» финансирования по принципу ближайших соседей – сельсоветов в зоне потенциального воздействия угледобытчиков, также значимая



Рис. 3. Финансирование социальных проектов на примере двух угледобывающих компаний Алтайского района, % от общей суммы, выделенной разрезом на финансирование социальных проектов. Источник: данные компаний

Fig. 3. Financing of social projects as in the case of two coal mining companies of the Altai region, % of the total amount allocated by section for financing social projects. Source: information from companies

доля приходится на проекты в районном центре и ближайших к нему населенных пунктах.

Определенно, под различным влиянием угольной отрасли, описанным выше, характер экономической и социальной деятельности в районе существенно трансформировался. Если в XX в. местное население было занято практически исключительно в сельском хозяйстве (за исключением жителей Изыхских Копей), в районе локализовывались крупнейшие сельхозпредприятия не только Хакасии (совхозы «Алтайский» и «Аршановский», специализировавшиеся на скотоводстве и птицеводстве, «Подсиненский» (птицеводство)), но и всей России (овцеводческий племязавод «Россия»), то в 2010-х гг. эта сельскохозяйственная специализация была в заметной степени замещена угледобычей. В совокупности с теми, кто выбрал после высвобождения из с/х организации работу в ближайших городах или на вахте, доля замещения сельскохозяйственной занятости, скорее, достигнет отметки выше 50%.

С конца XX в. в районе сократилось производство продукции сельского хозяйства, что отразилось и на снижении его места среди муниципалитетов на две позиции. Однако угледобывающая отрасль

к этому отношения не имеет: в 2015 г. была обанкрочена Подсиненская птицефабрика, что привело к резкому падению продукции животноводства района. В данном случае для более обоснованной оценки необходимо сравнить масштаб ведения сельскохозяйственной деятельности в советский период и в последние 10 лет.

При изучении таблицы 2 виден масштаб сокращения поголовья овец и коз – фактически можно говорить об утрате специализации района (овцеводство шерстяного направления) за постсоветский период. Одним из значимых факторов (помимо сокращения числа колхозов и совхозов за 1990–2000-х гг.) стало закрытие комбината, производящего шерстяные изделия – основного потребителя данного сырья в регионе. Вместе с этим сократились и посевные площади зерновых культур – отрасли, которая имела преимущественно подсобное значение для животноводства.

Сегодня правительством Республики Хакасия оказывается особая поддержка овцеводству региона, но уже не шерстяному, а его мясному направлению. Так, в 2019 г. запущен завод «Хакасская ба-

Таблица 2

### Сопоставление социально-экономических показателей Алтайского района за 1979, 2010 и 2020 гг.

Показатель	1979	2010	2020
Численность населения, тыс. чел.	19,8	23,5	25,3
Посевные площади с/х культур, тыс. га	69,6	24,5	26,1
Валовой сбор зерновых и зернобобовых, тыс. т	34,1	11,4	13,8
Поголовье КРС, тыс. голов	12,1	12,7	13,9
Поголовье овец и коз, тыс. голов	143,3	11,5	19,6
Производство мяса основных видов скота, в убойном весе, тыс. т	2,58	14,4 (скот и птица на убой в живом весе)	2,8 (скот и птица на убой в живом весе)
Объем добычи угля, тыс. т	Около 1500		Около 10000

*Источник:* составлено авторами по данным, предоставленным администрацией Алтайского района, и архивным данным.

ранина», для сельскохозяйственных предприятий и крестьянско-фермерских хозяйств из регионального бюджета субсидируется приобретение овец и коз, каждый килограмм реализованной на переработку баранины. Результатом за последнее десятилетие является рост поголовья, отчасти и рост посевных площадей. Интересно, что поголовье крупного рогатого скота, второстепенного для региона и, в частности, для района направления, не только не сократилось за постсоветский период, но даже сохранило небольшие темпы роста. Это может быть обусловлено тем, что разведение КРС – одно из основных направлений современных сельскохозяйственных

организаций, что вызвано в том числе наличием перерабатывающих мощностей и спроса в городах на молочную продукцию.

Если в сравнении с советским этапом развития сельское хозяйство Алтайского района испытало сильное сжатие, исчезла отрасль специализации, то за десятилетие развития угледобычи отрасль не только не пострадала, но даже увеличила свои показатели. Более того, в результате ряда новостей о негативном влиянии угледобычи на качество мяса ООО «Разрез Аршановский» запустило имиджевый проект: создало подсобное хозяйство, в котором сегодня насчитывается 700 голов овец (в планах пред-

приятия выйти на самоокупаемость – 1000 голов и более), выпасаемых исключительно на лицензионных участках компании. Так, добывающие предприятия сами становятся сельскохозяйственными производителями на территории района.

Картосхема, представленная выше (см. рис. 3), демонстрирует, что наибольшее поголовье КРС и МРС в крестьянско-фермерских хозяйствах сохраняется в наиболее близких к Абакану сельских поселениях, несмотря на развитие на той же территории угледобывающей отрасли. В ходе экспедиции авторами был описан только один случай перемещения сельскохозяйственного предприятия под влиянием активизации добычи – из Аршановского сельского поселения в Очурское переместилось основное хозяйство одноименного села – ООО «Аршановское».

Периферия района четко прослеживается по возрастающей роли ЛПХ в животноводстве – на этой территории подсобное хозяйство является одним из значимых составляющих самообеспечения населения. Именно в этом направлении можно проследить влияние промышленности: в сельсоветах, где большая часть трудоспособного населения трудится на угледобыче или алюминиевом комбинате, жители предпочитают уже не содержать скот в ЛПХ.

Однако «подсознательное» желание жителей сел вернуться к сельскому образу жизни и работе «на земле» все же прослеживается в ходе разговоров: «И, короче, где-то через полгода, я механиком тогда работал здесь, трактористов своих встречаю, которые на разрезе работают: „Ну как там? Что? Нормально?“ – „Ну нормально“. А потом сами говорят: „Совхоз-то начал бы развиваться, сразу бы вернулись в совхоз“. То есть они – жители сельские, они лучше бы работали на земле, чем там на бульдозере или что, в пыли, грязи» (глава Краснопольского сельсовета).

Вопрос, насколько проблема сокращения сельскохозяйственной занятости связана с развитием промышленности, остается открытым. Нельзя не учитывать изъятие части сельскохозяйственных земель, наличие угольной пыли и некоторых других негативных экологических последствий, часть из которых компании пытаются снизить. Однако проблема сельского хозяйства является частью более масштабной и системной проблемы отрасли в стране и в регионе, в частности, после сокращения 1990-х гг. она так и не восстановилась в отраслях специализации, и дополнительное негативное влияние на ее показатели в 2010-х гг. от промышленности прослеживается слабо. Наиболее вероятно, что начавшаяся региональная политика в этом направлении может способствовать развитию сельскохозяйственного направления в районе даже при параллельном функционировании промышленного

комплекса: сельским жителям необходимо обеспечить сбыт продукции, субсидировать затраты на содержание скота, далее вопрос состоит уже в их выборе, который пока все-таки более активно делается в сторону промышленности.

## ВЫВОДЫ

Пример Алтайского района Республики Хакасия показывает, что новое промышленное освоение (в данном случае – появление угледобычи) является одним из факторов сдерживания оттока населения из сельской местности, однако нельзя утверждать, что оно является решающим. Наиболее вероятно, основным является экономико-географическое положение района вблизи Абакано-Минусинской агломерации.

Прямые экономические эффекты от деятельности компаний угледобычи (рост занятости, заработной платы, налоговых поступлений) в пределах района концентрируются в населенных пунктах (сельсоветах), находящихся в радиусе 20–30 км от угольных разрезов, однако значительная часть эффектов локализуется за пределами района, прежде всего в г. Черногорске и окрестностях, где угледобывающая специализация сохраняется уже на протяжении полувека. Здесь же сконцентрирована значительная часть подрядных организаций угольной отрасли. Локализация подрядных организаций, работающих в Алтайском районе, на территории других муниципальных образований – г. Черногорска, Усть-Абаканского района – «уводит» социально-экономические эффекты от развития угольной отрасли из Алтайского района в муниципалитеты присутствия подрядов.

Финансовые средства на реализацию локальных проектов в рамках социальной ответственности угольных компаний распределяются по территории муниципального района крайне неоднородно. В несколько раз большие объемы финансирования на социальные объекты получают сельские населенные пункты, находящиеся в непосредственной близости от территорий угольных разработок. Однако периферийные сельсоветы района тоже получают незначительную дополнительную финансовую поддержку от угольщиков в результате перераспределения районной администрацией средств, поступающих от угольных компаний в рамках лицензионных соглашений. Так, почти во всех сельских поселениях на деньги угледобытчиков были построены или отремонтированы социальные учреждения. Только социальные траты компаний и бюджета являются единственными эффектами, которые относительно равномерно распределяются по всей территории района.

Косвенные эффекты на территории района практически не проявляются. Так, все основные под-

рядчики, а также учебные заведения, готовящие специалистов, находятся в городе со сложившейся специализацией – Черногорске, а рост зарплат не отразился на малом и среднем бизнесе, в том числе на росте числа МСП, обороте розничной торговли территории. Вероятно, причина в том, что свои более высокие доходы работники предпочитают тратить в расположенных поблизости городах – Абакане, Саяногорске, Черногорске.

Активное развитие угледобычи в последние 10 лет не оказало негативного влияния на сельское хозяйство района: хотя сельскохозяйственная деятельность в районе значительно «сжалась» в сравнении с советским периодом, по большинству показателей в последние годы наблюдался рост.

Приход угольной отрасли обусловил территориальную трансформацию сельскохозяйственной деятельности в районе – зона с/х освоения ото-

двинулась от территории угольных разработок посредством переезда сельскохозяйственного предприятия на более экологически чистую территорию из Аршановского сельсовета (где ведется угледобыча) в периферийный Очурский сельсовет.

Основным косвенным эффектом трансформации сельской местности района (обусловленным не только началом угледобычи, но и развитием промышленности в целом, в том числе цветной металлургии под Саяногорском) можно назвать изменение образа жизни населения сельских населенных пунктов, работающего на промышленных предприятиях. В большинстве случаев сельские жители, занятые в промышленности, перестают заниматься сельскохозяйственным производством и вести подсобное хозяйство, предпочитая приобретать готовую продукцию в соседних городах.

**Благодарности.** Методология исследования разработана А.И. Алексеевым в рамках выполнения ГЗ МГУ «Современная динамика и факторы социально-экономического развития регионов и городов России и стран Ближнего Зарубежья» (№121051100161-9). Методика исследования разработана К.В. Демидовой, сбор материала выполнен К.В. Демидовой и Д.М. Медведниковой, обработка материалов и написание статьи выполнены К.В. Демидовой, Д.М. Медведниковой и А.И. Алексеевым при поддержке РФФИ, проект 21-17-00112 «Трансформация различных типов сельской местности России под влиянием внутренних и внешних факторов в современных социально-экономических и демографических условиях».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабурин В.Л., Горячко М.Д.* Трансформация и модернизация городской экономики под влиянием крупного инвестиционного проекта (на примере проекта «Сочи-2014») // Вопросы географии. 2016. № 141. С. 433–452.
- Гантон Т.* Мегапроекты и региональное развитие: патологии в проектном планировании // Пространственная экономика. 2007. № 3. С. 77–108.
- Географические проблемы интенсификации хозяйства в старопромышленных районах: сб. ст. / АН СССР, Ин-т географии; под ред. С.А. Тархова. М.: ИГ АН СССР, 1988. 146 с.
- Гусева Е.С.* Трансформация сельской местности пригородной зоны крупного города (на примере Московской области): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2012. 23 с.
- Иоффе Г.В.* Изучение географии сельского хозяйства в зоне влияния крупнейшего города (опыт методической разработки на примере Подмосковья) // Известия АН СССР. Сер. географическая. 1984. № 1. С. 63–72.
- Конопляник А.А.* Анализ эффекта от реализации нефтегазовых проектов СРП в России для бюджетов разных уровней // Нефтяное хозяйство. 2000. № 10. С. 24–30.
- Нефедова Т.Г., Мкртчян Н.В.* Миграция сельского населения и динамика сельскохозяйственной занятости в регионах России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 5. С. 58–67.
- Семькина И.О.* Оценка региональных социально-экономических эффектов при реализации нефтегазовых проектов Восточной Сибири: автореф. дис. ... канд. экон. наук. Новосибирск, 2013. 23 с.
- Auty R.M.* Industrial policy reform in six large newly industrializing countries: The resource curse thesis, *World development*, 1994, no. 1, p. 11–26, DOI: 10.1016/0305-750x(94)90165-1.
- Finken R.D., Arbatov A.A., Moukhin A.V. et al.* Regional Impact of Project Spending, *Oil & Gas Executive*, 1998, no. 1, p. 38–44, DOI: 10.2118/50955-oger.
- Karl T.L.* *The paradox of plenty*, University of California Press, 1997, 360 p., DOI: 10.1525/9780520918696.
- Ross M.L.* The political economy of the resource curse, *World politics*, 1999, no. 2, p. 297–322, DOI: 10.1017/s0043887100008200.
- Pyatt G., Round J.I.* Accounting and fixed price multipliers in a social accounting matrix framework, *The Economic Journal*, 1979, no. 356, p. 850–873, DOI: 10.2307/2231503.
- Round J.* Constructing SAMs for development policy analysis: lessons learned and challenges ahead, *Economic Systems Research*, 2003, no. 2, p. 161–183, DOI: 10.1080/0953531032000091153.

Поступила в редакцию 17.12.2021

После доработки 25.12.2021

Принята к публикации 27.12.2021

# LARGE-SCALE COAL MINING AS A TRANSFORMATION FACTOR OF RURAL AREAS IN THE ALTAI DISTRICT OF THE REPUBLIC OF KHAKASSIA

K.V. Demidova<sup>1</sup>, D.M. Medvednikova<sup>2</sup>, A.I. Alekseev<sup>3</sup>

<sup>1-3</sup> *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia*

<sup>2</sup> *The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Institute for Applied Economic Research, Center for Spatial Analysis and Regional Diagnostics, Junior Scientific Researcher*

<sup>1</sup> *Postgraduate student; e-mail: metsan\_henki@mail.ru*

<sup>2</sup> *Postgraduate student; e-mail: darina.medvednikova@yandex.ru*

<sup>3</sup> *Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: alival@mail.ru*

Impact of the implementation of large coal mining projects on socio-economic changes in rural areas is investigated using the example of the Altai district of the Republic of Khakassia, where new coal mines developed in the 2010s. The study was carried out on the basis of materials collected during an expedition to the Altai region in August 2021, supplemented by open statistical data of regional and republican departments and the Russian Federal State Statistics Service. It is shown that direct economic effects of the activities of coal mining companies, such as the growth of employment, wages and tax revenues, concentrate in the settlements located in the immediate vicinity (within 20–30 km) of the coal mines. At the same time, greater effects of developing new coal enterprises in the Altai district are pronounced outside its territory. Development of the coal industry is a factor curbing the population decline in rural settlements of the district, however the bulk of the employed and contractors, as well as educational centers that train personnel for coal industry, are located in nearby cities, i. e. Abakan and Chernogorsk, thus negating the stimulating effect on the dynamics of economic development of the studied municipal area. Employment, income increase and financing of social projects are concentrated mainly in the district center, as well as in the settlements closest to coal mines or having coal mining specialization. They also experience a principal transformation in the population lifestyle, i. e. the reduction of livestock at personal subsidiary farms. The only type of effects from coal mining that is distributed relatively evenly across the territory of the district are social budgetary effects, namely financial assistance from coal companies for the implementation of local social projects in the municipality, which is distributed by the district administration, in particular to its peripheral territories. At the same time, there is no significant negative impact on agriculture of the district. During the 2010s its main indicators are growing, but a kind of territorial transformation took place when the main enterprise of Arshanovo settlement “moves” to another one farther from coal mines.

**Keywords:** territorial transformation, socio-economic effects, mining industry, large investment projects, Siberia

**Acknowledgments.** The research methodology was developed by A.I. Alekseev as a part of the implementation of the State Law of Moscow State University “Modern dynamics and factors of socio-economic development of regions and cities of Russia and the countries of the Near Abroad” (no. 121051100161-9). The research procedures were developed by K.V. Demidova; the material was collected by K.V. Demidova and D.M. Medvednikova; processing of materials and writing of the article were carried out by K.V. Demidova, D.M. Medvednikova and A.I. Alekseev and financially supported by the Russian Science Foundation (project 21-17-00112 “Transformation of various types of rural areas in Russia under the influence of internal and external factors in modern socio-economic and demographic conditions”).

## REFERENCES

- Auty R.M. Industrial policy reform in six large newly industrializing countries: The resource curse thesis, *World development*, 1994, no. 1, p. 11–26, DOI: 10.1016/0305-750x(94)90165-1.
- Baburin V.L., Goryachko M.D. Transformatsiya i modernizatsiya gorodskoi ekonomiki pod vliyaniem krupnogo investitsionnogo proekta (na primere proekta “Sochi-2014”) [Transformation of urban structures under the implementation of large investment project: a case study of Sochi-2014], *Voprosy geografii*, 2016, no. 141, p. 433–452. (In Russian)
- Finken R.D., Arbatov A.A., Moukhin A.V. et al. Regional Impact of Project Spending, *Oil & Gas Executive*, 1998, no. 1, p. 38–44, DOI: 10.2118/50955-0ger.
- Ganton T. Megaproekty i regional'noe razvitie: patologii v proektnom planirovanii [Megaprojects and regional development: pathologies in project planning], *Prostranstvennaya ekonomika*, 2007, no. 3, p. 77–108. (In Russian)
- Geograficheskie problemy intensifikatsii hozyajstva v staropromyshlennykh rajonakh* [Geographical problems of intensification of agriculture in old industrial areas], S.A. Tarkhov (ed.), Moscow, Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences Publ., 1988, 146 p. (In Russian)
- Guseva E.S. *Transformatsiya sel'skoj mestnosti prigorodnoj zony krupnogo goroda (na primere Moskovskoj oblasti)* [Transformation of rural areas of the suburban area of a large city (on the example of the Moscow region)], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, 2012, 23 p. (In Russian)

- Ioffe G.V. Izuchenie geografii sel'skogo hozyajstva v zone vliyaniya krupnejshego goroda (opyt metodicheskoy razrabotki na primere Podmoskov'ya) [Investigation of geography of agricultural sector in the influence zone of the largest city (experience of methodological development using the example of the Moscow region)], *Izvestiya AN SSSR, Ser. geograf.*, 1984, no. 1, p. 63–72. (In Russian)
- Karl T.L. *The paradox of plenty*, University of California Press, 1997, 360 p., DOI: 10.1525/9780520918696.
- Konoplyanik A.A. Analiz effekta ot realizatsii neftegazovykh proektov SRP v Rossii dlya byudzhetrov raznykh urovnei [Analysis of the effect of oil and gas PSA projects implementation in Russia for budgets of different levels], *Neftyanoe khozyaistvo*, 2000, no. 10, p. 24–30. (In Russian)
- Nefedova T.G., Mkrtychyan N.V. Migratsiya sel'skogo naseleeniya i dinamika sel'skohozyajstvennoj zanyatosti v regionah Rossii [Migration of rural population and dynamics of agricultural employment in the regions of Russia], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 5, p. 58–67. (In Russian)
- Pyatt G., Round J.I. Accounting and fixed price multipliers in a social accounting matrix framework, *The Economic Journal*, 1979, no. 356, p. 850–873, DOI: 10.2307/2231503.
- Ross M.L. The political economy of the resource curse, *World politics*, 1999, no. 2, p. 297–322, DOI: 10.1017/s0043887100008200.
- Round J. Constructing SAMs for development policy analysis: lessons learned and challenges ahead, *Economic Systems Research*, 2003, no. 2, p. 161–183, DOI: 10.1080/0953531032000091153.
- Semykina I.O. *Otsenka regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh effektov pri realizatsii neftegazovykh proektov Vostochnoi Sibiri* [Assessment of regional socio-economic effects in the implementation of oil and gas projects in Eastern Siberia], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Economics, Novosibirsk, 2013, 23 p. (In Russian)

Received 17.12.2021

Revised 25.12.2021

Accepted 27.12.2021

## ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ И ВОЗРАСТНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ ПОЛОВ НАСЕЛЕНИЯ РОССИИ

А.А. Герасимов

*Национальный исследовательский университет «Высшая Школа Экономики», факультет социальных наук, магистр программы «Демография»; e-mail: skalarokkuol@gmail.com*

Соотношение полов – важная составляющая возрастно-половой структуры населения и неотъемлемая характеристика демографической ситуации. Формирование соотношения полов – один из ключевых демографических вопросов в турбулентной истории России последнего столетия. Тем не менее вопросу территориальной дифференциации соотношения полов и различных детерминант, влияющих на нее, особенно на местном уровне, в российской науке уделено мало внимания. В данной статье анализируются пространственные закономерности в соотношении полов населения муниципальных образований России в 2016–2020 гг. Было рассмотрено соотношение полов во всем населении, а также в возрастах: 0, 14–15, 18–19, 35–59 и 60+ лет. Эта статья – первое детальное исследование территориальной дифференциации соотношения полов в разных возрастах на данном уровне административно-территориального деления в России. В исследовании были использованы методы демографического и картографического анализа; детально рассмотрен кейс Центральной России.

Результаты исследования показали, что соотношение полов в разных возрастах зависит от положения территории в центр-периферийной иерархии, главным экстерриториальным фактором, в свою очередь, выступает размещение институционального населения. Естественное соотношение полов меняется под действием миграционного и естественного движения населения. В молодых возрастах главным драйвером выступают различия в миграционной активности полов (более высокая активность женщин во внутри- и межрегиональной миграции), благодаря чему в трудоспособных возрастах в центральных муниципальных образованиях наблюдается диспропорция соотношения в пользу женщин, в то время как на периферии – в пользу мужчин. В дальнейшем более значительные различия в смертности между мужчинами и женщинами на периферийных территориях постепенно нивелируют сформированные миграцией различия в соотношении полов между муниципалитетами. Помимо указанных выше факторов, на соотношение полов могут влиять в том числе и другие детерминанты, такие как, например, этнический состав местного населения и когортные эффекты.

**Ключевые слова:** возрастно-половая структура населения, центр-периферия, центростремительная миграция, гендерные различия смертности

### ВВЕДЕНИЕ

Соотношение полов меняется при прохождении обществом демографического и связанного с ним эпидемиологического переходов. Изменения в большей степени приходятся на старшие трудоспособные и пожилые возраста по мере того, как меняется структура смертности по причинам. В результате эпидемиологического перехода на смену причинам, не имеющим специфики по полу (инфекционные заболевания, голод и др.), приходят связанные с образом жизни, зачастую имеющие гендерные различия [Sloggett, 2015]. В результате трансформации смертности в возрастном профиле соотношения полов возникает значительная диспропорция в пользу женщин, нарастающая по мере увеличения возраста. Схожий профиль свойствен России, однако сверхвысокая смертность мужчин в трудоспособных возрастах усиливает данную диспропорцию.

По данным Росстата в 2019 г. в России на 1000 женщин приходилось 865 мужчин [Численность...,

2021]. При рождении естественное соотношение полов составляет 104–107 мужчин на 100 женщин [Sloggett, 2015]. В российских условиях соотношение полов выравнивается к 32–33 годам, далее диспропорция в пользу женщин увеличивается до 240 мужчин на 1000 женщин в возрасте до 92–93 лет. При движении к возрасту 100+ лет тренд меняется, что можно связать с проблемами статистического учета пожилого населения в России [Папанова и др., 2017].

Соотношение полов, как и многие другие демографические характеристики, имеет значительную территориальную дифференциацию в поляризованной России. Различные детерминанты оказывают свое влияние на формирование возрастно-половой структуры населения столиц, крупных, средних и малых городов, а также сельской местности.

**Центр-периферийные различия демографических процессов.** Постоянство центростремительной миграции, вызываемой главным образом различиями в уровне и образе жизни [Нефедова, 2009;

Карачурина, Мкртчян, 2016б], приводит к тому, что центры по сравнению с периферией<sup>1</sup> отличаются более молодым населением, более высокой продолжительностью жизни и другими демографическими характеристиками. Л. Карачурина и Н. Мкртчян [2013] на основе данных переписей населения 1989, 2002 и 2010 гг. показали, что при движении от центров к дальней периферии регионов существует градиентное увеличение убыли населения, наиболее четко выраженное в Центре, Сибири и на Северо-Западе. Градиент нарушается из-за центров второго и третьего порядка, имеющих собственный «хинтерланд» в виде соседних муниципалитетов.

Говоря о центрах, следует вспомнить теорию дифференциальной урбанизации Джиббса и ее апробацию на российских данных, выполненную Т. Нефедовой и А. Трейвишем [2002]. Разная интенсивность центростремительной (и отчасти центробежной) миграции на протяжении времени отражается на возрастно-половой структуре центров различных рангов и периферии. В зависимости от стадии урбанизации они принимают или отдают мигрантов потоками разной интенсивности.

Градиентные изменения характеристик возрастно-половой структуры населения России на муниципальном уровне показал И. Кашницкий [2014]. Общее соотношение полов в первую очередь связано с возрастом населения: чем оно старше, тем больше диспропорция в пользу женщин из-за гендерного разрыва в продолжительности жизни. При рассмотрении молодых трудоспособных возрастов (16–29 лет) выделяются региональные центры, отличающиеся в данных возрастах более «женским» населением, сформировавшимся за счет миграции, периферийные территории со слабой диспропорцией соотношения в пользу мужчин, а также ряд «мужских» муниципалитетов, где размещены институциональные контингенты.

**Влияние гендерных различий миграции населения на соотношение полов.** Внутренняя миграция населения в России во многом следует центр-периферийной иерархии территорий. Поддерживающиеся десятилетиями центростремительные миграционные

потоки привели к депопуляции и старению населения периферии [Карачурина, Мкртчян, 2013]. Пик миграционной активности повсеместно в мире приходится на возраст 15–29 лет, что прежде всего связано с образовательной миграцией выпускников школ и выходом молодежи на рынок труда [Rogers, Castro 1981; Карачурина, Мкртчян, 2016а]. Центры притягивают молодых мигрантов, причем реальное возвратное движение меньше официально публикуемых значений из-за «псевдовозвратных» перемещений [Мкртчян, 2020]: завышение объемов возвратной миграции происходит из-за автоматического «возвращения» мигрантов с истекшей временной регистрацией.

В *молодых возрастах* женщины проявляют большую миграционную активность во внутрорегиональной и межрегиональной миграции (рис. 1). Международная миграция в наиболее мобильных возрастах имеет диспропорцию в пользу мужчин, однако роль международной миграции в перераспределении населения из-за уступающих объемов значительно меньше, чем внутривоспитательской [Население России..., 2019]. Кроме того, центры и периферия схожи по доле международной миграции в общем нетто-приросте населения [Karachurina, Mkrтчyan, 2019].

Возможной причиной более высокой мобильности российских женщин в молодых возрастах является их более высокая успеваемость в школьном обучении. Согласно исследованию А. Бессуднова и

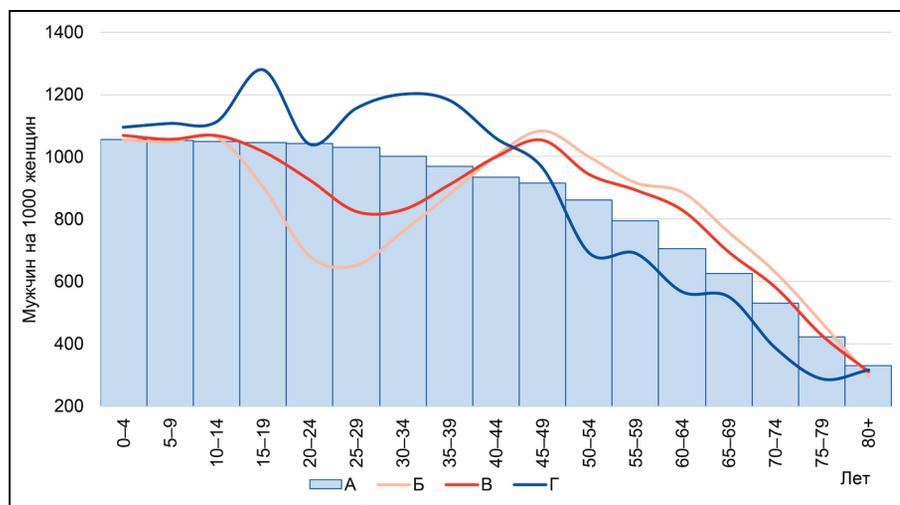


Рис. 1. Соотношение полов по возрастным группам в населении России (А), прибывших во внутри- (Б) и межрегиональных (В) миграционных потоках, в сальдо международной миграции (Г), мужчин на 1000 женщин, среднее за 2015–2019 гг. *Источник:* составлено автором по данным Росстата и ЕМИСС [Миграционный прирост..., 2021]

Fig. 1. Sex ratio by age group in (A) Russian population, in (B) intra- and (B) interregional arrivals, in (Г) the international migration surplus, men per 1000 women, 2015–2019 average. *Source:* compiled by the author based on Rosstat and EMISS data [Migratsionnyi prirost..., 2021]

<sup>1</sup> Здесь и далее под периферией понимаются все территории, не относящиеся к центрам.

В. Малик [2016], бóльшая доля девушек переходит в старшую школу (61% в сравнении с 53% юношей по состоянию на 2012 г.), что в дальнейшем позволяет им поступить в вузы крупных городов. Кроме того, «предложение» среднего профессионального образования, более популярного у мужчин, широко представлено на периферийных территориях, что может ограничивать образовательную миграцию «родным» и соседними муниципалитетами.

Часть миграции среди мужчин в молодых возрастах приходится на срочную службу в Вооруженных Силах, однако данные перемещения не отображаются в миграционной статистике. Молодые возраста в ряде муниципалитетов демонстрируют существенные диспропорции в пользу мужчин из-за учета институциональных контингентов по месту пребывания, как минимум начиная с переписи населения 2010 г. [Пьянкова, 2014].

В *трудоспособных и пожилых возрастах*, начиная с 40–44 лет, бóльшую мобильность во внутрироссийской миграции проявляют мужчины, однако миграционная активность в данных возрастах значительно меньше, чем в молодых [Karachurina, Mkrtchyan, 2019], из-за чего миграция вносит малый вклад в изменение соотношения полов в старших возрастах. В когортах данных возрастов сохранились «следы» более высокой мобильности женщин в прошлом, на что указывает исследование Ю. Быченко и В. Шабанова [2014]: в старших трудоспособных и пожилых возрастах в городах наблюдается бóльшая диспропорция в пользу женщин, чем в сельской местности.

**Влияние гендерных различий смертности на соотношение полов.** На соотношении полов в трудоспособных и пожилых возрастах отражается гендерный разрыв в продолжительности жизни, главной детерминантой пространственных различий которого является смертность от внешних причин в трудоспособных возрастах, в бóльшей степени сказывающаяся на мужчинах [Щур, Тимонин, 2020].

Исследование А. Щура и В. Школьников [2021] указывает на то, что гендерный разрыв в продолжительности жизни при рождении нарастает по мере уменьшения размера населенных пунктов: он минимален в Москве и Санкт-Петербурге и максимален в малых городах и сельской местности. Данные различия связаны с разным уровнем развития системы здравоохранения и диспропорциями социально-экономического развития. Селективность центростремительной миграции «маргинализует» население периферии и депрессивных районов, отчего его мужская часть отличается более низкой продолжительностью жизни [Алексеев, Карачурина, 1997].

С. Гитель-Бастен с соавторами [Gietel-Basten et al., 2020] указывают на минимальные различия в

продолжительности жизни мужчин и женщин в республиках Северного Кавказа и максимальные в регионах Центра и Дальнего Востока. Исследование А. Петросяна и др. [2019] показало, что в вопросе пространственных различий демографического старения населения на первый план постепенно выходят не межрегиональные, а внутрорегиональные различия, связанные с продолжающейся концентрацией населения в крупных агломерациях.

**Влияние институционального населения на соотношение полов.** Существенное влияние на соотношение полов оказывает институциональное население: контингенты военных частей и учреждений ФСИН. Размещение исправительных колоний сходится с системой расселения в России: многие исправительные учреждения располагаются в крупных городах [Аверкиева, 2015]. При этом сеть учреждений аналогично каркасу расселения подвергается пространственному сжатию, а общая численность заключенных сокращается [Характеристика лиц..., 2021], что снижает влияние контингентов ФСИН на возрастную-половую структуру местного населения. Тем не менее во многих муниципалитетах «присутствие» заключенных по-прежнему особенно заметно: в некоторых доля институционального населения может достигать нескольких десятков процентов, подобные территории часто встречаются на Урале и Северо-Западе [Аверкиева, 2015]. В абсолютном большинстве таких муниципалитетов наблюдается значительная диспропорция в соотношении полов в сторону мужчин, так как их доля в контингенте учреждений ФСИН последние 10 лет достигает 92% [Характеристика лиц..., 2021], причем женские колонии представлены в значительно меньшем числе муниципалитетов.

Масштаб влияния военных частей на соотношение полов в отдельных муниципалитетах ввиду секретности данных определить трудно, можно говорить лишь об общих закономерностях их расположения, на которые в своей работе указывал И. Кашницкий [2014]: это многие приграничные районы, Дальний Восток, ЗАТО, региональные центры и др. На подобных территориях наблюдается значительная диспропорция в пользу мужчин в призывных возрастах, а также в более старших возрастах там, где расположены крупные военные объекты.

Цель данного исследования – определить пространственные закономерности в соотношении полов в разных возрастных группах и их связь с естественным и миграционным движением населения.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ был выполнен по 2344 муниципальным образованиям в их границах на начало 2020 г. и

трем городам федерального значения по данным ЕМИСС и Росстата [Численность..., 2021; База данных..., 2021].

На основе данных о численности населения по полу и возрасту за 2016–2020 гг. рассчитывалось среднее соотношение полов на данный период для населения в целом и для возрастов: 0, 14–15, 18–19, 35–59 и 60+ лет. Первые три группы были выбраны в приблизительном соответствии с наступлением жизненных событий: рождение (0 лет), окончание средней школы (14–15 лет) и поступление в вуз (18–19 лет), – исходя из предоставляемой в базе данных группировки по возрастам. Возраста 35–59 и 60+ лет были выбраны для определения пространственных различий, связанных с влиянием смертности. Были использованы показатели численности всего населения без разделения на городское и сельское, так как этот показатель зачастую не соответствует реальной урбанизированности населения [Нефедова, 2013].

Использование средних значений за пятилетний период обосновывается двумя причинами: во-первых, в малонаселенных муниципалитетах размер когорт бывает крайне мал, что приводит к большим колебаниям показателей в отдельные годы; во-вторых, в данных присутствуют пропуски, причем некоторые из них связаны с несовместимостью рядов, вызванной административными преобразованиями. Пропуски в рядах восстанавливались импутацией по соседним значениям. Большая часть пропусков приходится на региональные центры, в которых сравнительно большая численность населения в отдельных возрастных группах дает основание полагать, что соотношение полов в них колеблется сравнительно меньше. Муниципалитет исключался из анализа, если данные по нему отсутствовали больше, чем по двум годам. Использование средних значений за период не искажает общей картины из-за инертности рассматриваемого показателя. Помимо этого, короткий ряд данных в БД ПМО (с начала 2010-х гг.) пока не дает возможности рассматривать динамику исследуемого показателя.

Для иллюстрации влияния центр-периферийных отношений на соотношение полов были проведены дополнительные расчеты по муниципальным образованиям ЦФО. В Центральной России менее, чем в других макрорегионах, заметно влияние этнического состава населения и присутствия институциональных контингентов, ярко выражены центр-периферийные контрасты [Карачурина, Мкртчян, 2013]. Муниципалитеты были разделены на четыре группы: региональные центры и пригородные районы, другие крупные города с населением более 100 тыс. человек с прилегающими

ми районами<sup>2</sup>, города – локальные центры с населением менее 100 тыс. человек с прилегающими районами и прочие муниципалитеты. Группировка проводилась по расчетам в работе А. Райсиха [434 экономических района..., 2019], в которой на основе гравитационного метода были выделены городские агломерации и зоны их тяготения.

Из анализа была исключена Московская агломерация, так как из-за своего размера она несопоставима с другими агломерациями макрорегиона. К тому же по значительной части муниципалитетов Московской области отсутствуют надежные данные. Из расчетов были также исключены муниципалитеты, где располагаются исправительные колонии и крупные военные части (кроме крупных городов, где их влияние на возрастную-половую структуру населения минимально). Всего было проанализировано 343 МО ЦФО.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Общее соотношение полов.** В большей части муниципалитетов наблюдается диспропорция в общем соотношении полов в пользу женщин (рис. 2<sup>3</sup>). В целом, общее соотношение полов зависит от возраста населения – чем оно старше, тем больше диспропорция в пользу женщин ввиду гендерного разрыва в продолжительности жизни. Диспропорция в пользу мужчин, как правило, отмечается в муниципалитетах со значительной долей институционального населения. Важно заметить, что города также выделяются более «женским» населением в сравнении с окружающими территориями, что связано с преобладанием женщин в центростремительной миграции.

**Соотношение полов при рождении<sup>4</sup>** в целом для России в 2016–2020 гг. составило 1059 мужчин на 1000 женщин, что находится в естественных пределах показателя. Тем не менее данное соотношение наблюдается далеко не во всех муниципалитетах (рис. 3). Близкое к естественному соотношение наблюдается в крупных муниципалитетах, где численность населения «достаточна» для его соблюдения. Важно, однако, заметить, что в 83% исследуемых муниципалитетов отмечается диспропорция в пользу мужчин.

Как правило, чем меньше численность населения муниципалитета, тем больше в нем отклонение от естественного соотношения, причем оно наблю-

<sup>2</sup> Под прилегающими подразумеваются районы, окружающие территорию городов, выделенных в городские округа.

<sup>3</sup> Здесь и далее городские округа представлены с генерализованными границами для лучшего отображения в масштабе карт.

<sup>4</sup> В расчете по жителям страны в возрасте 0 лет по данным ЕМИСС, а не по статистике рождений.

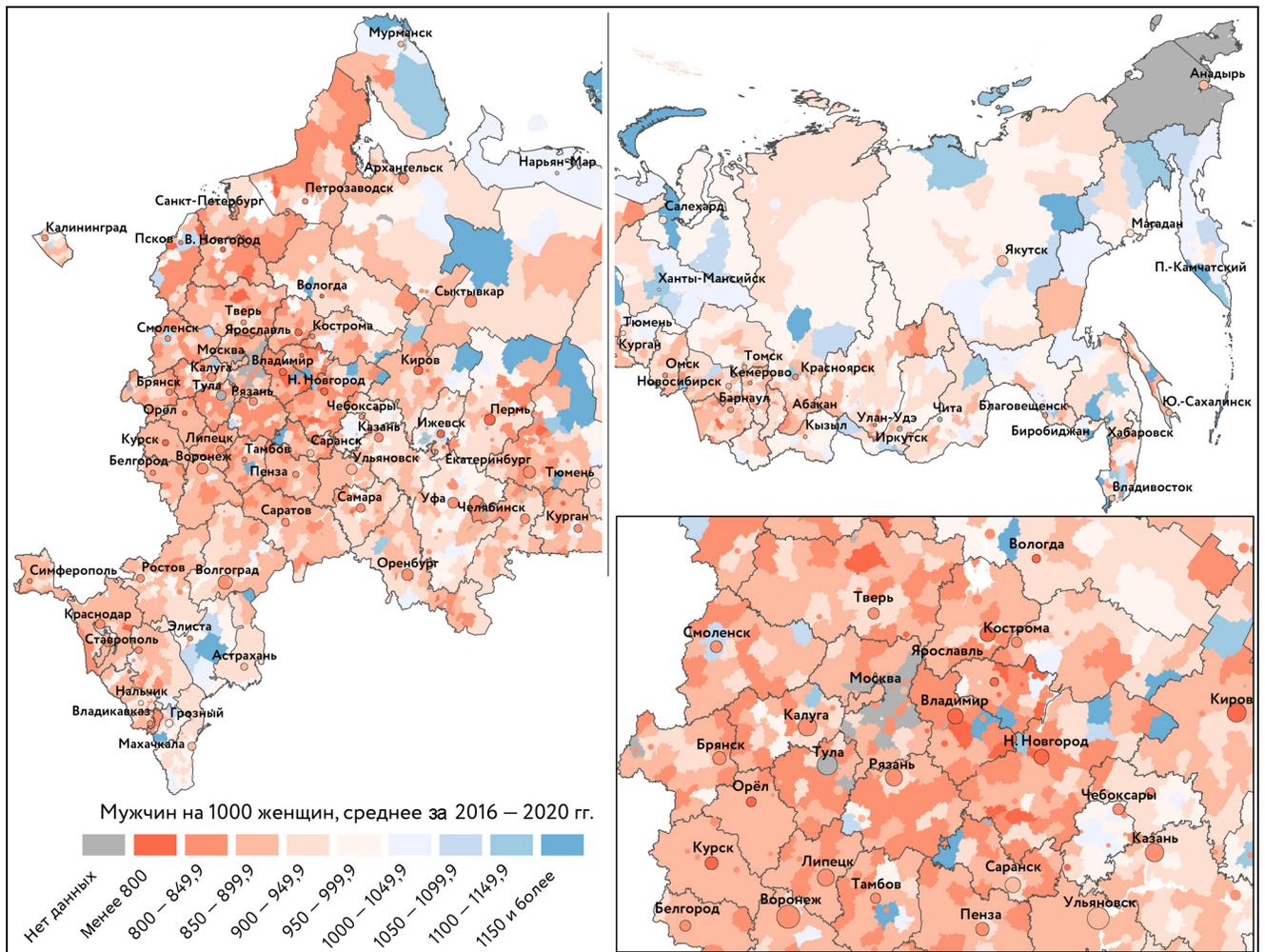


Рис. 2. Соотношение полов в населении России, все возраста, 2016–2020 гг.

Источник: составлено автором по данным Росстата

Fig. 2. Sex ratio for Russian population, all ages, 2016–2020 average. Source: compiled by the author based on Rosstat

дается в сторону обоих полов (рис. 4). Для всех муниципалитетов с численностью населения более 200 тыс. человек и городов федерального значения соотношение полов в возрасте 0 лет находится в диапазоне 1000–1100 мальчиков на 1000 девочек.

Статистические выбросы с аномальным соотношением полов относятся к муниципалитетам с численностью населения меньше 250 тыс. человек, часть которых представлена в таблице. Их обнаружение позволило выявить проблемы муниципальной статистики, связанные, скорее всего, с некорректными расчетами или ошибками при загрузке данных. Тем не менее есть ряд муниципалитетов (например, Чудовский и Солецкий районы Новгородской области), где значительная диспропорция в сторону одного из полов наблюдается не один год, а в течение всего рассматриваемого периода.

Анализ соотношения полов в возрасте 0 лет (по сути, при рождении) на уровне муниципалитетов не дает права судить о распространенности где-либо

селективных абортов. Скорее, он позволил выявить наиболее очевидные ошибки в муниципальной статистике, которых, на самом деле, может быть намного больше.

**Соотношение полов в молодых возрастах.**

В возрасте 14–15 лет, приходящемся для большинства на окончание средней школы, соотношение полов сохраняется практически таким, каким оно сложилось при рождении. В данном возрасте сохраняются те же пространственные закономерности (рис. 5), что и для соотношения в 0 лет: в крупных муниципалитетах оно близко к естественному, так как смертность в детском возрасте минимальна. При анализе, аналогичном соотношению полов в 0 лет, были выявлены схожие выбросы.

В возрасте 18–19 лет соотношение полов в большинстве муниципалитетов резко меняется (рис. 6), что связано с образовательной миграцией и службой в Вооруженных Силах. Наибольшие диспропорции в пользу мужчин наблюдаются в регионах, где со-

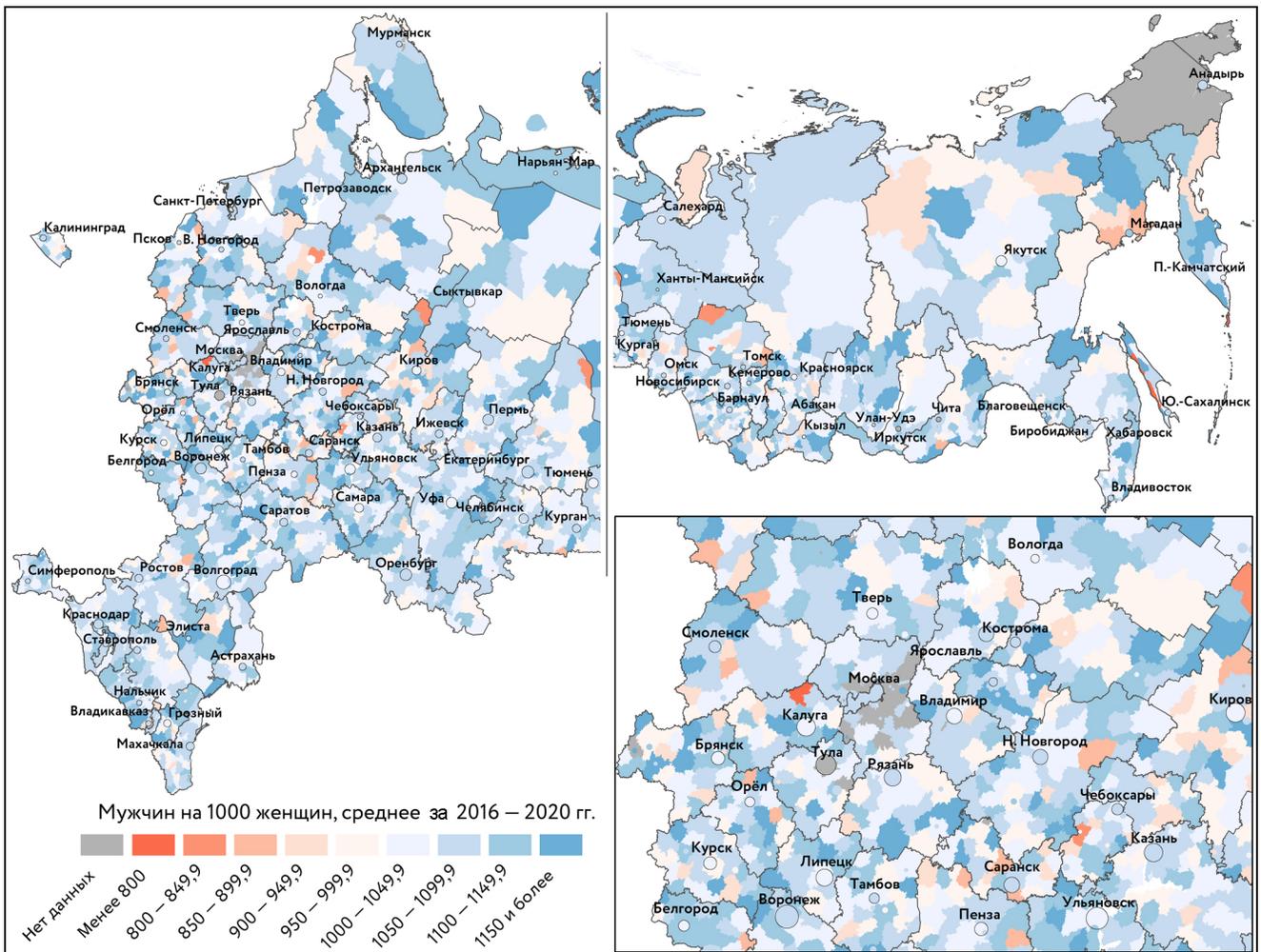


Рис. 3. Соотношение полов в населении России, 0 лет, 2016–2020 гг. *Источник:* составлено автором по данным Росстата

Fig. 3. Sex ratio for Russian population, age 0, 2016–2020 average. *Source:* compiled by the author based on Rosstat

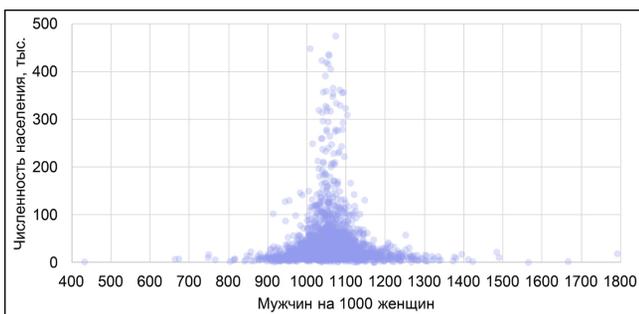


Рис. 4. Соотношение полов в возрасте 0 лет, мужчин на 1000 женщин (горизонтальная ось) и численность населения муниципалитетов (вертикальная ось), среднее за 2016–2020 гг.

*Источник:* составлено автором по данным Росстата

Fig. 4. Sex ratio at 0 years, men per 1000 women (horizontal axis), and the population of municipalities (vertical axis), 2016–2020 average.

*Source:* compiled by the author based on Rosstat

средоточено большое количество военных объектов: Калининградская, Мурманская и Владимирская области, а также юг Дальнего Востока. Учет военных по месту пребывания не дает возможности определить, как влияет образовательная миграция на соотношение полов в муниципалитетах. Следующая возрастная группа, 20–24 года, во многих «военных» муниципалитетах имеет еще большую диспропорцию в пользу мужчин, что осложняет понимание реальных процессов. К тому же анализ данных возрастов затруднен из-за «псевдовозвратной» миграции.

#### *Соотношение полов в возрастах 35–59 лет.*

В старших трудоспособных возрастах заметна нарастающая диспропорция в пользу женщин, связанная с более высокой смертностью мужчин в этих возрастах (рис. 7). В большинстве регионов наибольшая диспропорция в пользу женщин наблюдается в региональных столицах, несколько меньшая – в локальных центрах. Наибольшая среди регионов – в Тыве, где отмечаются минимальные значения ОПЖ при рождении.

Таблица

**Численность населения в отдельных муниципальных образованиях России в возрасте 0 лет за 2016–2020 гг., кол-во чел.**

Муниципальное образование	Регион	2016		2017		2018		2019		2020	
		м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж
Солецкий МР	Новгородская область	<b>92</b>	69	<b>97</b>	57	58	58	<b>63</b>	47	<b>72</b>	55
Чудовский МР		139	125	<b>139</b>	112	119	102	<b>106</b>	69	<b>91</b>	72
Дигорский МР	Северная Осетия	199	183	<b>374</b>	153	145	140	154	149	173	124
Пригородный МР	Осетия	659	581	<b>195</b>	600	546	552	564	499	540	508
Северо-Курильский ГО	Сахалинская область	8	4	16	8	2	<b>65</b>	7	12	12	15
Южно-Курильский ГО		75	59	84	70	105	<b>2</b>	80	83	45	47

Примечание. Составлено автором по данным Росстата. Жирным шрифтом выделены статистические выбросы с аномальным соотношением полов.

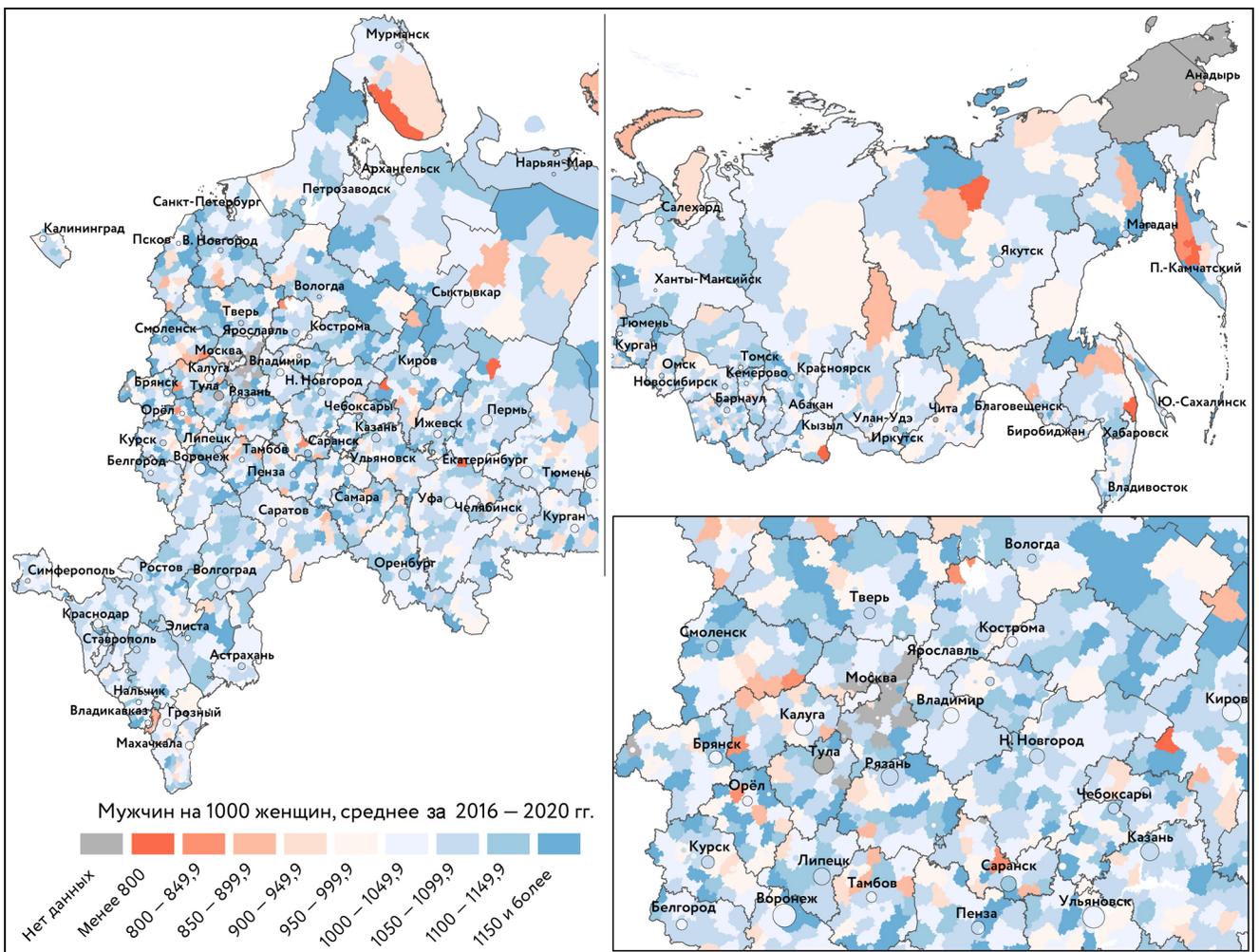


Рис. 5. Соотношение полов в населении России, 14–15 лет, 2016–2020 гг. *Источник:* составлено автором по данным Росстата  
 Fig. 5. Sex ratio for Russian population, age 14–15, 2016–2020 average. *Source:* compiled by the author based on Rosstat

Диспропорцией соотношения полов в пользу мужчин в большей части муниципалитетов отличается Чувашия, причем та ее часть, где преобладают чувашаи. Подобная картина также наблюдается на западе и юге соседнего Татарстана, где находятся районы со значительной долей чувашей в населении. Возможно, отличие Чувашии от других территорий связано с большим преобладанием

женщин во внутри- и межрегиональной миграции в годы наиболее высокой мобильности тех когорт, которым было 35–59 лет в 2016–2020 гг., однако данное предположение требует дополнительной верификации.

В большей части «мужских» муниципалитетов располагаются учреждения ФСИН. Важно еще раз заметить, что подобные объекты находятся в большинстве региональных центров и других крупных городов, однако из-за незначительной доли контингентов в их населении размещение в них учреждений ФСИН практически не сказывается на соотношении полов. Менее многочисленные женские учреждения также меняют соотношение полов в старших трудоспособных возрастах, усиливая нарастающую диспропорцию в пользу женщин (например, Шипуновский район Алтайского края, в котором расположены две женские колонии).

### Соотношение полов в старших возрастах.

В возрасте 60+ лет мужчины преобладают лишь в одном российском муниципалитете – Курильском ГО в Сахалинской области (рис. 8). Пространственные различия в соотношении полов, вызванные интенсивной молодежной миграцией, постепенно нивелируются к старшим возрастам. Наиболее значительные диспропорции в пользу женщин наблюдаются в крупных городах и периферийных районах Центра с самым старым населением [Кашницкий, 2014].

В обратную сторону выделяются Восточный Кавказ и Калмыкия со сравнительно молодым населением, а также муниципалитеты со значительной долей институционального населения (например, Варнавинский район Нижегородской области и Гаринский ГО Свердловской области [Аверкиева, 2015]). Также сравнительно меньшей диспропорцией в пользу женщин выделя-

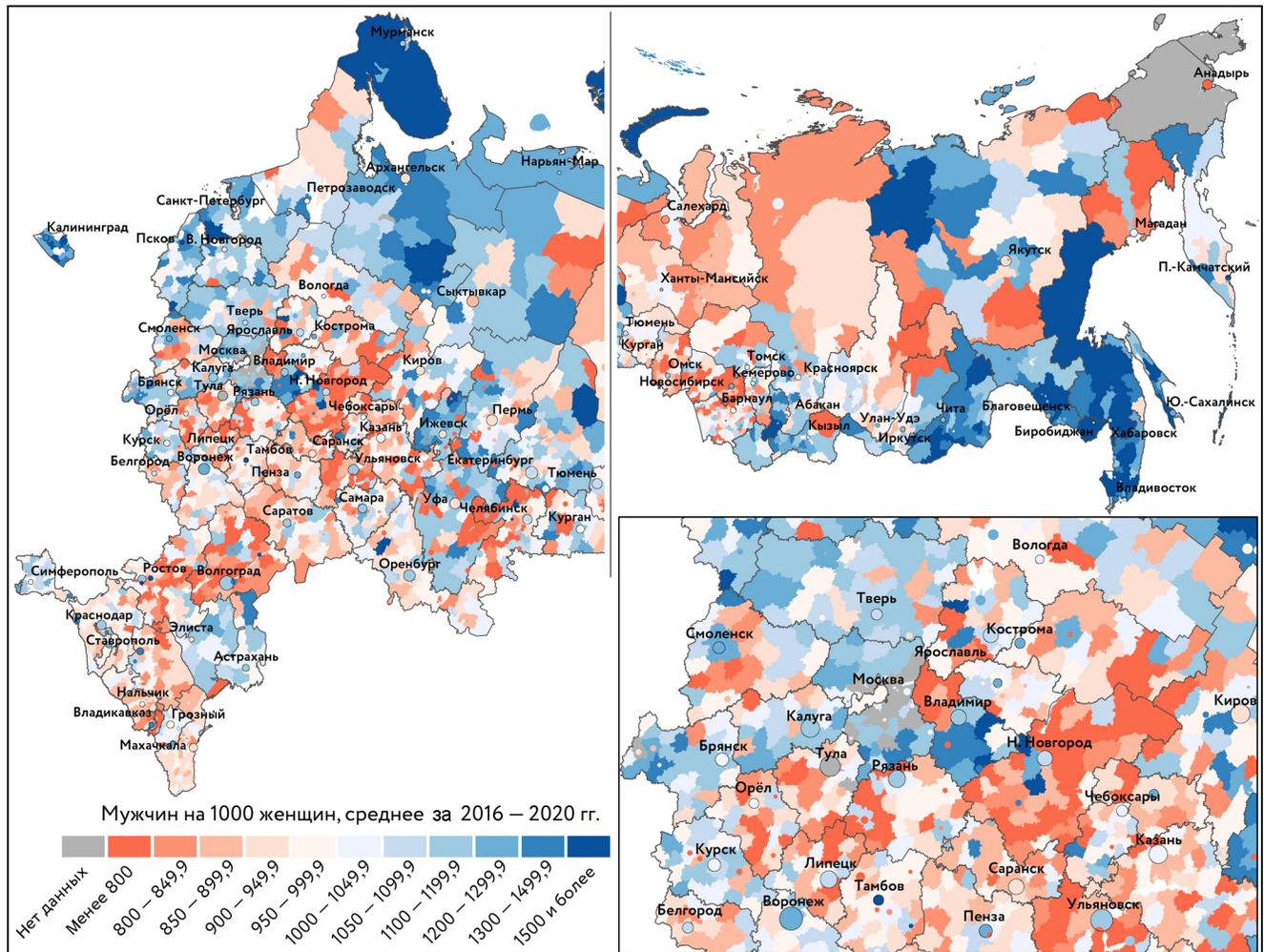


Рис. 6. Соотношение полов в населении России, 18–19 лет, 2016–2020 гг.

Источник: составлено автором по данным Росстата

Fig. 6. Sex ratio for Russian population icipalities, age 18–19, 2016–2020 average.

Source: compiled by the author based on Rosstat

ются многие муниципалитеты Крайнего Севера, что можно связать с «наследием» преобладания мужчин на данной территории в позднесоветское время [Heleniak, 2020].

Дифференциация между муниципалитетами в данных возрастах во многом определяется соотношением полов в 60–70 лет как наиболее многочисленной группы. Уже в возрастах 70+ лет различий между муниципалитетами практически нет.

**Соотношение полов в Центральной России.**

Результаты расчетов показали, что диспропорции в соотношении полов в центрах и на периферии различаются (рис. 9). До возраста 25 лет наблюдаются описанные выше закономерности. С повышением ранга территории в иерархии центр-периферийных отношений диспропорция в соотношении полов в возрастах 25 лет и старше возрастает в пользу женщин, что связано с селективностью центростремительной миграции в мо-

лодых возрастах по полу. Гендерные различия в смертности приводят к тому, что в возрастах 70+ сформированная миграцией дифференциация муниципалитетов нивелируется. Локальные центры по характеру соотношения полов в возрастах 40+ близки к другим городам, в то время как в более младших возрастах в них наблюдается приблизительно такое же соотношение полов, как на периферийных территориях. Данную особенность можно связать с тем, что малые города за последние десятилетия утратили привлекательность для молодых жителей самих городов и окружающих территорий [Мкртчян, 2017], а также с вероятной сменой стадии урбанизации.

**ВЫВОДЫ**

Соотношение полов в разных возрастах проявляет значительную территориальную дифференциацию, основывающуюся на положении территорий

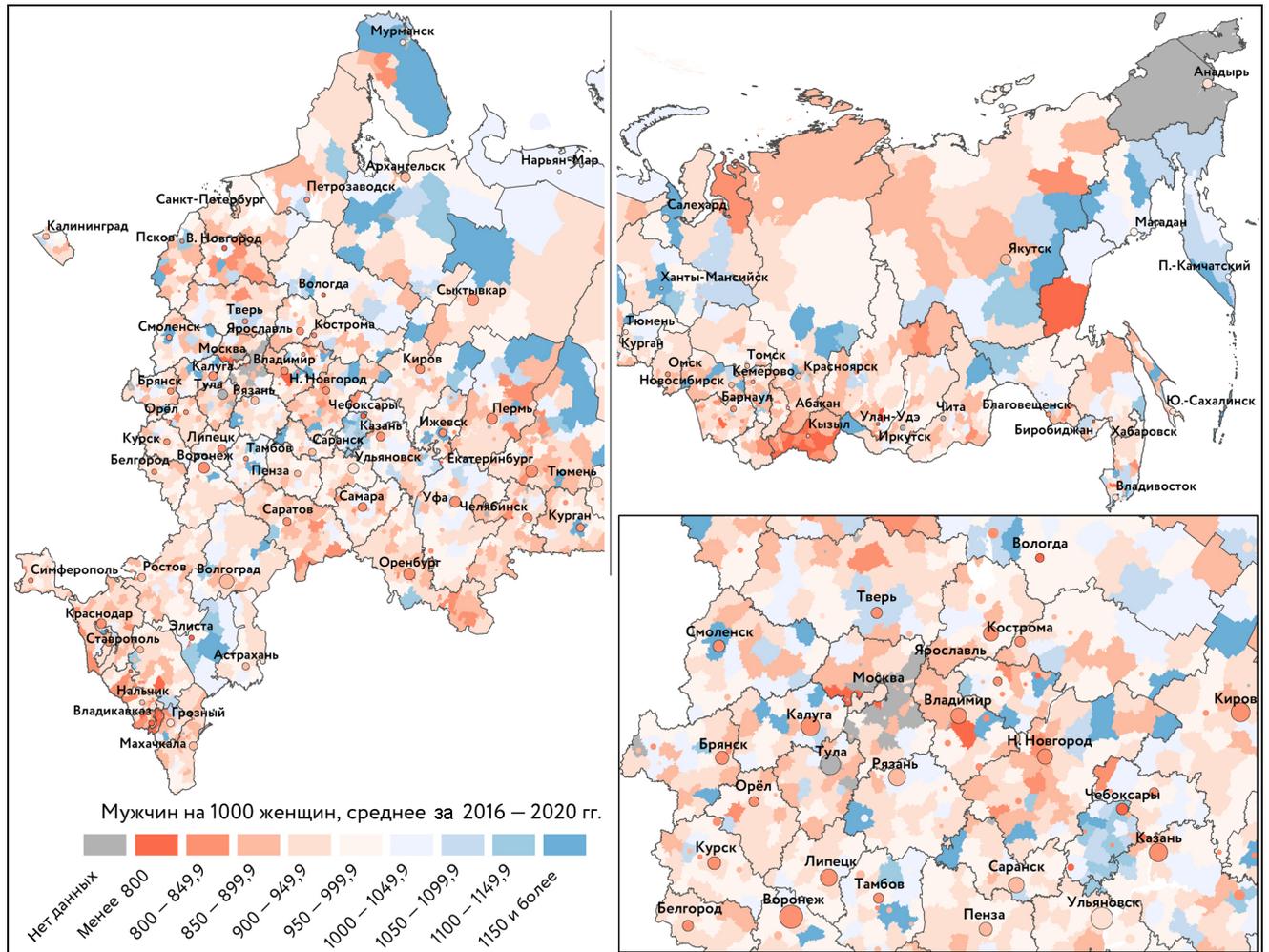


Рис. 7. Соотношение полов в населении России, 35–59 лет, 2016–2020 гг.

Источник: составлено автором по данным Росстата

Fig. 7. Sex ratio for Russian population icipalities, age 35–59, 2016–2020 average.

Source: compiled by the author based on Rosstat

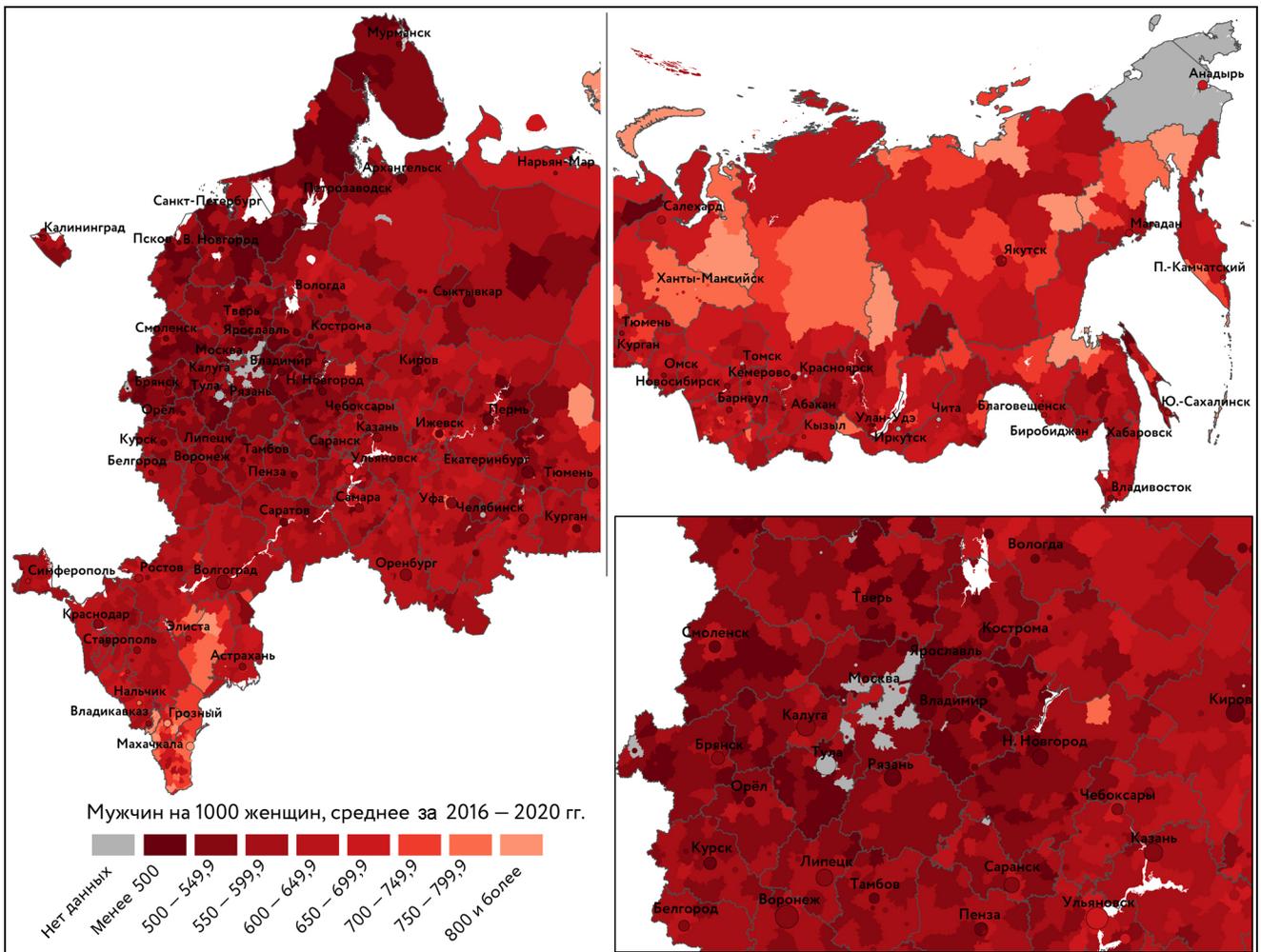


Рис. 8. Соотношение полов в населении России, 60 лет и старше, 2016–2020 гг.

Источник: составлено автором по данным Росстата

Fig. 8. Sex ratio for Russian population, age 60+, 2016–2020 average. Source: compiled by the author based on Rosstat



Рис. 9. Соотношение полов по возрастам в Центральной России (без Московской агломерации), мужчин на 1000 женщин, среднее за 2016–2020 гг. Источник: составлено автором по данным Росстата

Fig. 9. Sex ratio by age in Central Russia (excl. Moscow metropolitan area), men per 1000 women, 2016–2020 average. Source: compiled by the author based on Rosstat

в центр-периферийной иерархии. Она определяет различия в уровне жизни в поляризованном пространстве России, тем самым формируя особенности естественного и миграционного движения на отдельных территориях.

Главными детерминантами, определяющими соотношение полов, являются различное участие мужчин и женщин в миграционном движении, а также гендерные различия смертности. Первый проявляется в наиболее массовой центростремительной миграции, меняющей исходное естественное соотношение полов из-за более высокой миграционной активности женщин. Второй постепенно нивелирует сформированную миграцией диспропорцию в пользу женщин в центрах и в пользу мужчин на периферии из-за увеличения гендерных различий смертности при движении вниз по иерархии территорий. По сути, детерминанта смертности плавно сменяет детерминанту миграции по мере увеличения возраста.

Размещение институционального населения – экстерриториальный фактор, затрудняющий общий анализ. Закрытость информации о численности и возрастно-половой структуре институциональных контингентов усложняет задачу устранения их влияния на результаты исследования. Очистка данных текущего учета от данного «шума» – это отдельная сложная исследовательская задача.

Из-за того что анализ проводился только по данным за последние пять лет, нельзя исключить тот факт, что соотношение полов в отдельных возрастах свойственно конкретным реальным когортам. К примеру, минимальные различия между центрами и периферией в Центральной России в возрасте 40–44 года установлены среди тех, чей возраст пиковой мобильности пришелся на начало 1990-х гг., когда центростремительные миграционные потоки

ослабли [Нефедова, Трейвиш, 2002]. То же самое можно сказать о возрастах 25–29 лет: является ли факт того, что различия в соотношении полов между разными рангами муниципалитетов в нем выше, чем в более старших возрастах, особенностью реальной когорты или общей закономерностью? Возможно, на статистическом учете населения в данном возрасте так же, как и в 20–24 года, сказывается «псевдовозвратная» миграция.

На соотношение полов также влияют другие факторы, не рассмотренные в статье. К ним, например, относятся исторические особенности освоения территорий, что показали многие муниципалитеты Крайнего Севера, а также этнический состав населения, заметный на примере Чувашии. Изучение влияния данных детерминант требует дополнительных статистических данных и анализа местной специфики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аверкиева К.В.* Территориальная организация исправительных учреждений России // Известия РАН. Серия географическая. 2014. № 3. С. 19–34. URL: <https://izvestia.igras.ru/jour/article/viewFile/32/28>.
- Алексеев А.И., Карачурина Л.Б.* Вынужденные мигранты и территориальные общности в России // Народонаселение: современное состояние и перспективы развития научного знания: сб. докладов / Центр по изучению проблем народонаселения экономического факультета МГУ. М., 1997. С. 50–56.
- Бессудное А.Р., Малик В.М.* Социально-экономическое и гендерное неравенство при выборе образовательной траектории после окончания 9 класса средней школы // Вопросы образования. 2016. № 1. С. 135–166. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-ekonomicheskoe-i-gendernoe-neravenstvo-pri-vybore-obrazovatelnoy-traektorii-posle-okonchaniya-9-go-klassa-sredney-shkoly>.
- Быченко Ю.Г., Шабанов В.Л.* Влияние миграции на демографическое и этно-структурное развитие российского села // Мир России. Социология. Этнология. 2014. Т. 23. № 1. С. 167–187. URL: <https://mirros.hse.ru/article/view/4978/5340>.
- Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В.* Изменение численности населения административных районов и городов России (1989–2010 гг.): центр-периферийные соотношения // Вопросы географии. 2013. № 135. С. 82–107. URL: [https://www.rgo.ru/sites/default/files/upload/sbornik\\_no135.pdf](https://www.rgo.ru/sites/default/files/upload/sbornik_no135.pdf).
- Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В.* Межрегиональная миграция в России: возрастные особенности // Демографическое обозрение. 2016а. Т. 3. № 4. С. 47–65. DOI: <https://doi.org/10.17323/demreview.v3i4.3205>.
- Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В.* Роль миграции в усилении контрастов расселения на муниципальном уровне в России // Известия РАН. Серия географическая. 2016б. № 5. С. 46–59. DOI: 10.15356/0373-2444-2016-5-46-59.
- Мкртчян Н.В.* Миграция молодежи из малых городов России // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2017. № 1(137). С. 225–242. DOI: 10.14515/monitoring.2017.1.15.
- Мкртчян Н.В.* Проблемы в статистике внутривосточной миграции, порожденные изменением методики учета в 2011 г. // Демографическое обозрение. 2020. Т. 7. № 1. С. 83–99. DOI: <https://doi.org/10.17323/demreview.v7i1.10821>.
- Население России 2017: двадцать пятый ежегодный демографический доклад / под ред. С.В. Захарова; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2019. 480 с. DOI: 10.17323/978-5-7598-2124-3.
- Нефедова Т.Г.* Поляризация пространства России: ареалы роста и «черные дыры» // Экономическая наука современной России. 2009. № 1(44). С. 62–77.
- Нефедова Т.Г.* Большой, малый, средний город и село в России // География, градостроительство, архитектура: синтез наук и практик / под ред. А.Д. Акименко, В.Л. Бабурина, П.Л. Кириллова, А.Г. Махровой (отв. ред.), С.Г. Сафронова. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 171–190.
- Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И.* Теория «дифференциальной урбанизации» и иерархия городов в России на рубеже XXI века // Проблемы урбанизации на рубеже веков. Смоленск: Ойкумена, 2002. С. 71–86. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2005/0217/analit01.php>.
- Петросян А.Н., Шевчук Е.И., Кириллов П.Л., Мозгунов Н.А.* Географические особенности старения населения России // Демографическое обозрение. 2019. Т. 6. № 2. С. 55–83. DOI: 10.17323/demreview.v6i2.9872.
- Пьянкова А.И.* Методические проблемы сопоставимости данных переписей населения 2002 и 2010 годов (на примере Московской области) // Региональные исследования. 2014. № 1. С. 109–121.
- Щур А.Е., Тимонин С.А.* Центр-периферийные различия продолжительности жизни в России: региональный анализ // Демографическое обозрение. 2020. Т. 7. № 3.

- C. 108–133. DOI: 10.17323/demreview.v7i3.11638.
- Gietel-Basten S., Mau V., Scherbov S., Shulgin S. The Gender Gap in Reaching “Old Age” in the Russian Federation: A Regional Approach, *Journal of aging & social policy*, 2020, p. 1–11, DOI: 10.1080/08959420.2020.1777823.
- Heleniak T. Where did all the men go? The changing sex composition of the Russian North in the post-Soviet period, 1989–2010, *Polar Record*, 2020, vol. 56, no. 18, p. 1–14, DOI: 10.1017/S0032247419000615.
- Karachurina L., Mkrtychyan N. Age-specific Migration in Regional Centres and Peripheral Areas of Russia, *Comparative Population Studies*, 2019, vol. 44, p. 413–446, DOI: 10.12765/CPoS-2020-12en.
- Электронные ресурсы*
- 434 экономических района, 29 миллионных агломераций и другое, 2019 // Livejournal. Запись от 1 декабря 2019. URL: <https://reissig.livejournal.com/11959.html> (дата обращения 13.03.2021).
- База данных показателей муниципальных образований // Росстат. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения 30.04.2021).
- Кашицкий И.С. Что в возрасте тебе моем? // Demoscope Weekly. 2014. № 581–582. С. 1–21. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2014/0581/demoscope581.pdf>.
- Миграционный прирост населения по полу, возрасту и потокам передвижения // Росстат. URL: <https://showdata.gks.ru/report/278004/> (дата обращения 25.04.2021).
- Папанова Е.К., Школьников В.М., Андреев Е.М., Тимохин С.А. Высокая продолжительность жизни москвичей после 80 лет – реальность или статистический артефакт? // Успехи геронтологии. 2017. Т. 30. № 6. С. 826–835. URL: [http://www.gersociety.ru/netcat\\_files/userfiles/10/AG\\_2017-30-06.pdf#page=43](http://www.gersociety.ru/netcat_files/userfiles/10/AG_2017-30-06.pdf#page=43) (дата обращения 20.04.2021).
- Характеристика лиц, содержащихся в исправительных колониях для взрослых // ФСИН. URL: <https://fsin.gov.ru/structure/inspector/iao/statistika/Xar-ka%20lic%20sodergahixsya%20v%20IK/> (дата обращения 13.05.2021).
- Численность постоянного населения – женщин по возрасту на 1 января // Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/33459> (дата обращения 25.04.2021).
- Численность постоянного населения – мужчин по возрасту на 1 января // Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31548> (дата обращения 25.04.2021).
- Щур А.Е., Школьников В.М. Размах, причины и динамика неравенства уровня смертности населения России в зависимости от размера и статуса населенного пункта проживания. XXII Апрельская международная конференция по проблемам развития экономики и общества (Москва, 13–29 апреля 2021). URL: <https://conf.hse.ru/2021/program/> (дата обращения 13.05.2021).
- Rogers A., Castro L.J. Model migration schedules, 1981, URL: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/1543/1/RR-81-030.pdf> (дата обращения 27.05.2021).
- Sloggett A. Measuring Fertility, *Population Analysis for Policy and Programmes*, 2015, Paris, International Union for the Scientific Study of Population, URL: [https://papp.iussp.org/sessions/papp101\\_s03/PAPP101\\_s03\\_080\\_050.html](https://papp.iussp.org/sessions/papp101_s03/PAPP101_s03_080_050.html) (дата обращения 17.05.2021).

Поступила в редакцию 19.08.2021

После доработки 15.11.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## SEX RATIO BY REGION AND AGE IN RUSSIA

A.A. Gerasimov

*National Research University Higher School of Economics, Faculty of Social Sciences,  
Master student of Demography Program; e-mail: skalarokkuol@gmail.com*

The sex ratio is an important component of the age-sex population structure and an integral demographic characteristic. Formation of the sex ratio is one of the key demographic issues in turbulent Russian history of the last century. Nevertheless, the territorial differentiation of sex ratio and various determinants affecting it, especially at the local level, has received little attention from Russian scientists. The article examines spatial patterns of the sex ratio in Russian municipalities during 2016–2020. The sex ratio was considered for the entire population, as well as for particular age groups, namely 0, 14–15, 18–19, 35–59, and 60+ years. The article is a first detailed study of the spatial differentiation of sex ratio by age at this level of administrative division in Russia. Methods of demographic and cartographic analysis were used in the study, and the situation in Central Russia was considered in detail.

The results of the study showed that the sex ratio at different ages depends on the rank of a territory in the central-peripheral hierarchy, while the distribution of the institutional population is the main extraterritorial factor. The sex ratio registered at birth changes under the influence of migration and natural population changes. The principal determinant at young ages is different mobility between sexes (higher intra- and inter-regional migration of women), resulting in a disproportion of the ratio in favor of women in central municipalities, and in favor of men in the periphery. In later life higher male mortality in peripheral territories gradually neutralize the differ-

ences in sex ratio between municipalities formed by migration. In addition to above-mentioned factors, other determinants, such as ethnic composition of the local population and cohort effects, may also affect the sex ratio.

**Keywords:** Age-Sex Population Structure, Center and Periphery, Centripetal Migration, Gender-Different Mortality Rates

## REFERENCES

- Alekseev A.I., Karachurina L.B. Vynuzhdennyye migranty i territorial'nye obshchnosti v Rossii [Forced Migrants and Territorial Communities in Russia], *Narodonaselenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya nauchnogo znaniya*, 1997, p. 50–56. (In Russian)
- Averkova K.V. The Territorial Organization of Correctional Institutions in Russia, *Proceedings of the Russian Academy of Sciences, Series Geographic*, 2014, no. 3, p. 19–34. URL: [jour/article/viewFile/32/28](http://jour/article/viewFile/32/28).
- Bessudnov A.R., Malik V.M. Sotsial'no-ekonomicheskoe i gendernoe neravenstvo pri vybore obrazovatel'noi traektorii posle okonchaniya 9 go klassa srednei shkoly [Socio-Economic and Gender Inequalities in Educational Trajectories upon Completion of Lower Secondary Education in Russia], *Voprosy obrazovaniya*, 2016, no. 1, p. 135–166. (In Russian)
- Bychenko Yu.G., Shabanov V.L. Vliyanie migratsii na demograficheskoe i etnostrukturnoe razvitie rossiiskogo sela [The Impact of Migration on the Demographic and Ethnical Development of Russian Rural Areas], *Mir Rossii. Sotsiologiya. Etnologiya*, 2014, iss. 23, no. 1, p. 167–187. (In Russian)
- Gietel-Basten S., Mau V., Scherbov S., Shulgin S. The Gender Gap in Reaching “Old Age” in the Russian Federation: A Regional Approach, *Journal of aging & social policy*, 2020, p. 1–11, DOI: 10.1080/08959420.2020.1777823.
- Heleniak T. Where did all the men go? The changing sex composition of the Russian North in the post-Soviet period, 1989–2010, *Polar Record*, 2020, iss. 56, no. 18, p. 1–14, DOI: 10.1017/S0032247419000615.
- Karachurina L.B., Mkrtychyan N.V. Izmenenie chislennosti naseleniya administrativnykh raionov i gorodov Rossii (1989–2010 gg.): tsentro-periferiinye sootnosheniya [Change of Population Numbers in Administrative Units and Cities of Russia (1989–2010): Centre-Periphery Relationships], *Voprosy geografii*, 2013, no. 135, p. 82–107. (In Russian)
- Karachurina L.B., Mkrtychyan N.V. Mezhr regional'naya migratsiya v Rossii: vozrastnye osobennosti [Interregional Migration in Russia: Age Characteristics], *Demograficheskoe obozrenie*, 2016a, iss. 3, no. 4, p. 47–65, DOI: 10.17323/demreview.v3i4.3205. (In Russian)
- Karachurina L.B., Mkrtychyan N.V. Rol' migratsii v usilenii kontrastov rasseleniya na munitsipal'nom urovne v Rossii [Role of Migration in Enhancing Contrasts of Settlement Pattern at Municipal Level in Russia], *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk, Seriya geograficheskaya*, 2016, no. 5, p. 46–59, DOI: 10.15356/0373-2444-2016-5-46-59. (In Russian)
- Karachurina L., Mkrtychyan N. Age-specific Migration in Regional Centers and Peripheral Areas of Russia, *Comparative Population Studies*, 2019, no. 44, p. 413–446, DOI: 10.12765/CPoS-2020-12en.
- Mkrtychyan N.V. Migratsiya molodezhi iz malyykh 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, DOI: 10.14515/monitoring.2017.1.15. (In Russian)
- Mkrtychyan N.V. Problemy v statistike vnutrirossiiskoi migratsii, porozhdennyye izmeneniyami metodiki ucheta v 2011 g. [Problems in the Statistics of Internal Russian Migration Caused by Changes in Accounting Methods in 2011], *Demograficheskoe obozrenie*, 2020, iss. 7, no. 1, p. 83–99, DOI: 10.17323/demreview.v7i1.10821. (In Russian)
- Naselenie Rossii 2017* [Russia's Population in 2017], S.V. Zakharov (ed.), Moscow, Publishing House of the Higher School of Economics, 2019, 480 p., DOI: 10.17323/978-5-7598-2124-3. (In Russian)
- Nefedova T.G. [City, Town and Rural Settlement in Russia], *Geografiya, gradostroitel'stvo, arkhitektura: sintez nauk i praktik* [Geography, Urban Planning and Architecture: synthesis of science and practice], A.D. Akimenko, V.L. Baburina, P.L. Kirillova, A.G. Makhrova (executive editor), S.G. Safronov (eds.), Smolensk, Oikumena Publ., 2013, p. 171–190. (In Russian)
- Nefedova T.G. Polyarizatsiya prostranstva Rossii: arealy rosta i “chernye dyry” [Polarization of Russian Space: Areas of Growth and “Black Holes”], *Ekonomicheskaya nauka sovremennoi Rossii*, 2009, no. 1(44), p. 62–77. (In Russian)
- Nefedova T.G., Treivish A.I. [“Differential Urbanization” Theory and the Hierarchy of Cities in Russia at the Turn of the 21<sup>st</sup> Century], *Problemy urbanizatsii na rubezhe vekov* [Urbanization Issues at the Turn of the Centuries], Smolensk, Oikumena Publ., 2002, p. 71–86. (In Russian)
- Petrosyan A.N., Shevchuk E.I., Kirillov P.L., Mozgunov N.A. Geograficheskie osobennosti stareniya naseleniya Rossii [Geographical Features of Russia's Population Ageing], *Demograficheskoe obozrenie*, 2019, iss. 6, no. 2, p. 55–83, DOI: 10.17323/demreview.v6i2.9872. (In Russian)
- P'yankova A.I. Metodicheskie problemy sopostavimosti dannykh perepisei naseleniya 2002 i 2010 godov (na primere Moskovskoi oblasti) [Problems of Comparability of Census Data for 2002 and 2010 (the Case of Moscow Region)], *Regional'nye issledovaniya*, 2014, no. 1, p. 109–121. (In Russian)
- Shchur A.E., Timonin S.A. Tsentro-periferiinye razlichiya prodolzhitel'nosti zhizni v Rossii: regional'nyi analiz [Center-Peripheral Differences in Life Expectancy in Russia: Regional Analysis], *Demograficheskoe obozrenie*, 2020, iss. 7, no. 3, p. 108–133, DOI: 10.17323/demreview.v7i3.11638. (In Russian)
- Web sources*  
434 ekonomicheskikh raiona, 29 millionnykh aglomeratsii i drugoe [434 Economic Areas, 29 Metros and More], *Livejournal*, posted December 1, 2019, URL: <https://reisig.livejournal.com/11959.html> (access date 13.03.2021). (In Russian)

- Baza dannykh pokazatelei munitsipal'nykh obrazovaniy [Municipal Statistics Database], *Rosstat*, URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (access date 30.04.2021). (In Russian)
- Chislennost' postoyannogo naseleniya – muzhchin po vozrastu na 1 yanvarya [Resident Population (Men) by Age as of 1 January], *Fedstat*, URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31548> (access date 25.04.2021). (In Russian)
- Chislennost' postoyannogo naseleniya – zhenshin po vozrastu na 1 yanvarya [Resident Population (Women) by Age as of 1 January], *Fedstat*, URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/33459> (access date 25.04.2021). (In Russian)
- Kashnitskii I. Chto v vozraste tebe moem? [What Does My Age Mean to You?], *Demoscope Weekly*, 2014, no. 581–582, p. 1–21, URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2014/0581/demoscope581.pdf> (In Russian)
- Kharakteristika lits, sodержashchikhsya v ispravitel'nykh koloniyakh dlya vzroslykh [Characteristics of Persons Held at Corrective Labor Colonies for Adults], *FSIN*, URL: <https://fsin.gov.ru/structure/inspector/iao/statistika/Xar-ka%20lic%20sodergahixsya%20v%20IK/> (access date 13.05.2021). (In Russian)
- Migratsionnyi prirost naseleniya po polu, vozrastu i potokam peredvizheniya [Migration Surplus by Sex, Age and Destination], *Rosstat*, URL: <https://showdata.gks.ru/report/278004/> (access date 25.04.2021). (In Russian)
- Papanova E.K., Shkolnikov V.M., Andreev E.M., Timonin S.A. Vysokaya prodolzhitel'nost' zhizni moskvichei posle 80 let-real'nost' ili statisticheskii artefakt? [High Life Expectancy of Muscovites at Old Ages: Reality or Statistical Artifact?], *Uspekhi gerontologii*, 2017, iss. 30, no. 6, p. 826–835 (access date 20.04.2021). (In Russian)
- Rogers A., Castro L.J. Model migration schedules, 1981, URL: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/1543/1/RR-81-030.pdf> (access date 27.05.2021).
- Shchur A.E., Shkolnikov V.M. Razmakh, prichiny i dinamika neravenstva urovnya smertnosti naseleniya Rossii v zavisimosti ot razmera i statusa naselennogo punkta prozhivaniya [The Size, Causes and Dynamics of Inequality in the Mortality Rate of the Russian Population Depending on the Size and Status of Settlements], *XXII Aprel'skaya mezhdunarodnaya konferentsiya po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva* (Moscow, 13–29 April 2021), URL: <https://conf.hse.ru/2021/program/> (access date 13.05.2021). (In Russian)
- Sloggett A. Measuring Fertility, *Population Analysis for Policy and Programmes*, 2015, Paris, International Union for the Scientific Study of Population, URL: [https://papp.iussp.org/sessions/papp101\\_s03/PAPP101\\_s03\\_080\\_050.html](https://papp.iussp.org/sessions/papp101_s03/PAPP101_s03_080_050.html) (access date 17.05.2021).

Received 19.08.2021

Revised 15.11.2021

Accepted 27.12.2021

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВНЕШНЕЙ ТОРГОВЛИ НА РАЗВИТИЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

К.Ю. Волошенко<sup>1</sup>, А.А. Новикова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,  
центр социально-экономических исследований региона*

<sup>2</sup> *Калининградский государственный технический университет,  
Институт отраслевой экономики и управления, кафедра менеджмента*

<sup>1</sup> *Директор, канд. экон. наук; e-mail: KVoloshenko@kantiana.ru*

<sup>2</sup> *Ст. преподаватель, соискатель; e-mail: Anna.novikova@klgtu.ru*

Происходящие в мире масштабные изменения в геоэкономике и геополитике оказывают значительное влияние на развитие приграничных регионов, которые в силу своего географического положения отличаются существенной вовлеченностью во внешнеторговые отношения. Под воздействием санкций и в результате ограничения доступа на отдельные международные рынки в приграничных регионах наблюдаются изменения традиционных внешнеэкономических связей и географической направленности связанных с ними внешнеторговых потоков. В зависимости от экспортной и импортной открытости трансформируются условия развития региональных производств и их экономики в целом.

В работе анализируются внешнеторговые потоки эксклавного региона на интервале 2012–2020 гг., однако, предлагаемый авторами подход применим абсолютно для любого региона России, имеющего активные внешнеторговые связи. Используются теоретическая и эмпирическая типологии внешнеторговых потоков по критериям изменения их территориальной концентрации и добавленной стоимости. Типологизация внешнеторговых потоков проводилась исходя из включенности внешнеторговых потоков в региональные производства. Влияние географии анализируется для выявленных типологических групп на различных пространственных уровнях: I – континентальном, II – группы стран, III – отдельных стран и регионов. Результаты типологизации позволяют оценить перспективы каждого из рассматриваемых региональных производств в условиях изменения геополитической ситуации с позиций их возможностей по сохранению (наращиванию) объемов добавленной стоимости.

**Ключевые слова:** экономико-географическое положение, экспортные и импортные торговые потоки, территориальная концентрация, добавленная стоимость, Калининградская область, эксклав

### ВВЕДЕНИЕ

Современные изменения в географии внешнеэкономических связей приграничных регионов России происходят в результате сохранения сложной и напряженной геополитической ситуации, действий взаимных санкций России, США и стран ЕС [Афонцев, 2020; Дружинин, 2020], а в последние годы сказывается влияние пандемии COVID-19 [Панин и др., 2021]. Как следствие, в зависимости от степени внешнеторговой открытости региона изменение географической направленности внешнеторговых потоков, их объемов и структуры может оказывать различное влияние на развитие региональных производств. В полной мере это касается эксклавной Калининградской области, выбранной в качестве объекта исследования. После 2014 г. для развития местных производств имели значение потеря части традиционных европейских рынков и необходимость переориентации на азиатские регионы. Как следствие, предприятия Калининградской области столкнулись с проблемой вынужденного

сокращения производства и отказа от выпуска отдельных видов продукции. В то же время были и положительные изменения – росла экономическая сложность отраслей, успешно адаптировавшихся к новым условиям [Волошенко, Новикова, 2021].

Последствия геополитических и географических изменений для экономики изучаются в работах отечественных и зарубежных авторов, но преимущественно в глобальных и национальных масштабах [Афонцев, 2020]. Применительно к региональному уровню соответствующие измерения практически не представлены, хотя и встречаются отдельные работы по близкой тематике [Гареев, Елисеева, 2014; Линецкий и др., 2017; Изотов, 2018]. Основная проблема состоит в отсутствии доступных методов и алгоритмов для оценки связей отдельных внешнеторговых потоков с производственно-экономической деятельностью региона. В результате анализ влияния изменения географии внешнеторговых связей региона на его экономику в целом, сектора, производства и отрасли не проводится.

Цель данной работы состоит в оценке влияния на развитие производств Калининградской области изменений географической направленности внешне-торговых потоков с учетом их типов, выявляемых в зависимости от уровня территориальной концентрации.

Логика работы выстраивалась в рамках решаемых задач. Во-первых, устанавливались связи между внешнеторговыми потоками и региональными производствами на уровне ТН ВЭД и ОКВЭД. Во-вторых, выявлялись особенности внешнеторговых потоков посредством выделения их типов по территориальной концентрации и изменениям на уровне производств. В-третьих, анализировались типы внешнеторговых потоков на различных пространственных уровнях.

Изучение внешнеторговых потоков проводилось на материалах таможенной статистики, были использованы статистический и аналитический методы исследования, в качестве основного – теоретическая и эмпирическая типология.

Решаемая в работе научная задача первоначально ставилась в исследовании, выполняемом при финансовой поддержке РФФИ и правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-410-390002 для измерения экономической сложности на субнациональном уровне. Однако полученные научные результаты расширяют представление о географии внешнеторговых связей в региональном развитии и управлении [Волошенко, Новикова, 2021]. Изучение территориальной концентрации и проведенная авторами типологизация внешнеторговых потоков имеют важное практическое значение для приграничных регионов. Наибольшие перспективы представляет ее применение в формировании направлений промышленной политики, структурной трансформации региональной экономики, мониторинга и прогнозирования возможных изменений в промышленных производствах, обеспечения устойчивого развития региона.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Географический подход в исследовании внешне-торговых связей региона.** В качестве теоретического базиса для применения географического подхода в изучении внешнеторговых потоков приграничных регионов выступает концепция экономико-географического положения (ЭГП) территории, основоположником которой считается Н.Н. Баранский [Баранский, 1980]. Формирование концепции ЭГП происходило преимущественно в работах советской, а позже российской школ общественной географии. В развитии методологии ЭГП [Блануца, 2015] отмечался постепенный переход от классического представления с количественными изме-

рениями к полифункциональному подходу. Значительный вклад внесли труды таких ученых, как П.Я. Бакланов [Бакланов, Романов, 2009], Е.Е. Лейзерович [Лейзерович, 2006], И.М. Маергойз [Маергойз, 1986], Я.Г. Машбиц [Машбиц, 1998], Б.Б. Родоман [Родоман, 2007], А.Н. Пилясов [Пилясов, 2004], Ю.Г. Саушкин [Саушкин, 1973], В.А. Шупер [Шупер, 1985] и др. В зарубежной литературе понятие ЭГП не применяется, а используется сходная с ним категория близости (proximity) [Boschma, 2005; Torre, Rallet, 2005].

С позиций установления географической направленности внешнеэкономических связей и отдельных внешнеторговых потоков региона ЭГП выполняет две важных функции. С одной стороны, выступает ресурсом территории, характеризующим его отношения с внешней средой [Космачев, 1981]. С другой – происходящие изменения ЭГП становятся градиентом текущих и перспективных изменений самой территории [Блануца, 2015]. Как указывают С.П. Земцов и В.Л. Бабурин, «...ЭГП оценивает близость исследуемого объекта к рынкам, транспортным потокам, промышленным центрам и другим объектам, влияющим или потенциально способным оказать влияние на него» [Земцов, Бабурин, 2016, с. 120]. Очевидно, что реализация выгод ЭГП территории выражается в развитии внешнеэкономических, в частности трансграничных, связей с соседними странами или получении доступа к международным рынкам. Географическая направленность внешнеэкономических связей и связанных с ними внешнеторговых потоков, как следствие, отражает использование потенциала ЭГП территории. Так, И.М. Маергойз еще при изучении экономико-географического положения городов одной из перво-степенных задач считал «именно изучение внешних связей, которые жизненно важны абсолютно для всех его функций, как экономических, так и неэкономических» [Маергойз, 1956, с. 24].

Таким образом, через исследование внешних (внешнеэкономических) связей оценивается использование ЭГП. Следовательно, географическая направленность и структура внешнеторговых потоков отражают степень реализации выгод ЭГП. Вследствие этого выявление географических особенностей формирования внешнеторговых потоков позволяет оценить их влияние на установление границ и выбор возможных направлений развития региона, в частности в новых геополитических условиях. При такой постановке рассматриваемая задача дополняет и расширяет исследования по оценке и использованию потенциала ЭГП, которые представлены в основном анализом положения в пространстве или сети, оценками экономических расстояний и потенциального взаимодействия.

При этом в целом проблематика изучения географии внешнеэкономических связей на региональном уровне в отечественных и зарубежных работах представлена достаточно широко. Однако оценка последствий их изменений не получила пока должного научного обоснования и методического обеспечения. Исследования проводятся преимущественно по следующим направлениям<sup>1</sup>:

– во-первых, традиционно изучаются изменения в географических направлениях и связанные с ними структурные сдвиги во внешней торговле, а также могут быть выделены отдельные публикации по изучению влияния торговой открытости на экономический рост [Изотов, 2018];

– во-вторых, анализируется внутриотраслевая торговля между странами, дифференциация и концентрация внешней торговли [Закиров, 2018], экспортный потенциал территории [Даньшин, 2018]. В зарубежных исследованиях также особое внимание уделяется специализации и диверсификации экспорта [Kaulich, 2012; Herzer, Nowak-Lehmann, 2006]. Отдельное место занимают исследования, связанные с концентрацией внешней торговли;

– в-третьих, достаточно многочисленны публикации по отдельным географическим направлениям и макрорегионам. Исследуется динамика внешней торговли по товарам и странам, чаще всего исследование сводится к простому анализу статистических данных. Однако встречаются и более сложные исследования с применением эконометрических методов.

Применительно к эксклавной Калининградской области вопросам развития внешней торговли, как в рамках приграничного сотрудничества, так и в интересах региона в целом, посвящены работы [Гареев, Федоров, 2005; Винокуров, 2007; Зверев, 2009; Бильчак, 2014]. Исследования касались преимущественно анализа динамики общего экспорта и импорта региона, роли региона во внешней торговле РФ, анализа товарной и географической структур торговли (с учетом распределения по странам ЕС, СНГ и др.). Отдельно можно выделить работы, посвященные построению модели товарных потоков эксклавного региона на основе анализа внешних и межрегиональных потоков, структура которых во многом определяется функционированием на территории региона Особой экономической зоны [Гареев, Федоров, 2005; Гареев, Елисеева, 2014] и др.

Во всех упоминаемых работах признается в целом важная роль и значение географического подхода. Однако для его реализации требуется не только

и не столько анализ изменений в географии внешнеэкономических связей и торговых потоков, сколько проведение соответствующих измерений с позиции их влияния на развитие региона.

**Изучение географических особенностей формирования внешнеторговых потоков.** Выявление географических особенностей и влияния внешнеторговых потоков проводилось посредством построения их теоретической и эмпирической типологии на примере Калининградской области (рис. 1).

На исследуемом интервале 2012–2020 гг. сформирована исходная база данных по товарным (суб)позициям экспорта и импорта региона. В общей сложности база данных включала 1100 товарных позиций на уровне четырех знаков ТН ВЭД и 4233 субпозиции (на уровне шести знаков), что в совокупности составляет около 265 тыс. строк.

В качестве источников данных выступали открытые сведения, публикуемые Федеральной таможенной службой России и Калининградской областной таможней. Для распределения потоков использовалась методика, изложенная в работе [Волошенко, Новикова, 2019], учитывающая установление соответствия товарных позиций ТН ВЭД с отдельными классами и подклассами ОКВЭД с помощью переходных ключей ТН ВЭД ЕАЭС – МСТК – ШЭК – КДЭС Евразийского экономического союза по внешней и взаимной торговле товарами [Переходные ключи..., 2021] и исходных ключей Евростата [Специальные..., 2021].

Преобладающее значение в анализе имели региональные производства (85%), формирующие экспортные потоки и потребляющие различные категории импортных товаров (сырье, материалы, оборудование и др.).

По сгруппированным товарным позициям в рамках видов экономической деятельности (производств) производился расчет показателей, характеризующих географическую направленность внешнеторговых потоков и динамику развития региональных производств. Они выступали в качестве критериев для последующей типологизации. В данной работе выбраны следующие критерии: а) территориальная концентрация торговых потоков; б) производство добавленной стоимости по ОКВЭД; в) стоимостные объемы импорта и экспорта. Выбранные критерии позволяют анализировать каждый внешнеторговый поток в зависимости от изменения географии стран-партнеров, интенсивности внешнеторговых связей и их влияния на региональное производство через показатели добавленной стоимости.

Уровень территориальной концентрации изменялся на основе индекса Херфиндаля – Хиршмана (НИ). Индекс рассчитывался по внешнеторговым

<sup>1</sup> По причине большого числа публикаций библиографические ссылки в тексте приводятся на отдельные работы, отражающие наиболее типичное содержание исследований по темам и направлениям.

потокам, сгруппированным по видам экономической деятельности как сумма квадратов долей отдельных континентов (I уровень), групп стран (II уровень) или стран (III уровень) в их общей стоимости. Индекс принимает значения от 0 до 10 000, что соответствует крайним позициям концентрации внеш-

неторгового потока. При приближении индекса к 0 отмечается слабая концентрация (большое число стран-партнеров), а при достижении значений, близких к 10 000, ситуация характеризуется высокой территориальной концентрацией (выделение нескольких ведущих стран-партнеров в торговом потоке).

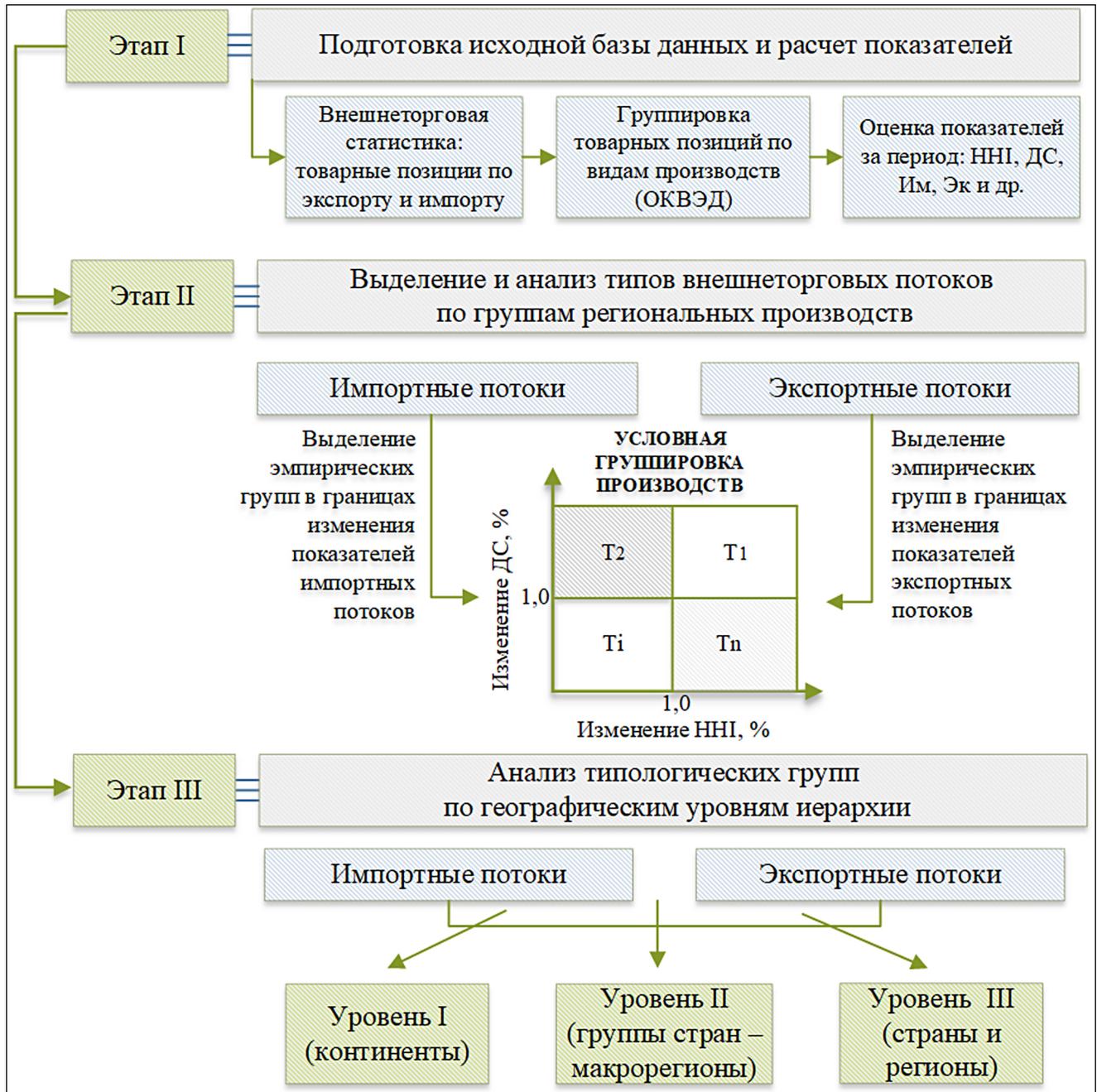


Рис. 1. Схема типологизации внешнеторговых потоков: ННІ – индекс Херфиндаля – Хиршмана; ДС – добавленная стоимость; Им и Эк – стоимостные объемы импорта и экспорта соответственно

Fig. 1. Scheme of foreign trade flows typology: ННІ – is the Herfindahl – Hirschman index; ДС – is the value added; Им and Эк – are the values of imports and exports, respectively

Источником данных о производстве добавленной стоимости выступали сведения, предоставляемые Калининградстатом. До 2017 г. использованы

доступные данные на уровне классов и подклассов производств. На следующем интервале в связи с отсутствием аналогичных сведений производилась

оценка добавленной стоимости. Учитывалась общая динамика и структура ВРП региона, а также индексы производства. Принято допущение об относительной неизменности доли добавленной стоимости в валовом выпуске, что может быть объяснено стабильным уровнем производительности труда в регионе в последние годы. На этой основе произведено распределение валовой добавленной стоимости региона по классам и подклассам производств в 2017–2020 гг. При построении типологий также учитывалась импортная зависимость и экспортная ориентация производств. Средневзвешенная импортная зависимость производств региона по добавленной стоимости составила около 40%, поэтому они были сгруппированы в границах 20%. Импортная зависимость определялась как отношение расходов на приобретение импортного сырья, материалов, покупных изделий к общим затратам на ее производство и реализацию. Экспортная ориентация находилась как отношение объема экспорта по классу или подклассу производств к их общему объему выпуска. В качестве источников данных использованы также сведения Росстата и Калининградстата.

На основе полученных данных изменение показателей территориальной концентрации (НН) и добавленной стоимости (ДС) анализировалось по видам производств, а в их составе по товарным позициям. В зависимости от направлений изменений выбранных критериев сгруппированы региональные производства, а в их составе выделены типы внешнеторговых потоков. Установление типов для простоты и наглядности предусмотрено на интервалах значений показателей больше или меньше 1 (100%). По этой причине выделено четыре основные группы, число которых совпадает для экспортных и импортных потоков. Далее по типологическим группам анализировались особенности географии внешнеторговых потоков. Предусмотрено выделение трех пространственных уровней: I – континенты; II – группы стран; III – страны и регионы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Особенности изменения географии внешне-торговых потоков по типологическим группам экспортных и импортных потоков.** Во втором десятилетии XXI в. произошел сдвиг в географии территориальной концентрации импортных и экспортных торговых потоков Калининградской области (рис. 2). Существенные изменения поставок коснулись каждого из географических направле-

ний. В отношении импортных потоков с учетом значимых для региона объемов наибольшие смещения происходили в поставках из Америки (значение коэффициента оценки структурных сдвигов – 0,24<sup>2</sup>) и Европы (0,16). По экспорту география поставок изменилась еще более значительно: Америка (0,84), Азия (0,58), Африка (0,39) и Европа (0,2).

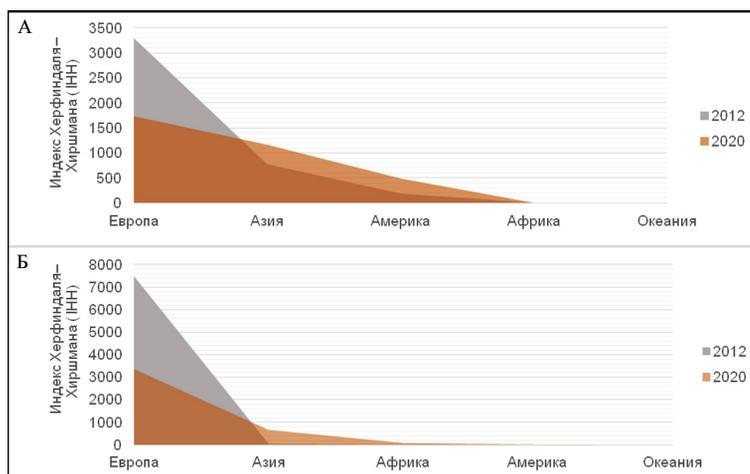


Рис. 2. Концентрация импортных (А) и экспортных (Б) торговых потоков Калининградской области в 2012 и 2020 гг.

Fig. 2. Concentration of import (A) and export (B) trade flows of the Kaliningrad region in 2012 and 2020

Для оценки изменений по видам производств региона проведена группировка торговых потоков с использованием специальных ключей перехода. В совокупности в каждый год по импорту рассмотрено около 110 позиций подклассов (XX.X по ОКВЭД), по экспорту – 101 подкласс.

По всем позициям для каждого года на интервале 2012–2020 гг. рассчитаны значения территориальной концентрации (НН), дана оценка добавленной стоимости (ДС), импорта (Им) и экспорта (Эк), анализировались уровни импортной зависимости и экспортной ориентации. Так как в течение рассматриваемого интервала по отдельным производствам динамика показателей была различна, использована среднегеометрическая величина относительно их темпов. При выделении групп границы показателей установлены в значениях 100%. Сильное влияние географии на добавленную стоимость отмечено для части региональных производств в группах.

По импортным торговым потокам выделено четыре типологических группы, объединенные по видам производств. Их характеристика приведена на рисунке 3.

<sup>2</sup> Рассчитано с помощью коэффициента В.М. Рябцева [Рябцев и Чудилин, 2001, с. 46–47]. От 0,151 – существенные различия структур; от 0,901 – полная противоположность структур.

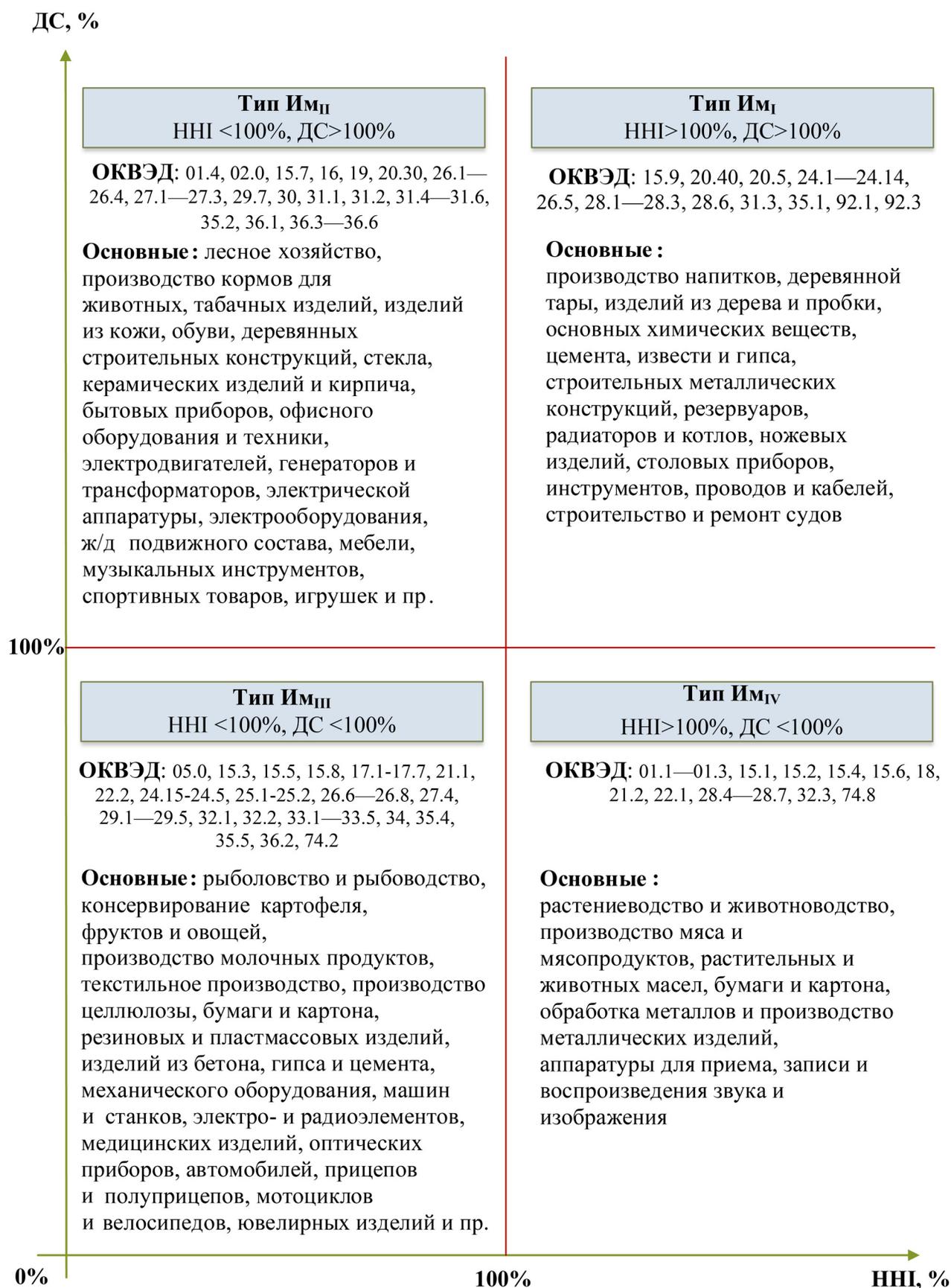


Рис. 3. Типологические группы импортных потоков по видам производств

Fig. 3. Typological groups of import flows by types of production

Выявлено, что для производств с высокой импортной зависимостью на исследуемом интервале наблюдалось преимущественно снижение территориальной концентрации, для остальных – рост показателя. При этом изменение добавленной стоимости происходило преимущественно в одном направлении с территориальной концентрацией, однако для отдельных производств проявились особенности в рамках типологических групп.

Первая типологическая группа импортных потоков включила одинаковое число производств по импортной зависимости. Доля импортных торговых потоков в разные годы по группе составляла 5–8% от общего объема импорта региона. Зафиксирован рост территориальной концентрации, который при невысокой интенсивности внешнеторговых связей сопровождался увеличением добавленной стоимости. Наиболее сильное влияние изменения географической направленности торговых потоков отмечено в развитии регионального производства химических веществ, цемента, извести и гипса. Рост территориальной концентрации происходил преимущественно за счет азиатского направления, доля которого соответственно выросла в импорте с 19,95% в 2012 г. до 51,76% в 2020 г. (индекс ННИ увеличился в 6,7 раз – с 397 до 2678).

По группам стран рост концентрации обеспечивался странами Восточной Азии (доля за период увеличилась с 10,94 до 39,46%, индекс ННИ вырос в 13 раз) и Западной Азии (доля увеличилась с 8,67 до 11,6%, индекс ННИ вырос в 1,8 раза).

На уровне стран, прежде всего, увеличилась доля поставок из Китая (поликарбонатовых кислот (2917)), Республики Корея (поставки крепежной арматуры (8302)), Саудовской Аравии (ациклических спиртов (2905)).

*Вторая типологическая группа импортных потоков* также представлена производствами с разным уровнем импортной зависимости. Торговые потоки, сосредоточенные в производствах группы, формировали в разные годы в среднем 10–15% от общего объема импорта региона. Высокий уровень связи между географической направленностью торговых потоков и добавленной стоимостью зафиксирован для производства деревянных строительных конструкций и офисного оборудования. Уровень территориальной концентрации снижался за период примерно на 20% также за счет переключения с европейского на азиатский континент. Сокращение концентрации выявилось по всем европейским направлениям: в рамках Восточной Европы – на 21%, Северной – на 22, Южной – на 53, Западной – на 55%. По поставкам из значимых по европейскому направлению стран наибольшее снижение отмечалось для Германии (мебель (9401)), Италии (ме-

бель (9401)), Польши (древесностружечные плиты (4410)), Словакии (электроосветительное оборудование (8512)), Латвии (прутки (7214)), Украины (вагоны (8606)) и др.

*В третью типологическую группу импортных потоков* попадают преимущественно производства с высокой импортной зависимостью, их торговые потоки составляют 35–55% от общего объема импорта региона. В последние годы происходит расширение географии торговых партнеров, но добавленная стоимость по отношению к импорту снижается.

Наиболее сильно изменение географической направленности торговых потоков влияло на региональные производства, связанные с переработкой и консервированием картофеля, фруктов и овощей, молочным производством, производством удобрений и азотных соединений, цветных металлов, медицинских изделий, приборов и инструментов для измерений. Общее падение территориальной концентрации по группе на первом пространственном уровне вновь связано с европейским направлением (на 42%). Это снижение, учитывая значительную долю европейского направления импорта (63,46% в 2012 г. и 48,5% в 2020 г.), не было компенсировано азиатским направлением, хотя его концентрация и увеличилась в 2,3 раза. По группам стран выявляются следующие основные направления снижения концентрации (сокращение индекса ННИ): Западная Европа (на 72%), Северная Европа (на 84%) и Южная Европа (на 47%). На уровне отдельных стран заметно снижение по поставкам позиций для Германии (кузова (8707)), Нидерландов (транспортные средства (8701)), Франции (моторные средства (8704)), Норвегии (рыба (0302)), Соединенного Королевства (кислоты (2917)), Италии (моторные средства (8704)) и Испании (камень (6802)) и др.

*Четвертая типологическая группа импортных потоков* включает производства как с низкой, так и высокой импортной зависимостью, их торговые потоки не превышают 8–13% от общего объема импорта региона. Территориальная концентрация растет при сокращении добавленной стоимости. Высокая зависимость от изменения географической направленности торговых потоков в группе отмечается для отрасли растениеводства и животноводства, производства растительных и животных масел и жиров, одежды, выделки меха. На первом пространственном уровне рост концентрации продемонстрировала Америка (в 1,17 раза при доле в импорте в 2020 г. 30,75%) и Африка (в 3,8 раза при доле в импорте в 2020 г. 5,5%). На втором пространственном уровне подробнее покажем изменения в концентрации по Америке с учетом ее позиций в импорте региона. Рост зафиксирован по Централь-

ной Америке (в 2,27 раза – доля менее 1%) и Южной Америке (в 2,18 раза – доля 29,55%). С учетом доли в импорте Южной Америки конкретизируем изменения по странам. Так, выросли поставки из Бразилии (мясо птицы (0207) и соевых бобов (1201)), Колумбии (мясо КРС (0202)), Парагвая (мясо КРС (0202) и соевые бобы (1201)), Чили (свинина (0203) и орехи (0802)) и Эквадора (цветы и бутоны (0603) и др.).

По всем типологическим группам импортных потоков наблюдается следующая закономерность:

1) для производств с высокой импортной зависимостью происходит снижение территориальной концентрации, но это не позволяет компенсировать неблагоприятные изменения геополитической обстановки, что обуславливает ухудшение условий их развития и сокращение интегральных показателей эффективности;

2) для производств с низкой импортной зависимостью характерно увеличение территориальной концентрации. Так как их производственные условия не зависят от интенсивности внешнеторговых связей, сохраняется положительная динамика в уровне добавленной стоимости по отношению к импорту;

3) в составе выделенных групп производств обнаруживаются такие, для которых фиксируется средняя и слабая зависимость изменений от географической направленности импортных торговых потоков. Это необходимо учитывать при корректировке промышленной политики региона.

По **экспортным торговым потокам** (рис. 4) учтены тенденции в изменении экспортной ориентации производств. Выделение типологических групп проводилось аналогично импорту.

*Первая типологическая группа* экспортных потоков немногочисленная, на нее приходится менее 1% в общем объеме экспорта региона. Присутствие в группе такого вида деятельности, как строительство и ремонт судов, оказывает влияние на общие показатели. Так, за счет экспорта грузовых и пассажирских судов в 2018 г. доля группы в экспорте региона составляла 13%. Наиболее сильное влияние географической направленности торговых потоков отмечено в группе для производства электродвигателей и генераторов. На первом пространственном уровне рост территориальной концентрации наблюдался на азиатском (в 3,23 раза) и африканском (в 2 раза) направлениях. Уровень концентрации на европейском направлении по данной группе упал в 2019 г. по сравнению с 2018 г. на 77% и практически восстановился в 2020 г., лишь на 13% не достигнув уровня 2012 г. Изменения на втором пространственном уровне представим для европейского направления, учитывая его долю в экспорте по группе (в среднем около 91%). Выросли постав-

ки в Восточную Европу (от 1% в 2012 г. до 31,23% к 2020 г.), доля Северной Европы за период колебалась в пределах от 5,7 до 88%. При конкретизации результатов экспорта на уровне стран в наибольшей степени изменения связаны с реэкспортом в Германию (например, доля позиции земснаряды (8905) упала с 70% в 2012 г. до 0,0% в 2020 г.), экспортом в Беларусь (например, плитки (6907)), реэкспортом в Польшу (например, плавучие базы, суда (8902) и буксиры (8904)), реэкспортом в Латвию и Литву (суда (8901) и земснаряды (8905)).

В составе *второй типологической группы* экспортных потоков находятся производства, которые формируют от 12 до 16% экспорта региона, причем по сравнению с 2012–2016 гг. их доля снизилась соответственно с 25–45%. Это объясняется в 2014–2015 гг. резким ростом экспорта офисного оборудования и вычислительной техники, который составлял в (ре)экспорте региона 48–50%, однако в последующие годы позиции по потоку стабилизировались на уровне меньше 1%. Средняя импортная зависимость производств выше 50% и, как отмечалось, достаточно много позиций по реэкспорту (лесное хозяйство, добыча и агломерация торфа, производство кожи, изделий из кожи, обуви, основных химических веществ, продукции первичной обработки чугуна и стали). Сильная зависимость развития производств от изменения географической направленности торговых потоков фиксировалась для табачных изделий и строительных металлических конструкций. География торговых потоков в отдельные годы значительно расширяется (до 23% к уровню 2012 г.), за счет чего удается поддерживать рост добавленной стоимости. На континентальном уровне наибольший вклад в экспорт данной группы обеспечивается европейским направлением (доля в 2012 г. – 82,38%, в 2020 г. – 73,71%, индекс ННІ упал на 20%). Рост концентрации показало азиатское направление (его доля увеличилась с 8 до 19,67%, индекс ННІ сократился в 5,9 раза). На уровне групп стран снизилась доля Северной и Южной Европы. На страновом уровне изменение концентрации происходило за счет Латвии (лом (7204)), Литвы (удобрения (3105)), Италии (столлярные изделия (4418)) и Испании (4418).

*Третья типологическая группа* экспортных потоков имеет наиболее важное значение, так как включает крупных региональных экспортеров, в частности в области сельского хозяйства и поставок растительных и животных масел и жиров, которые в группе составляют более 20 и 60% соответственно. Доля группы в общем экспорте региона увеличилась с 37 до 63% за 2012–2020 гг. Сильная связь в изменении географической направленности торговых потоков и добавленной стоимости обнаруживается для производства прочих пищевых продуктов, изделий из бумаги и картона.

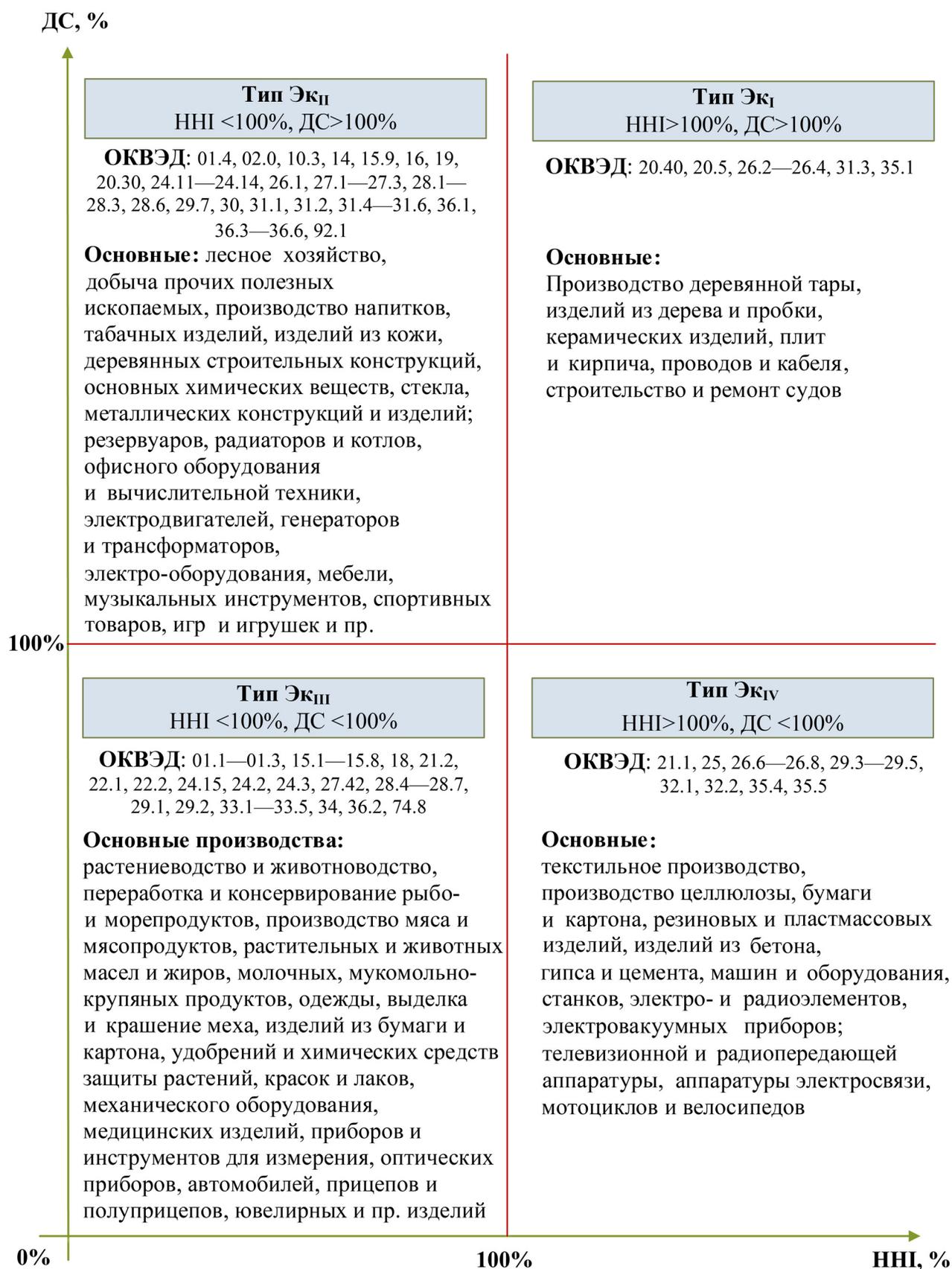


Рис. 4. Типологические группы экспортных потоков по видам производств

Fig. 4. Typological groups of export flows by types of production

Средняя импортная зависимость производств несколько больше 40%. Также присутствует реэкспорт по поставкам растительных и животных масел и жиров, алюминия, оптических приборов, фото- и кинооборудования. Территориальная концентрация производств снижается, но при этом снижается и добавленная стоимость. На уровне континентов территориальная концентрация за период сократилась на 43%. Изменения происходили преимущественно за счет европейского направления, показавшего падение концентрации на 55% (доля в экспорте снизилась с 80 до 54%). Концентрация по азиатскому направлению выросла в 9 раз (индекс ННІ увеличился с 78 до 725 в 2020 г.). На уровне групп стран доля Западной Европы уменьшилась в 3 раза (с 31% в 2012 г. до 9,29% в 2020 г.), Южной Европы – в 2 раза. Структура экспорта в Восточную и Северную Европу практически соответствует уровню 2012 г. По странам наибольшее снижение концентрации отмечено по Франции (с 10,3 до 1,56%, например прекратились поставки соевого масла (1507)), Германии (с 8,15 до 2,45%, так как прекратились поставки рапсового масла (1514) и практически полностью рафинированной меди (7403)), Бельгии (с 5,54 до 1,45%, например снизились поставки семян льна (1204), подсолнечного масла (1512), полиацетали (3907)), Португалии (прекратились поставки соевого (1507) и рапсового (1514) масел) и Италии (прекратились поставки профилей (7604) и др.).

Четвертая типологическая группа экспортных потоков стабильно составляет в экспорте региона от 2 до 4%. Наибольшую долю в группе имеют текстильное производство, производство бумаги и

картона, резиновых и пластмассовых изделий, машин, оборудования и станков. Сильная связь показателей территориальной концентрации и добавленной стоимости наблюдалась по производствам машин и оборудования для сельского и лесного хозяйства, станков, прочих машин и оборудования специального назначения, электро- и радиоэлементов, электровакуумных приборов, телевизионной и радиопередающей аппаратуры. Средняя импортная зависимость производств до 35%, а экспортная ориентация не превышает 8–10%. Географическая концентрация на исследуемом интервале растет, но добавленная стоимость имеет тенденцию сокращения (что соответствует общей тенденции по экспорту региона). Концентрация на континентальном уровне выросла на 20% (индекс ННІ увеличился с 5315 до 6417). Доля европейского направления увеличилась с 62,68 до 78,5%, Америки – с 0,0 до 14,91%. По группам стран отмечено увеличение доли Восточной Европы (с 34 до 57%). Вклад в экспорт на уровне 14,91% в 2020 г. обеспечен Северной Америкой. На уровне стран поставки выросли в Польшу (с 9,38 до 35%, например за счет таких позиций, как бумага и картон (4805), изделия из цемента и бетона (6810)), США (доля увеличилась с 0 до 11,47%, например за счет мототехники (8701)) и Канаду (с 0 до 3,44%, например за счет позиций по прицепах (8716)).

Так как по производствам для экспортных потоков присутствует связь с уровнем их импортной зависимости, в работе установлено соответствие между сформированными типологиями импортных и экспортных потоков (табл.).

Таблица

**Соответствие изменения географии типологических групп экспортных и импортных торговых потоков, %**

Группы экспорта	Изменение географии торговых потоков не совпадает			Изменение географии торговых потоков совпадает		
	Доля производств в экспорте группы	Средняя Эо	Средняя Из	Доля производств в экспорте группы	Средняя Эо	Средняя Из
Тип ЭкI ННІ > 100, ДС > 100	0,0	0,0	0,0	100,0	1,9	8,9
Тип ЭкII ННІ < 100, ДС > 100	30–40	63,44*	21,53	60–70	39,15*	47,92
Тип ЭкIII ННІ < 100, ДС < 100	93–95	40,64*	53,64	5–7	27,94*	60,30
Тип ЭкIV ННІ > 100, ДС < 100	100,0	18,82	46,95	0,0	0,0	0,0

Примечание: \* – без учета производств с позициями реэкспорта; Эо – экспортная ориентация, Из – импортная зависимость.

В результате по экспортным потокам обнаруживается следующая зависимость:

1) чем выше импортная зависимость для производств с высоким уровнем экспортной ориентации, тем в большей степени характерны разные направления территориальной концентрации торговых потоков. Выявлена следующая зависимость: если уровень территориальной концентрации для экспортных производств снижается, а для их импортных потоков растет, то удается сохранить рост добавленной стоимости;

2) для производств с невысоким уровнем экспортной ориентации территориальная концентрация растет, и чем выше их импортная зависимость, тем больше характерно снижение концентрации импортных потоков, при этом рост добавленной стоимости не сохраняется. Вследствие этого на исследуемом интервале успешные производства с ростом добавленной стоимости наращивали экспорт за счет расширения их географии при концентрации импортных потоков. Менее успешные производства по динамике изменения добавленной стоимости, наоборот, сокращали географию экспорта при снижении концентрации импортных потоков.

## ВЫВОДЫ

На примере эксклавного региона впервые проведена оценка импортных и экспортных торговых потоков на уровне региональных производств для выявления зависимости их развития от изменений географической направленности внешней торговли.

Для измерения изменений географической направленности торговых потоков авторами использована категория территориальной концентрации. Она позволяет оценить, как по отдельным товарным позициям, сгруппированным по региональным производствам, изменяется число и доля стран-партнеров на различных пространственных уровнях (I – континентальном; II – групп стран; III – стран и регионов). Оценка динамики развития региональных производств проводилась по добавленной стоимости на уровне подклассов и классов видов экономической деятельности.

Посредством типологизации внешнеторговых потоков на уровне региональных производств Калининградской области в 2012–2020 гг. по критериям изменения их территориальной концентрации и добавленной стоимости установлены следующие зависимости:

– уровень территориальной концентрации значительно выше по экспорту, чем по импорту региона, на всем исследуемом интервале. С позиций развития экспортных производств это означает необходимость реализации мер по поддержке выхода региональных компаний на новые растущие рынки;

– при наблюдаемой различной динамике по импортным торговым потокам преимущественно происходило снижение территориальной концентрации для производств, имеющих высокую импортную зависимость, для остальных – рост концентрации. Однако расширение географии и числа стран-партнеров не позволило сохранить эффективность производств, вследствие чего происходило сокращение добавленной стоимости. Для региональных производств, в наименьшей степени вовлеченных во внешнеторговые связи, при увеличении территориальной концентрации торговых потоков фиксировался рост добавленной стоимости;

– установлено, что влияние географии экспортных потоков по региональным производствам на исследуемом интервале определялось не только их экспортной открытостью, но и импортной зависимостью. Для производств с невысокой экспортной открытостью происходило сокращение территориальной концентрации, а их эффективность не зависела от интенсивности внешней торговли, поэтому направления изменения добавленной стоимости различались;

– среди региональных производств с высокой экспортной открытостью, но относительно низкой импортной зависимостью, более успешными оказывались производства, снижающие территориальную концентрацию торговых потоков. При высокой экспортной открытости и импортной зависимости более эффективные производства сокращали географическую концентрацию экспорта, но увеличивали импорт, менее эффективные производства увеличивали географическую концентрацию и экспорта, и импорта;

– анализируя пространственные уровни по внешнеторговым потокам региона, можно сказать, что рост территориальной концентрации происходил преимущественно за счет азиатского направления. По отдельным товарным позициям произошла переориентация прежде всего со стран Западной и Восточной Европы (Германия, Франция, Словакия, Польша, Литва) на страны Восточной Азии (Китай, Республику Корея). Также можно отметить, что регион не в полном объеме использует возможности своего приграничного положения по отношению к соседним регионам, что и выразилось в существенном снижении показателей взаимодействия с ними. Аналогичная ситуация наблюдалась в использовании такого преимущества эксклавного региона, как близость к европейским рынкам. Фиксировалось существенное сокращение доли европейского направления в торговле.

Используемый в работе подход к оценке влияния внешнеторговых потоков на развитие производств на основе их типологизации выявил перспективы

его дальнейшего использования. Результаты типологизации позволяют оценить перспективы каждого из рассматриваемых региональных производств в условиях изменения геополитической ситуации с позиций их возможностей по сохранению (наращиванию) объемов добавленной стоимости. А также учитывать результаты для оценки целесообразно-

сти разработки мер поддержки в отсутствие собственных перспектив у производства и для целей планирования. К наиболее важным направлениям исследования могут быть также отнесены такие, как выработка направлений структурных изменений, разработка отраслевых стратегий развития производств с учетом влияния геополитических рисков.

**Благодарность.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-410-390002.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афонцев С.А.* Политика и экономика торговых войн // Журнал новой экономической ассоциации. 2020. Т. 1(45). С. 193–198. DOI: 10.31737/2221-2264-2020-45-1-9.
- Барклов П.Я., Романов М.Т.* Экономико-географическое и геополитическое положение Тихоокеанской России. Владивосток: Дальнаука, 2009. 172 с.
- Баранский Н.Н.* Экономико-географическое положение // Становление советской экономической географии. М.: Мысль, 1980. С. 128–159.
- Бильчак В.С.* Внешнеэкономическая деятельность – основа приграничного сотрудничества // Вестник СамГУ. 2014. № 2(113). С. 132–139.
- Блануца В.И.* Экономико-географическое положение: обобщение концептуальных установок и генерация новых смыслов // География и природные ресурсы. 2015. № 4. С. 7–16.
- Винокуров Е.Ю.* Экономическая специализация Калининградской области: монография / науч. ред. А.П. Клемешев. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2007. 329 с.
- Волошенко К.Ю., Новикова А.А.* Методические особенности формирования системы исходных данных для оценки региональных грузопотоков (на примере Калининградской области) // Регионалистика. 2019. № 6. С. 127–141. DOI: 10.14530/reg.2019.6.127.
- Волошенко К.Ю., Новикова А.А.* Экономическая сложность торговых потоков региона в условиях их пространственной поляризации // Географический вестник. 2021. № 2(57). С. 35–50. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-35-50.
- Гареев Т.Р., Федоров Г.М.* Плюсы и минусы режима Особой экономической зоны // Космополис. 2005. № 3. С. 82–89.
- Гареев Т.Р., Елисеева Н.А.* Модель товарных потоков эксклавного региона: в поисках ренты «переходного периода» особой экономической зоны // Балтийский регион. 2014. № 1(19). С. 72–90. DOI: 10.5922/2074-9848-2014-1-5.
- Даньшин А.И.* Экспортный потенциал агропромышленного комплекса Сибири и Дальнего Востока // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 4. С. 101–108.
- Дружинин А.Г.* Евразийские приоритеты России (взгляд географа-обществоведа). Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2020. 268 с.
- Закиров И.В.* Территориальный подход в исследованиях внешнеэкономических связей // Известия РАН. Серия географическая. 2018. № 2. С. 27–36. DOI: 10.7868/S2587556618020036.
- Зверев Ю.М.* Внешняя торговля Калининградской области: основные тенденции // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Гуманитарные и общественные науки. 2009. № 3. С. 70–75.
- Земцов С.П., Бабурин В.Л.* Оценка потенциала экономико-географического положения регионов России // Экономика региона. 2016. № 1(12). С. 117–138. DOI: 10.17059/2016-1-9.
- Изотов Д.А.* Влияние внешнеэкономической деятельности на экономический рост регионов России // Экономика региона. 2018. № 4(14). С. 1450–1462. DOI: 10.17059/2018-4-30.
- Космачев К.П.* Географическая экспертиза (методологические аспекты). Новосибирск: Наука, 1981. 109 с.
- Лейзерович Е.Е.* Базовые составляющие экономико-географического положения стран и районов // Известия РАН. Серия географическая. 2006. № 1. С. 9–14.
- Линецкий А.Ф., Тарасов А.Г., Ковалев В.Е.* Роль регионов во внешнеторговой деятельности России в условиях новых геополитических вызовов // Экономика региона. 2017. № 3(13). С. 827–838. DOI: 10.17059/2017-3-15.
- Маергойз И.М.* К экономико-географическому изучению городов // География городов. Сб. 38. 1956. С. 5–26.
- Машбиц Я.Г.* Географическое положение // Комплексное страноведение. М.; Смоленск, 1998. С. 101–112.
- Панин А.Н., Рыльский И.А., Тикунов В.С.* Пространственные закономерности распространения пандемии COVID-19 в России и мире: картографический анализ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 1. С. 62–77.
- Плясов А.Н.* Переинтерпретация старых понятий экономической географии (на примере потенциалов и активностей) // Известия РАН. Сер. географическая. 2004. № 2. С. 16–26.
- Региональная статистика / под ред. В.М. Рябцева, Г.И. Чудилина. М.: Московский издательский дом, 2001. 380 с.
- Родман Б.Б.* География, районирование, картоиды. Смоленск: Ойкумена, 2007. 368 с.
- Саушкин Ю.Г.* Экономическая география. История, теория, методы, практика. М.: Мысль, 1973. 362 с.
- Шупер В.А.* Анализ географического положения городов методами теории центральных мест. На примере Эстонской ССР // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1985. № 5. С. 116–126.

- Boschma R.A.* Proximity and innovation: a critical assessment, *Regional Studies*, 2005, no. 39, p. 61–74, DOI: 10.1080/0034340052000320887.
- Herrera E.G.* Comparing Alternative Methods to Estimate Gravity Models of Bilateral Trade, *The Papers 10/05*, Department of Economic Theory and Economic History of the University of Granada, 2010.
- Herzer D., Nowak-Lehmann F.* What Does Export Diversification Do for Growth? An Econometric Analysis, *Applied Economics*, 2006, no. 38, p. 1825–1838, DOI: 10.1080/00036840500426983.
- Torre A., Rallet A.* Proximity and localization, *Regional Studies*, 2005, no. 39, p. 47–59, DOI: 10.1080/0034340052000320842.
- Электронные ресурсы  
Калининградская областная таможня, URL: <https://koblt.customs.gov.ru/> (дата обращения 10.06.2021).
- Переходные ключи ЕАЭС / Евразийская экономическая комиссия (ЕЭК), URL: [http://www.eurasiancommission.org/ru/act/integr\\_i\\_makroec/dep\\_stat/union\\_stat/metadata/Pages/classification.aspx](http://www.eurasiancommission.org/ru/act/integr_i_makroec/dep_stat/union_stat/metadata/Pages/classification.aspx) (дата обращения 13.06.2021).
- Специальные конверсионные таблицы Eurostat (для переноса данных о внешней торговле из CN в другие классификации), URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/other\\_documents/index.cfm?TargetUrl=DSP\\_OTHER\\_DOC\\_DTL#cn](https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/other_documents/index.cfm?TargetUrl=DSP_OTHER_DOC_DTL#cn) (дата обращения 10.06.2021).
- Федеральная таможенная служба, URL: <https://customs.gov.ru> (дата обращения 10.06.2021).
- Kaulich F.* Diversification vs. specialization as alternative strategies for economic development: Can we settle a debate by looking at the empirical evidence? UNIDO, Vienna, 2012, URL: <https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/9928764/unido-file-9928764> (дата обращения 18.04.2021).

Поступила в редакцию 06.07.2021

После доработки 04.10.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## IMPACT OF CHANGES IN THE TERRITORIAL DISTRIBUTION OF FOREIGN TRADE ON THE DEVELOPMENT OF THE KALININGRAD REGION

K.Y. Voloshenko<sup>1</sup>, A.A. Novikova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Immanuel Kant Baltic Federal University, Centre for Socio-Economic Research of the Region*

<sup>2</sup> *Kaliningrad State Technical University, Institute of Industrial Economics and Management, Department of Management*

<sup>1</sup> *Director, Ph.D. in Economics; e-mail: KVoloshenko@kantiana.ru*

<sup>2</sup> *Applicant, Senior Lecturer; e-mail: anna.novikova@klgtu.ru*

Major changes in global geoeconomics and geopolitics significantly impact the development of border regions, which are active participants of the international trade because of their geographical location. Sanctions and restricted access to some international markets alter traditional international economic relations as well as the geographic focus of trade flows in border regions. Their export and import openness transforms the prerequisites for the development of regional industries and the entire economy.

The paper analyzes the international trade flows of the exclave region during 2012–2020. The approach suggested by the authors is applicable to any Russian region actively involved in international trade. The study uses the theoretical and empirical typology of international trade flows by the criteria of changes in their territorial concentration and value added. The typology of international trade flows is based on their involvement in regional industries. The influence of geography on the identified typological groups is analyzed at various spatial levels: I – continental; II – groups of countries; III – individual countries and regions.

The typology allows for assessing the prospects of each industry under consideration for maintaining or increasing their added value under changing geopolitical situation.

**Keywords:** economic geographical location, export and import trade flows, territorial concentration, value added, Kaliningrad region, exclave

**Acknowledgements.** The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Kaliningrad Oblast (project 19-410-390002).

### REFERENCES

- Afoncev S.A. Politika i jekonomika torgovyh vojn [Politics and economics of trade wars], *Zhurnal novej jekonomichej asociacii*, 2020, no. 1(45), p. 193–198, DOI: 10.31737/2221-2264-2020-45-1-9. (In Russian)
- Baklanov P.Ja., Romanov M.T. *Jekonomiko-geograficheskoe i geopoliticheskoe polozhenie Tihookeanskoj Rossii* [The economic geographical and geopolitical position of Pacific Russia], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2009, 172 p. (In Russian)

- Baransky N.N. [Economic and geographical position], *Stanovlenie sovetskoi ekonomicheskoi geografii* [Evolution of Soviet economic geography], Moscow, Mysl' Publ., 1980, p. 128–159.
- Bil'chak V.S. Vneshnejekonomicheskaja dejatel'nost' – osnova prigranichnogo sotrudnichestva [Foreign economic activity as a basis of cross-border cooperation], *Vestnik SamGU*, 2014, no. 2(113), p. 132–139. (In Russian)
- Blanutsa V.I. Economic-geographical location: generalization of conceptual frameworks and generation of new meanings, *Geography and Natural Resources*, 2015, no. 4, p. 319–326.
- Boschma R.A. Proximity and innovation: a critical assessment, *Regional Studies*, 2005, no. 39, p. 61–74, DOI: 10.1080/0034340052000320887.
- Danshin A.I. Export potential of the agroindustrial complex of Siberia and the Far East [Export potential of the agroindustrial complex of Siberia and the Far East], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 4, p. 101–108. (In Russian)
- Druzhinin A.G. Evrazijskie prioritety Rossii (vzgljad geografa-obshhestvovedy) [Eurasian priorities of Russia: view of a social geographer], Rostov-on-Don, Taganrog, South Federal University Publ., 2020, 268 p. (In Russian)
- Gareev T.R., Eliseeva N.A. Model' tovarnyh potokov jeksklavnogo regiona: v poiskah renty "perehodnogo perioda" osoboj jekonomicheskoy zony [Commodity flow model for an exclave region: rent-seeking in the "transitional period" of the Special Economic Zone], *Baltijskij region*, 2014, no. 1(19), p. 72–90, DOI: 10.5922/2074-9848-2014-1-5. (In Russian)
- Gareev T.R., Fedorov G.M. Pljusy i minusy rezhima Osoboj jekonomicheskoy zony [Pluses and minuses of the Special Economic Zone regime], *Kosmopolis*, 2005, no. 13(3), p. 82–89. (In Russian)
- Herrera E.G. Comparing Alternative Methods to Estimate Gravity Models of Bilateral Trade, The Papers 10/05, Department of Economic Theory and Economic History of the University of Granada, 2010.
- Herzer D., Nowak-Lehmann F. What Does Export Diversification Do for Growth? An Econometric Analysis, *Applied Economics*, 2006, no. 38, p. 1825–1838, DOI: 10.1080/00036840500426983.
- Izotov D.A. Vlijanie vneshnejekonomicheskoy dejatel'nosti na jekonomicheskij rost regionov Rossii [Influence of foreign economic activity on the economic growth of Russian regions], *Jekonomika regiona*, 2018, vol. 14, iss. 4, p. 1450–1462, DOI: 10.17059/2018-4-30. (In Russian)
- Kosmachev K.P. *Geograficheskaja ekspertiza (metodologicheskie aspekty)* [Geographical expertise (methodological aspects)], Novosibirsk, Nauka Publ., 1981, 109 p. (In Russian)
- Lejzerovich E.E. Bazovye sostavljajushhie jekonomiko-geograficheskogo polozhenija stran i rajonov [Basic components of economic-geographical position of the countries and regions], *Izvestija RAN, Serija Geograficheskaja*, 2006, no. 1, p. 9–14. (In Russian)
- Lineckij A.F., Tarasov A.G., Kovalev V.E. Rol' regionov vo vneshnetorgovoj dejatel'nosti Rossii v uslovijah novyh geopoliticheskikh vyzovov [Role of regions in the foreign trade activity of Russia in the context of new geopolitical challenges], *Jekonomika regiona*, 2017, vol. 13, iss. 3, p. 827–838, DOI: 10.17059/2017-3-15. (In Russian)
- Maergojz I.M. [To the economic-geographical study of cities], *Voprosy geografii, Geografija gorodov*, iss. 38 [Urban Geography], 1956, p. 5–26. (In Russian)
- Mashbic Ja.G. [Geographical position], *Kompleksnoe stranovedenie* [Integrated regional studies], Moscow, Smolensk, 1998, p. 101–112. (In Russian)
- Panin A.N., Ril'skiy I.A., Tikunov V.S. Prostranstvennye zakonmernosti rasprostraneniya pandemii COVID-19 v Rossi i mire: kartograficheskij analiz [Spatial patterns of COVID-19 distribution in Russia and the world: cartographic analysis], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 1, p. 62–77. (In Russian)
- Piljasov A.N. Pereinterpretacija staryh ponjatij jekonomicheskoy geografii (na primere potencialov i aktivov) [Reorientation of the old notions of economic geography], *Izvestija RAN, Serija Geograficheskaja*, 2004, no. 2, p. 16–26. (In Russian)
- Regional'naja statistika*, V.M. Rjabtseva, G.I. Chudilina (eds.), Moscow, Moskovskij izdatel'skij dom Publ., 2001, 380 p. (In Russian)
- Rodoman B.B. *Geografija, rajonirovanie, kartoidy* [Geography, zoning, cartoids], Smolensk, Ojkumena Publ., 2007, 368 p. (In Russian)
- Saushkin Ju.G. *Jekonomicheskaja geografija. Istorija, teorija, metody, praktika* [Economic geography. History, theory, methods, practice], Moscow, Mysl' Publ., 1973, 362 p. (In Russian)
- Shuper V.A. Analiz geograficheskogo polozhenija gorodov metodami teorii central'nyh mest. Na primere Jestonskoj SSR [Analysis of the geographical position of cities by methods of the theory of central places. Case study of Estonian SSR], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 1985, no. 5, p. 116–126. (In Russian)
- Torre A., Rallet A. Proximity and localization, *Regional Studies*, 2005, no. 39, p. 47–59, DOI: 10.1080/0034340052000320842.
- Vinokurov E.Ju. *Jekonomicheskaja specializacija Kaliningradskoj oblasti: monograph* [Economic specialization of the Kaliningrad region], A.P. Klemeshev (ed.), Kaliningrad, I. Kant RGU Publ., 2007, 329 p. (In Russian)
- Voloshenko K.Ju., Novikova A.A. Jekonomicheskaja slozhnost' trgovykh potokov regiona v uslovijah ih prostranstvennoj poljarizacii [Economic complexity analysis in case of spatially polarized regional trade flows], *Geograficheskij vestn.*, 2021, no. 2(57), p. 35–50, DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-35-50. (In Russian)
- Voloshenko K.Ju., Novikova A.A. Metodicheskie osobennosti formirovanija sistemy ishodnyh dannyh dlja ocenki regional'nyh gruzopotokov (na primere Kaliningradskoj oblasti) [Methodological features of the formation of a data system for assessing regional freight flows (the Kaliningrad region case)], *Regionalistika*, 2019, vol. 6, no. 6, p. 127–141, DOI: 10.14530/reg.2019.6.127. (In Russian)
- Zakirov I.B. Territorial'nyj podhod v issledovanijah vneshnejekonomicheskikh svjazej [Territorial approach to studying foreign economic relations], *Izvestija RAN, Serija geograficheskaja*, 2018, no. 2, p. 27–36, DOI: 10.7868/S2587556618020036. (In Russian)
- Zemcov S.P., Baburin V.L. Ocenka potenciala jekonomiko-geograficheskogo polozhenija regionov Rossii [Assessing the potential of economic-geographical position for Russian regions], *Jekonomika regiona*, 2016, vol. 12, iss. 1, p. 117–138, DOI: 10.17059/2016-1-9. (In Russian)

- Zverev Ju.M. Vneshnjaja trgovlja Kaliningradskoj oblasti: osnovnye tendencii [Foreign trade of the Kaliningrad region: major trends], *Vestn. Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta, serija Gumanitarnye i obshhestvennye nauki*, 2009, no. 3, p. 70–75. (In Russian)
- Web sources*
- Federal Customs Service, URL: <https://customs.gov.ru> (data access 10.06.2021).
- Kaliningrad Regional Customs, URL: <https://koblt.customs.gov.ru/> (data access 10.06.2021).
- Kaulich F. Diversification vs. specialization as alternative strategies for economic development: Can we settle a debate by looking at the empirical evidence? UNIDO, Vienna, 2012, URL: <https://www.unido.org/api/opentext/documents/download/9928764/unido-file-9928764> (data access 18.04.2021).
- Special conversion tables of Eurostat (for transferring data on foreign trade from CN to other classifications), URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/other\\_documents/index.cfm?TargetUrl=DSP\\_OTHER\\_DOC\\_DTL#cn](https://ec.europa.eu/eurostat/ramon/other_documents/index.cfm?TargetUrl=DSP_OTHER_DOC_DTL#cn) (data access 10.06.2021).
- Transitional Keys of the EAEU, Eurasian Economic Commission (EEC), URL: [http://www.eurasiancommission.org/ru/act/integr\\_i\\_makroec/dep\\_stat/union\\_stat/meta-data/Pages/classification.aspx](http://www.eurasiancommission.org/ru/act/integr_i_makroec/dep_stat/union_stat/meta-data/Pages/classification.aspx) (data access 13.06.2021).

Received 06.07.2021

Revised 04.10.2021

Accepted 27.12.2021

## ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОЙ МУТНОСТИ ВОД В МАЛЫХ ПРИЛИВНЫХ ЭСТУАРИЯХ БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ

И.В. Мискевич<sup>1</sup>, А.М. Алабян<sup>2</sup>, Н.А. Демиденко<sup>3</sup>, В.Б. Коробов<sup>4</sup>, Е.Д. Панченко<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup> *Институт океанологии РАН им. П.П. Шишова*

<sup>2</sup> *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши*

<sup>5</sup> *Институт водных проблем РАН, лаборатория гидродинамики*

<sup>1</sup> *Вед. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: subarct@gmail.com*

<sup>2</sup> *Доцент, канд. геогр. наук; e-mail: andrei\_alabyan@mail.ru*

<sup>3</sup> *Науч. сотр.; e-mail: demidenko\_nikola@mail.ru*

<sup>4</sup> *Вед. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: szoioran@mail.ru*

<sup>5</sup> *Мл. науч. сотр.; e-mail: panchenko.zhe@yandex.ru*

Формирование областей повышенной мутности в приливных устьях является важным фактором, определяющим их гидрохимический, гидробиологический и гидроэкологический режим. Авторами решалась задача установления закономерностей протекания процессов в устьевых областях малых рек приливного моря и анализ особенностей, обусловленных морфологическими различиями и величиной прилива. Экспедиционные исследования устьевых областей рек Кянда, Тамица, Семжа, Пья и Чеша, выполненные в 2015–2019 гг., показали, что повышенная по сравнению с прилегающими участками реки и моря мутность вод (концентрация взвешенных наносов) в мезо- и макроприливных эстуариях наблюдается на участках реверсивных течений, вызванных приливыми колебаниями уровня моря. Концентрация наносов определялась весовым методом посредством фильтрования проб, отобранных при одновременной регистрации гидравлических параметров водного потока. Отмечается широкий диапазон колебания мутности в зависимости от фазы приливного цикла, характера перемешивания речных и морских вод, геолого-геоморфологического строения взморья и речного русла, а также погодных условий. Наибольшие значения максимальной мутности формируются в период открытого русла в макроприливных эстуариях: в устье Чешы – 4,32 кг/м<sup>3</sup>, в устье Семжи – 2,66 кг/м<sup>3</sup>. В мезоприливных эстуариях Кянды и Тамицы максимальная мутность на порядок меньше. Прослеживается закономерное изменение мутности в течение приливного цикла, когда ее максимум наступает практически одновременно с максимумом скорости приливного течения. Увеличению мутности способствуют ветровое волнение на взморье, взмывающее донные отложения, и интенсивные ливневые осадки, выпадающие на поверхность обширных приливных осушек перед их затоплением. Влияние синоптических факторов при ледоставе уменьшается, но при приливном торошении льда и контакте его нижней поверхности с донными отложениями возможно эпизодическое локальное увеличение мутности. Минимальная мутность вод отмечается, как правило, непосредственно перед началом прилива при стекании пресных речных вод. Вертикальная стратификация мутности в малых эстуариях во время приливных и отливных течений практически отсутствует ввиду интенсивного турбулентного перемешивания, однако при полной воде в моменты времени, близкие к смене направления течения, в результате оседания взвешенных частиц она может быть заметной в плесовых лощинах речного русла.

**Ключевые слова:** устья малых рек, Кянда, Тамица, Семжа, Пья, Чеша, концентрация взвешенных наносов, приливный цикл

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из характерных особенностей побережий западного сектора Российской Арктики является существенное влияние приливных колебаний уровня моря на формирование гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режима устьевых областей рек, впадающих в Белое и Баренцево моря. В устьях рек бассейна Карского и более восточных морей Северного Ледовитого океана приливы проявляются слабее [Залогин, Косарев, 1999]. Вследствие этого, а также ввиду таких факторов, как разнообразие рельефа дна и типов берегов, ши-

рокий диапазон площадей водосбора впадающих рек и различная интенсивность весеннего таяния снега в устьевых областях рек западного сектора Российской Арктики наблюдается более широкий спектр природных явлений.

Здесь при впадении малых и средних рек в море, если ориентироваться на большинство принятых в настоящее время классификаций, формируются эстуарии [Михайлов, 2004; Михайлов, Горин, 2012; Pritchard, 1967; Savenije, 2012; Hoitink, Jay, 2016] с микроприливыми (величина сизигийного прилива менее 2 м), мезоприливыми (2–4 м) и макропри-

ливными (более 4 м) условиями. Иногда среди макроприливных эстуариев выделяют гиперприливные (величина прилива более 6 м) [Kirby, Parker, 1983; Officer, 1980]. Все эти типы эстуариев можно найти в бассейнах Белого и Баренцева морей. При типизации эстуариев по высоте прилива пограничные значения у представителей различных научных школ могут несколько отличаться, однако четко общепринятого физического обоснования этих критериальных значений в настоящее время еще не принято.

Одним из возможных показателей при разработке критериев подразделения устьевых областей на типы в соответствии с их гидродинамическими характеристиками, определяемыми величиной прилива в устьевом створе, является возможность формирования областей повышенной мутности, а также параметры этих областей. Сам факт формирования в эстуариях особых зон, где концентрация взвеси в разы и даже на порядки превышает мутность речных и морских вод прилегающих акваторий, известен и активно изучается еще с прошлого века [Мак-Дуэлл, О'Конор, 1983; Postma, 1967; Gibbs, 1977; Allen et al., 1980; Dyer, 1986]. Однако, отсутствие количественных оценок соотношения мутности речных, морских и эстуарных вод приводит к появлению различных толкований некоторых терминов и определений в зависимости от контекста решаемой задачи или же фоновых гидродинамических и физико-географических условий, в которых находится та или иная устьевая область.

Применительно к области повышенной мутности в эстуарии в литературе часто используются термины «мутявая пробка», «илистая пробка», «пробка мутности», «илистый крем» (англоязычные аналоги – sediment plug, sediment trap; франкоязычные – le bouchon vaseux, la stème de vase). Изначально эти понятия применялись в случаях, когда высокие скорости течения, динамика соленых вод вдоль тальвега эстуария, активное ветровое волнение на устьевом взморье, процессы коагуляции и флокуляции в зоне смешения вод приводили к формированию чрезвычайно высокой мутности в эстуариях Северна [Kirby, Parker, 1983], Темзы [Uncles, Mitchell, 2011], Жиронды [Allen et al., 1977], Луары [Gallenne, 1974], Янцзы [Yang et al., 2014; Li et al., 2016], Меконга [Wolanski et al., 1996]. В отечественной литературе приводятся значения мутности для таких зон в диапазоне 10–13 кг/м<sup>3</sup> для эстуариев Мезени и Кулоя [Демиденко, 2009; Система Белого моря..., 2012]. Такая «пробка мутности» обычно формируется в придонном слое воды толщиной 1–2 м в зоне проникновения соленых вод и реверсивных течений при полной воде в верхней (речной) части эстуария и при малой воде в нижней

(морской) его части. В периоды нарастания скоростей течения и при максимальных скоростях в фазу прилива или отлива она размывается, и турбулентный поток поднимает значительную часть взвеси в верхние слои потока, вплоть до его поверхности. В это время соотношение мутности на поверхности и у дна составляет 1:2÷3. При малой и полной воде в условиях формирования «пробки мутности» эти соотношения могут составлять 1:10÷100 и более [Демиденко, 2009]. При этом для формирования «пробки мутности» в эстуарии в малую воду были необходимы глубины 2–3 м и более.

В то же время понятие «пробка мутности» стало широко использоваться применительно к концепции маргинального фильтра [Лисицын, 1994] многими отечественными учеными для обозначения зон повышенной мутности с существенно меньшими абсолютными значениями концентрации взвешенного вещества [Мискевич и др., 2021]. Дело в том, что исследование особенностей гидрохимического, гидробиологического и гидроэкологического режима приливных эстуариев невозможно без определения причин, механизмов и динамики зон повышенной мутности, которые в значительной степени определяют биоразнообразие и биопродуктивность эстуарных экосистем. «Пробки мутности» в этом случае могут трактоваться не только, и даже не столько как гидродинамический фактор, определяющий интенсивность водообмена и характер взаимодействия речных и морских вод, а как некоторые «препятствия» для нормальной жизнедеятельности речных и морских обитателей и их миграции между речными и морскими водами, что наиболее актуально для малых эстуариев. Кроме того, аккумулирующиеся в «пробках» наносы часто могут являться источником загрязнения вод при переходе загрязнителей из адсорбированной формы в растворимую при контактах с соленой водой [Мискевич и др., 2019].

В связи с этим одной из наиболее актуальных проблем для малых эстуариев является достоверная оценка пространственно-временной изменчивости содержания взвешенных веществ в зоне смешения речных и морских вод и специфики формирования в них зон повышенной мутности. Учитывая, что единого мнения о применимости термина «пробка мутности» к этим зонам нет даже среди авторов предлагаемого исследования, здесь и далее под такой «пробкой» мы будем подразумевать зону эстуарных вод, в которой концентрации взвеси в разы и более превышают их содержание в морских и речных водах прилегающих акваторий [Система Белого моря..., 2012].

В соответствии с классической моделью маргинального фильтра мутьевые пробки в устьях больших и средних рек, как правило, формируются у

верхней (со стороны реки) границы зоны смешения речных и морских вод. Такая ситуация в основном обусловлена более высоким (на 1–2 порядка) содержанием взвешенных веществ в водах рек средней полосы по сравнению с морскими водами [Лисицын и др., 2013]. При этом процессы формирования высокой мутности вод в эстуариях малых рек, дренирующих северные территории и имеющих значительно меньшую «фоновую» (до контакта с морской водой) мутность, остаются малоизученными. Немногочисленные публикации, содержащие сведения о распределении взвеси в небольших эстуариях исследуемой территории обычно отражают ситуацию, характерную для непродолжительного периода проведения отдельных экспедиций [Долотов и др., 2002, 2011], в то время как комплексные режимные наблюдения практически не ведутся.

В предлагаемой статье авторами выполнен синтез результатов полевых исследований мезо- и макроприливных устьев малых рек Белого и Баренцева морей, проведенных в 2015–2020 гг. Северо-западным отделением Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (СЗО ИО РАН) [Коробов, 2015; Мискевич и др., 2019; Мискевич и др., 2021] и географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ) [Алабян и др., 2017, 2018], а также их совместных исследований [Мискевич и др., 2018].

Целью исследования было обобщение закономерностей протекания процессов формирования зон повышенной мутности в устьевых областях малых рек, впадающих в приливные моря на севере Европейской России, и выявление особенностей этих процессов, связанных с морфологическими различиями эстуариев и величиной прилива.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мезоприливные эстуарии получили наибольшее распространение в Белом море и в юго-восточной части Баренцева моря. Макроприливные эстуарии встречаются в Баренцевом море, на побережье Кольского полуострова и в Чешской губе, они характерны и для северной части Белого моря (Воронка и Мезенский залив), при этом некоторые эстуарии Мезенского залива можно отнести к гиперприливному.

В последние годы экспедиции СЗО ИО РАН выполняли исследования в устьевых областях малых рек – Кянда, Тамица, Пыя и Чеша, а экспедиции МГУ – также на Кянде и Тамице, а кроме того, на р. Семже. Реки Тамица и Кянда впадают в юго-восточную часть Онежского залива Белого моря, Пыя и Семжа – в Мезенский залив Белого моря (в эстуарий р. Мезени), р. Чеша – в Чешскую губу Баренцева моря (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения объектов экспедиционных исследований

Fig. 1. Scheme of field study objects

Таким образом, Кянда и Тамица стали своего рода общим полигоном, на котором помимо непосредственных измерений проводились работы по сравнению и дополнению данных, полученных в результате применения различных методик и средств измерения, которые изначально были ориентированы на несколько различающиеся задачи и пространственно-временные масштабы исследуемых явлений. Наибольший объем совместно выполненных работ пришелся на начало августа 2016 г. [Алабян и др., 2018].

Полевые исследования СЗО ИО РАН охватывали длительный период наблюдений (недели – месяцы) с целью сопоставить степень влияния приливных и суточных циклов, а также синоптических квазипериодических изменений на гидробиологические и гидроэкологические закономерности режима устьевых областей. При этом интервал наблюдений за мутностью (отбор проб) составлял 1–6 часов, с такой же периодичностью, по возможности, фиксировались и гидравлические характеристики потока. Кроме того, для изучения мутности вод устьевой области в отдельные промежутки времени использовался автоматический зонд-регистратор SeaGuard RCM SW фирмы Aanderaa (Норвегия).

Экспедиции МГУ были более краткосрочными, упор делался на изучении динамики вод эстуариев в течение приливного цикла. Длительность периода наблюдений не превышала 13 часов (полусуточный приливный цикл), при этом уровень регистрировался с частотой 1 мин. автоматическими самописцами уровня Keller (Швейцария) и Solinst

(Канада), скорость и расход воды измерялись каждые 10–30 мин профилографом RiverRay фирмы Teledyne RD-Instruments (США), пробы воды на мутность отбирались не реже 0,5–1,0 часа в зависимости от фазы приливного цикла.

В СЗО ИО РАН выделение взвеси проводилось методом мембранной ультрафильтрации под вакуумом через ядерные фильтры диаметром 47 мм и диаметром пор 0,45 мкм, изготовленные в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна). Фильтрация каждой пробы воды проводилась через три параллельных ядерных фильтра с помощью вакуумного мембранного насоса НВМ 2×2-К производства ЗАО «Владисарт». Количество взвеси в профильтрованном объеме воды определялось как среднее значение разностей между конечным и начальным весом каждого из трех фильтров. Кроме этого, для изучения динамики мутности между моментами взятия проб использовались записи зонда-регистратора. В МГУ определение взвеси осуществлялось путем фильтрования отобранных проб объема 1,0–1,5 л через бумажные фильтры, их последующего высушивания и взвешивания в лабораторных условиях.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным отличием устьев малых от более крупных рек является малая ширина русла водотока в отлив по сравнению с шириной приливных осушек. Разница между данными параметрами на устьевом взморье реки и у вершины эстуария может достигать 1–2 порядков. В подобных условиях процессы смешения речных и морских вод в течение приливного цикла проходят преимущественно в пределах периодически заливаемых устьевыми водами и периодически осушаемых зон, верхние участки которых обычно заняты маршами с галофитной растительностью. Донные отложения приливных осушек, как правило, формируются илистыми и илисто-глинистыми наносами, тогда как ложе водотока, не обсыхающее даже в малую воду, обычно покрыто отмосткой крупнозернистых отложений – песками, гравием и галькой с включениями валунов.

На скалистых побережьях приливные осушки развиты очень слабо, и зачастую могут практически отсутствовать, поэтому здесь и далее будут рассматриваться устья малых рек, находящиеся в пределах низменных территорий. Для этих устьевых областей характерны очень малые глубины на взморье, не превышающие в малую воду 1–2 м. Одной из характерных черт такого взморья является то, что при отступлении воды во время отлива на открывающейся части морского дна в течение 1–2 часов формируется дельтообразная сеть водотоков

шириной 1–3 м и глубиной не более 0,5–1,0 м, по которым речная вода стекает в море. Реже обсыхающую часть взморья прорезает узкая русловая бороздина шириной от нескольких метров до десятков метров и глубиной 1–3 м. При этом ширина устьевого взморья, заполненного водой в полную воду, может достигать от нескольких десятков метров до нескольких километров.

С возрастанием величины прилива, которое вызывает соответствующее возрастание скоростей приливных течений, обычно наблюдается увеличение мутности вод устьевой области. Тем не менее различия в размерах приливных осушек и физико-химическом составе их отложений при сопоставимых гидрологических и гидрометеорологических условиях могут вносить заметные отклонения в интервалы изменчивости концентраций взвеси. Сопоставление диапазонов изменения мутности исследованных рек (с учетом применения различных методик отбора и обработки проб) дает представление о степени пространственно-временной изменчивости данной характеристики в пределах рассматриваемой территории (таблица).

Более высокие концентрации взвеси в эстуарии Чехи, по сравнению с Пьей и даже Семжей, где величина прилива значительно больше, связаны с расположением ее бассейна в тундровой зоне, где в последние годы идет интенсивное разрушение многолетнемерзлых грунтов и усиление дренирования почвенного покрова. Водосборы же Семжи и Пьи располагаются в северной подзоне тайги с хорошо дренированными почвами, что обуславливает накопление в ее устье наносов с частицами более высокой гидравлической крупности.

Более высокие концентрации взвешенных веществ в эстуарии Кянды по сравнению с Тамицей можно объяснить относительно слабым развитием в последней приливных осушек, а также наличием в их гранулометрическом составе большей доли крупных фракций. Особенности геоморфологического строения русла в низовьях Тамицы, где каменистые перекаты препятствуют поступлению морских вод на устьевой участок реки, также определяют снижение концентрации взвеси, образующейся при контакте вод в зоне смешения.

Взмучивание донных отложений приливными течениями является основным фактором появления высоких концентраций взвешенных веществ во всех рассматриваемых водных объектах. В условиях полусуточных приливов, характерных для Белого и Баренцева морей, максимумы скорости наблюдаются четыре раза в сутки на фазах прилива и отлива. При этом в случае несимметричности приливной волны, подходящей к устьевому створу, скорости приливных течений и значения приливных расхо-

дов воды превосходят максимальные скорости течения и расходы воды на отливе (рис. 2). Скорости обратных течений в начале фазы прилива в мезо-приливных эстуариях могут достигать 0,5–0,6 м/с, а в макроприливных эстуариях – 1,1–1,3 м/с. Одна-

ко, если форма приливной волны близка к симметричной, скорости приливных и отливных течений могут быть сопоставимы, а их соотношение будет в значительной степени зависеть от величины речного стока.

Таблица

**Содержание взвеси в поверхностном горизонте мезо- и макроприливных рек бассейна Белого и Баренцева морей**

Характеристика	Мезоприливные эстуарии				Макроприливные эстуарии					
	Кянда		Тамица		Пья		Чеша		Семжа	
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	510		465		790		550		490	
Экспедиция	СЗО ИО РАН	МГУ, СЗО ИО РАН	МГУ	СЗО ИО РАН	МГУ	СЗО ИО РАН	СЗО ИО РАН	СЗО ИО РАН	Н.А. Демиденко	МГУ
Время проведения	Июль 2016	Август 2016	Февраль 2017	Август 2020	Февраль 2017	Апрель 2019	Август 2019	Июль 2017	Апрель 2005	Август 2018
Величина прилива, м	1,7	1,9	1,5	1,7	1,3	1,1	5,1	4,2	6,1	7,8
Количество проб	7	33	8	7	6	13	7	7	13	13
Концентрация взвеси, г/м <sup>3</sup>										
Средняя	15,2	36,1	18,0	9,6	5,3	2,9	250	1452	170	911
Максимальная	36,2	71,9	36,1	12,0	11,6	6,8	719	4316	317	2662
Минимальная	4,2	10,8	8,5	7,1	0,9	1,0	141	334	89,8	198

Процесс взмучивания донных отложений получает максимальное развитие в начале фазы прилива, когда наблюдаются наибольший временной градиент изменения уровня воды и соответствующие ему максимальные темпы нарастания скорости течений при еще малых глубинах над приливной осушкой. Это четко проявляется при анализе короткопериодной изменчивости мутности вод эстуария р. Кянды в летнюю межень на участке в 3 км выше ее устьевого створа (рис. 3). Примерно в это же время в русле наблюдается максимум скорости приливного течения, однако при дискретности отбора проб на мутность 1 час делать выводы о точном (в пределах нескольких минут) соотношении времени наступления максимумов мутности и скорости течения представляется преждевременным.

Второй, менее четко выраженный за время приливного цикла максимум мутности приходится на фазу отлива и на 1,5–2,0 часа запаздывает относительно максимума скорости отливного течения, который выражен не столь отчетливо по сравнению с максимумом скорости при приливе. Наименьшие значения мутности наблюдаются при полной воде во временной промежуток 2,0–2,5 часа при максимальном уровне, смене направления течения и постепенном увеличении скорости отливного течения.

Таким образом, поступившие с взморья на устьевой участок реки тонкодисперсные частицы осаждаются на дно или же концентрируются в придонной части водной толщи, чтобы при отливе вновь быть вовлеченными в движение.

Для возникновения в эстуарии хорошо выраженной мутьевой пробки необходимо сочетание высоких скоростей приливных течений (0,5–1,0 м/с и более) и наличие обширных приливных осушек. Учитывая большое разнообразие геоморфологических характеристик устьев малых рек арктической зоны, локализация мутьевой пробки может наблюдаться на любом участке устьевой области реки в пределах области реверсивных течений.

Ветровое волнение способно вызвать большое замутнение вод на открытом устьевом взморье малой реки, но в зонах действия приливов возникает специфический эффект, заметно усиливающий данный процесс. Это связано с трансформацией ветровых волн при встрече с сильными приливными течениями противоположного направления. В подобной ситуации происходит существенное изменение их параметров, в первую очередь крутизны волн, что влечет за собой возрастание вертикальной скорости течения воды, вовлеченной в движение по волновой орбите. Усиление такой скорости, в свою

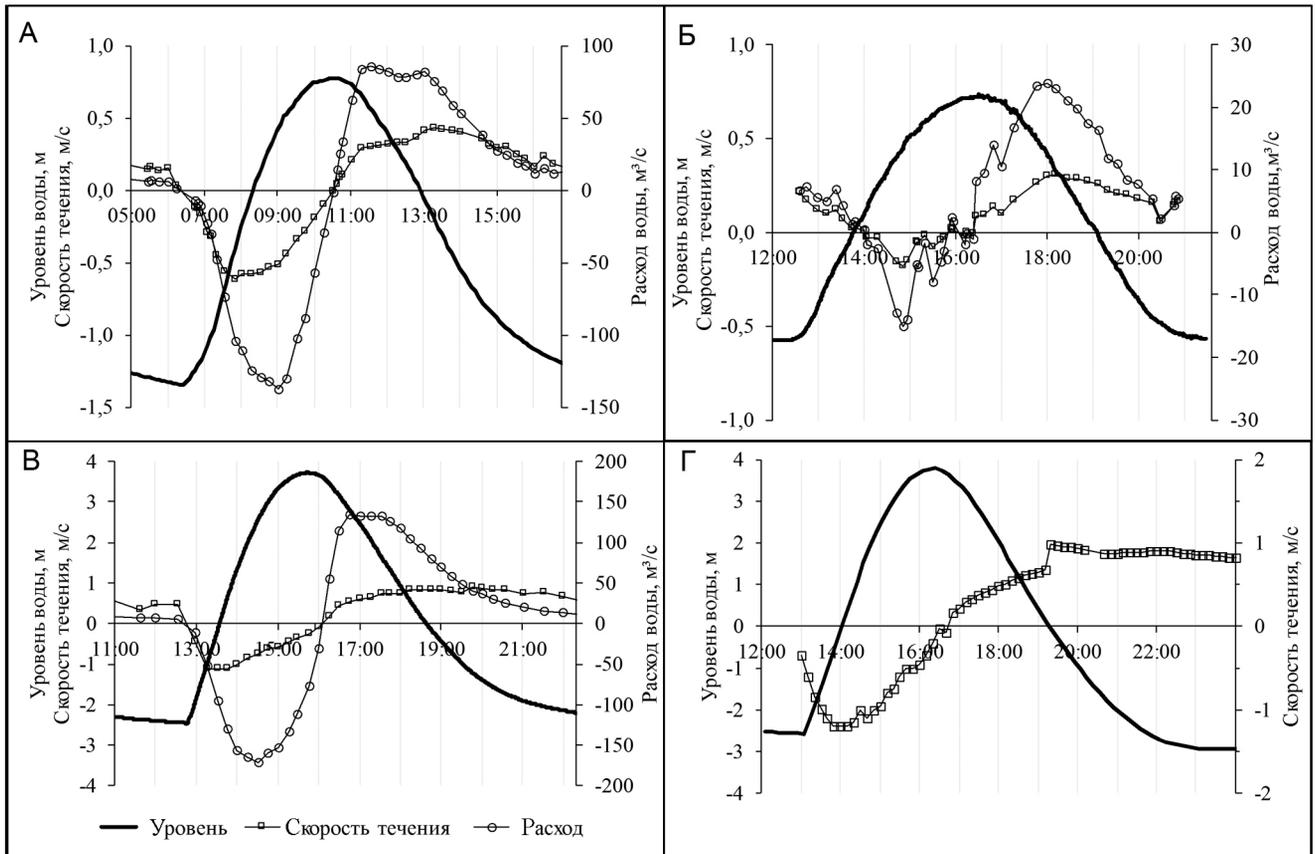


Рис. 2. Изменение гидравлических характеристик в течение приливного цикла:

А – р. Кянда, устьевой створ, 04.08.2016; Б – р. Тамица, устьевой створ, 12.08.2016; В – р. Семжа, 3,6 км выше устьевое створа, 14.08.2018; Г – р. Семжа, 0,5 км выше устьевое створа, 04.08.15. Отрицательные значения скорости течения и расхода воды соответствуют течению из моря в реку

Fig. 2. Changes of flow parameters during the tidal cycle: А – the Kyanda River mouth, 04.08.2016; Б – the Tamitsa River mouth, 12.08.2016; В – the Syomzha River at 3.6 km upstream the mouth, 14.08.2018; Г – the Syomzha River at 0.5 km upstream the mouth, 04.08.2015. Negative values of flow velocity and water discharge correspond to flow direction from the sea to the river

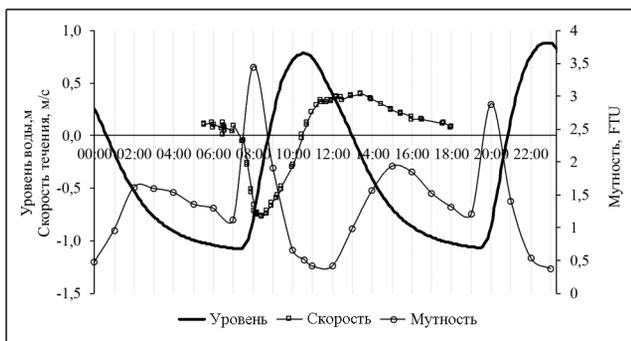


Рис. 3. Изменение мутности вод эстуария р. Кянды в течение приливного цикла 04.08.2016 г. в 3 км выше устьевое створа

Fig. 3. Changes in water turbidity of the Kyanda River estuary during the tidal cycle of 04.08.2016 at 3 km above the mouth section

очередь, вызывает интенсификацию разрушения верхнего слоя донных отложений. Кроме этого, при обрушении волн на мелководных участках возника-

ют так называемые «разрывные течения», скорости которых достигают 1 м/с. Данные эффекты заметно усиливают размывающую способность потока эстуарных вод на взморье даже при умеренных и слабых ветрах. Так, 12.08.2016 г. на устьевом взморье р. Тамицы (рис. 4) при умеренном северо-западном ветре и волнении всего 1–2 балла по мере затопления осушки наблюдалось трехкратное увеличение мутности при движении водной массы по затопленной русловой бороздине к устьевому створу реки (с 21,5 до 63,7 г/м<sup>3</sup>). При этом необходимо иметь в виду, что на морской границе взморья в начале измерений находилась сильно опресненная вода с соленостью 3,73‰, а к устьевому створу реки подошла уже набравшая мутность морская вода с соленостью около 14‰, характерной для Онежского залива Белого моря. По мере выхода водной массы с устьевое участка реки мутность в устьевом створе и на взморье уменьшалась вместе с соленостью (рис. 4; точки, соответствующие 17:55, 18:07 и

18:15 часам) как в результате оседания взвеси, так и за счет разбавления осветленными речными водами в конце фазы отлива.

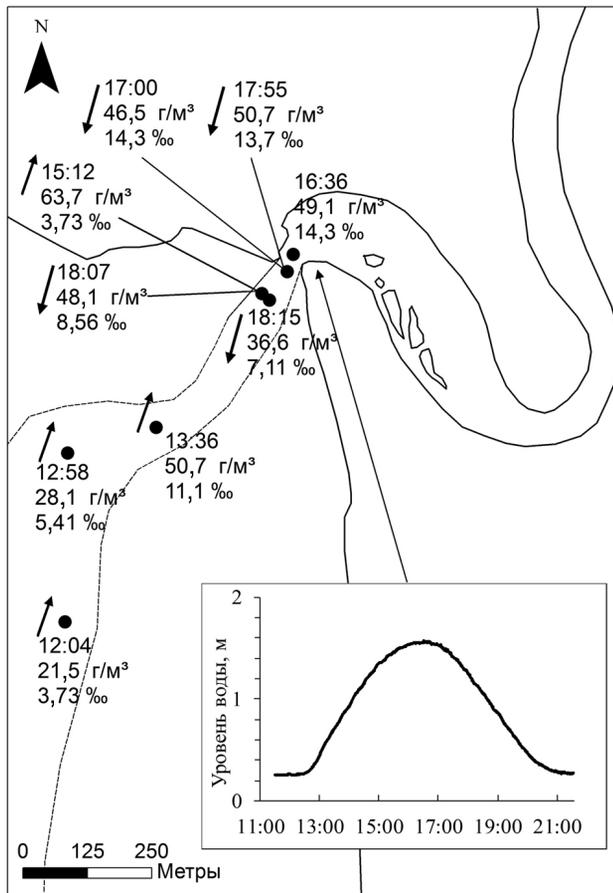


Рис. 4. Распределение мутности и солёности воды на взморье в устье р. Тамицы во время приливного цикла 12.08.2016 г. Пунктирной линией отмечена граница осушки

Fig. 4. Distribution of turbidity and salinity at the seaside of the Tamitsa River estuary during the tidal cycle 12.08.2016. The dashed line marks the drying area boundary

Аналогичное развитие процесса в эстуарии р. Кянды может быть проиллюстрировано сопоставлением соотношения содержания взвесей и солёности (рис. 5) в поверхностном слое воды (до 0,5 м) при штиле и в ветреную погоду на рейдовой вертикали в 3 км выше устьевого створа. При штилевой погоде 28.05.2015 г. на полной воде наблюдалась обычная картина уменьшения мутности по мере осолонения вод устьевой области за счет прихода в эстуарий чистой морской воды. При ветре со скоростью 6–8 м/с против направления движения воды 11.08.2016 г. наблюдалась уже обратная ситуация: с ростом поступления в русло реки взмученных морских вод с взморья мутность имела тенденцию к увеличению, при этом максимум содержания

взвесей с устьевое участка реки сместился на ее устьевое взморье.

Заметное замутнение эстуарных вод может иногда наблюдаться и при выпадении ливневых дождей. Их влияние во всех исследованных устьевых областях хорошо прослеживалось визуально по изменению прозрачности и цвета вод на участках расположения обширных приливных осушек. Кроме этого, данный эффект нашел отражение в выявлении синоптического цикла в короткопериодной изменчивости содержания взвешенных веществ, а также ряда гидрохимических показателей в эстуарии р. Кянды по данным 14-суточной серии наблюдений в июле–августе 2016 г. [Мискевич и др., 2018].

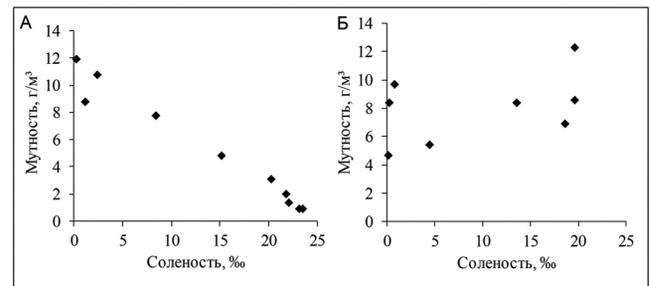


Рис. 5. Соотношение концентрации взвеси и солёности в поверхностном слое воды эстуария р. Кянды: А – в штиль 28.07.2015 г.; Б – в ветреную погоду 11.08.2016 г.

Fig. 5. The ratio of suspended load and water salinity in surface water layer in the Kyanda River estuary: А – calm weather 28.07.2015; Б – windy weather 11.08.2016

Зимой при появлении ледяного покрова процессы замутнения эстуарных вод заметно меняются. В первую очередь, это обусловлено снижением величины прилива и скоростей приливных течений. Величина прилива зимой может уменьшаться на 30–50% и более в зависимости от наличия припая на прилегающей акватории моря и возможности формирования ледяной «дамбы» на мелководном устьевом взморье реки. Последняя состоит из нагромождения ледяных обломков различной конфигурации и может формироваться, если глубины водотока на взморье, величина прилива и толщина льда становятся соизмеримыми.

Ледяная «дамба» начинает ограничивать водообмен между устьем малой реки и морем, иногда она способна его прекращать полностью или же только в квадратуру, когда приливные движения минимальны. При ее наличии приливные колебания уровня воды в устьевой области еще более теряют свою правильную синусоидальную форму в полусуточных циклах. На фазах отлива в изменениях уровня могут появляться различные «возмущения», связанные со сбросом накопившихся в эстуарии подо

льдом речных вод (как бы «маниха» наоборот). Такой характер изменения уровня было предложено называть «ледовым мелководным типом прилива» [Мискевич и др., 2019]. При наличии ледяной «дамбы» максимальная мутность эстуарных вод начинает формироваться на участке ее расположения или на участках приливной осушки, где наблюдаются значительные вертикальные и отчасти горизонтальные подвижки льда. Последнее более типично для макроприливных эстуариев.

При ледоставе, также как и в период открытой воды, ход мутности в течение приливного цикла может иметь два максимума, которые гораздо более четко выражены в макроприливных эстуариях, где абсолютные значения мутности более чем на порядок превышают соответствующие значения для мезоприливных эстуариев (рис. 6). При этом явного превышения приливного максимума над отливным не наблюдается, что также может быть связано с меньшими скоростями приливных течений при ледоставе. В мезоприливных эстуариях прилив вообще не проникает за устьевой участок реки, в отлив же на взморье сбрасывается накопившаяся в русле реки масса пресной воды, вызывая взмучивание донных отложений и их вынос за пределы

устьевого створа. Однако, концентрация взвеси при этом значительно меньше, чем при отсутствии ледовых явлений. О таком характере динамического взаимодействия речных и морских вод в приливных эстуариях могут свидетельствовать многочисленные торосы и ропаки, концентрирующиеся в непосредственной близости от устьевого створа.

При этом вопреки весьма распространенному мнению, что при ледоставе транспорт наносов и русловые процессы в устьевых областях малых рек затормаживаются, следует отметить, что при выполнении измерений 10.04.2005 г. в эстуарии Семжи были зафиксированы максимальные значения концентрации взвешенных наносов, превышающие 300 г/м<sup>3</sup>. Этому способствовали заметные подвижки ледяного покрова.

В условиях, когда ледостав на реках западного сектора Российской Арктики длится 5–7 месяцев, проведение аналогичных исследований в других устьях и при иных (промежуточных) гидрологических и синоптических условиях представляется весьма важным для понимания закономерностей зимнего режима малых эстуариев в зависимости от высоты приливной волны и величины речного стока.

### ВЫВОДЫ

Анализ имеющихся экспедиционных данных, состоящих как из результатов измерений, так и непосредственных визуальных наблюдений позволяет предположить, что в приливных устьях малых рек основную роль в формировании зоны повышенной мутности, а иногда и мутьевой пробки наиболее важны следующие процессы:

- взмучивание донных отложений приливными течениями, интенсивность которых зависит от величины прилива и степени трансформации синусоидальной приливной волны по мере ее продвижения вверх по эстуарию;
- взмучивание донных отложений на мелководном взморье ветровыми волнами, взаимодействующими с приливными течениями;
- эрозия поверхности приливных осушек мощными ливневыми дождями, вызывающими формирование на их поверхности сети микроводотоков, и размыв ими связанных наносов;
- деформация и разрыхление донных отложений подвижками ледяного покрова, характер которых под воздействием приливных колебаний уровня определяется как величиной прилива, так и геоморфологическим строением устьевого взморья реки.

При научных и прикладных исследованиях мезо- и макроприливных эстуариев, в том числе в целях водопользования, рекомендуется в обязательном порядке выявлять наличие зон повышенной мутности, их пространственно-временную локализацию

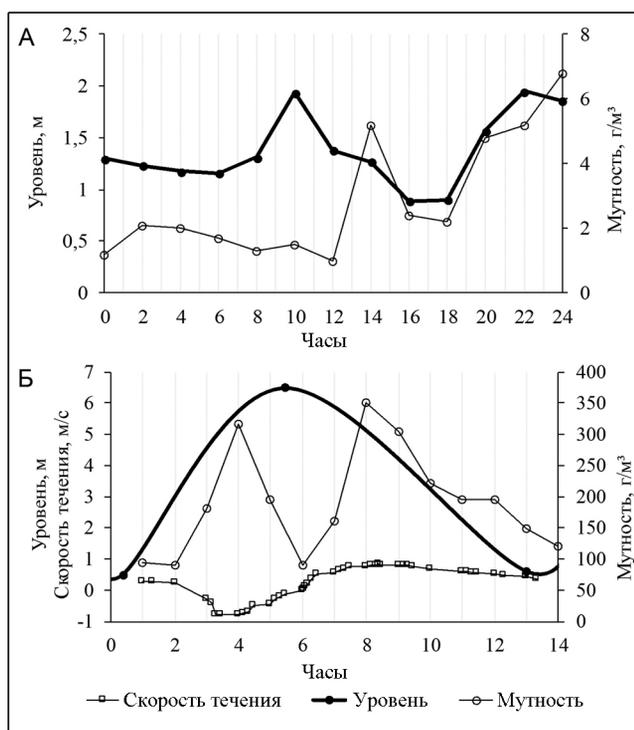


Рис. 6. Изменение мутности вод в течение приливного цикла при ледоставе: А – в устье р. Тамицы 05.04.2019 г.; Б – в устье р. Семжи 10.04.2005 г.

Fig. 6. Changes in water turbidity and flow in estuaries under the ice cover: А – the Tamitsa River mouth, 05.04.2019; Б – the Syomzha River mouth, 10.04.2005

и влияние на устьевую экосистему в целом. Изучение устьевых областей малых рек западного сектора Российской Арктики целесообразно проводить не только в летний, но и в зимний период, учитывая его большую продолжительность.

Пространственно-временные закономерности формирования мутьевых пробок могут быть исследованы посредством выполнения стационарных измерений в течение приливного цикла на различном удалении от устьевого створа реки как в сторону взморья, так и вверх по течению до границы зоны реверсивных течений, а также путем выполнения

гидрологических разрезов по оси эстуариев и площадной съемки мутности на взморье в различные фазы приливного цикла.

Полученные представления о диапазоне и динамике изменения мутности и гидравлических параметров водного потока в течение приливных циклов позволяют оптимизировать дискретность измерений в зависимости от их фазы. Для мезоприливных эстуариев, когда ситуация при сизигийных и квадратурных приливах может существенно различаться, на ключевых участках целесообразно выполнение повторных измерений в сизигию и квадратуру.

**Благодарности.** Исследования СЗО ИО РАН выполнялись в рамках темы № 0128-2021-0006 государственного задания «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек». Исследования МГУ – при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 18-05-60021 «Сток рек и изменение водного и ледотермического режима устьевых областей и морских побережий Российской Арктики в XXI веке» и № 19-35-90032 «Особенности динамики реверсивных водных потоков в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алабян А.М., Алексеева А.А., Демиденко Н.А. и др. Полевые гидрологические исследования устьев рек Онежского залива в зимнюю и летнюю межень 2016–2017 гг. // Геология морей и океанов: материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии (Москва, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 20–24 ноября 2017 г.). М.: ИО РАН, 2017. Т. 3. С. 146–150.
- Алабян А.М., Панченко Е.Д., Алексеева А.А. Особенности динамики вод в приливных устьях малых рек бассейна Белого моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 4. С. 39–48.
- Демиденко Н.А. Формирование максимума мутности воды в сильноприливных эстуариях Мезени и Кулоя // Геология морей и океанов: материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии (Москва, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 16–20 ноября 2009 г.). М.: ГЕОС, 2009. Т. 4. С. 65–69.
- Долотов Ю.С., Коваленко В.Н., Лифшиц В.Х. и др. О динамике вод и взвеси в эстуарии р. Кереть (карельское побережье Белого моря) // Океанология. 2002. Т. 42. № 5. С. 765–774.
- Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Римский-Корсаков Н.А. и др. О проявлении морского и речного факторов в фазы прилива и отлива на береговых участках разной конфигурации Белого моря // Океанология. 2011. Т. 51. № 1. С. 110–122.
- Залогин Б.С., Косарев А.Н. Моря. М.: Мысль, 1999. 400 с.
- Коробов В.Б. Исследования режима устьевых областей рек Белого моря // Геология морей и океанов: материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии (Москва, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 16–20 ноября 2015 г.). М.: ГЕОС, 2015. Т. 3. С. 199–202.
- Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
- Лисицын А.П., Кравчишина М.Д., Копелевич О.В. и др. Пространственно-временная изменчивость концентрации взвеси в деятельном слое Белого моря // ДАН. 2013. Т. 453. № 4. С. 440–445.
- Мак-Доуэлл Д.М., О'Конор Б.А. Гидравлика приливных устьев рек. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.
- Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 5–14.
- Михайлов В.Н., Горин С.Л. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей – эстуариев // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 3. С. 243–257.
- Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б. и др. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля – 15 августа 2016 г.) // Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 369–373.
- Мискевич И.В., Лецев А.В., Мосеев Д.С. и др. Гидролого-гидрохимические исследования устьев малых рек Белого моря в зимнюю межень 2019 года // Океанология. 2019. Т. 59. № 8. С. 1089–1092.
- Мискевич И.В., Коробов В.Б., Мосеев Д.С. Специфика формирования маргинальных фильтров в приливных устьях малых рек арктических морей // Океанология. 2021. Т. 61. № 1. С. 141–146.
- Система Белого моря. Т. II: Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / А.П. Лисицын и др. М.: Научный мир, 2012. 782 с.
- Allen G.P., Salomon J.C., Bassoulet P. et al. Effect of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries, *Sedimentary Geology*, 1980, vol. 26, p. 69–90.

- Allen G.P., Sauzay G., Castaing P. et al. Transport and deposition of suspended sediment in the Gironde estuary, France, *Estuarine Processes*, 1977, vol. II, New York, Wiley, p. 63–81.
- Dyer K.R. *Coastal and estuarine sediment dynamics*, Chichester, Wiley, 1986, 342 p.
- Gallenne B. Study of fine material in suspension in the estuary of the Loire and its dynamic grading, *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 1974, vol. 2, p. 261–272.
- Gibbs R.J. Suspended sediment transport and the turbidity maximum, *Estuaries, Geophysics and the Environment*, National Academy of Science, Washington, 1977, p. 104–109.
- Hoitink A.J.F., Jay D.A. Tidal river dynamics: Implication for deltas, *Rev. Geophys.*, 2016, vol. 54, p. 240–272.
- Kirby R., Parker W.R. The distribution and behavior of fine sediment in the Severn Estuary and Inner Bristol Channel, *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 1983, vol. 40, p. 83–95.
- Li X., Zhu J., Yuan R. et al. Sediment trapping in the Changjiang estuary: Observations in the north passage over a spring-neap tidal cycle, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 2016, vol. 177, p. 8–19.
- Officer C.B. Discussion of the turbidity maximum in partially mixed estuaries, *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 1980, vol. 10, p. 239–246.
- Savenije H.H.G. *Salinity and tides in alluvial estuaries*, Delft, Delft University of Technologies, 2012, 163 p.
- Postma H. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment, *Estuaries*, G.H. Lauff (ed.), Washington, American Association for the Advancement of Science, 1967, vol. 83, p. 158–179.
- Pritchard D.W. What is an estuary: physical viewpoint, *Estuaries*, G.H. Lauff (ed.), Washington, American Association for the Advancement of Science, 1967, vol. 83, p. 3–5.
- Uncles R.J., Mitchell S.B. Turbidity in the Thames Estuary: How turbid do we expect it to be? *Hydrobiologia*, 2011, vol. 672, p. 91–103, DOI: 10.1007/s10750-011-0757-6.
- Wolanski E., Huan N.N., Dao L.T. et al. Fine-sediment dynamics in the Mekong River Estuary, Vietnam, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1996, vol. 43, p. 565–582.
- Yang Y., Li Y., Sun Z. et al. Suspended sediment load in the turbidity maximum zone at the Yangtze River estuary: The trends and causes, *J. Geogr. Sci.*, 2014, vol. 24, p. 129–142.

Поступила в редакцию 27.02.2021

После доработки 03.11.2021

Принята к публикации 27.12.2021

## FORMATION OF HIGH WATER TURBIDITY IN SMALL TIDAL ESTUARIES OF THE WHITE AND BARENTS SEAS

I.V. Miskevich<sup>1</sup>, A.M. Alabyan<sup>2</sup>, N.A. Demidenko<sup>3</sup>, V.B. Korobov<sup>4</sup>, E.D. Panchenko<sup>5</sup>

<sup>1,3,4</sup> Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology

<sup>5</sup> Water Problems Institute of RAS, Laboratory of Hydrodynamics

<sup>1</sup> Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: subarct@gmail.com

<sup>2</sup> Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: andrei\_alabyan@mail.ru

<sup>3</sup> Scientific Researcher; e-mail: demidenko\_nikola@mail.ru

<sup>4</sup> Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: szoioran@mail.ru

<sup>5</sup> Junior Scientific Researcher; e-mail: panchenko.zhe@yandex.ru

The formation of increased turbidity zones in tidal estuaries is an important factor influencing their hydrochemical, hydrobiological and hydroecological regimes. The authors solved the problem of identifying regularities for processes in the estuarine areas of small rivers flowing into the tidal sea and analyzed the features caused by morphological patterns and the tide magnitude. Expeditionary studies of 2015–2019 in the estuarine areas of the Kyanda, Tamitsa, Syomzha, Pyia and Chyosha rivers exposed that higher turbidity, or concentration of suspended sediments, comparing with adjacent riverine and marine water masses, is characteristic of the areas of reversing tidal currents. The sediment concentration was determined using the gravimetric method by filtering samples taken synchronously with recording the flow parameters. A wide range of turbidity fluctuations occurs depending on the tidal cycle phase, the fresh and salt water mixing, the geological and geomorphologic structure of the seashore and river channel pattern, as well as the weather conditions. The highest maximum turbidity is during the open channel season in macro-tidal estuaries, for example, 4,32 kg/m<sup>3</sup> in the Chyosha River estuary and 2,66 kg/m<sup>3</sup> in the Syomzha River estuary. The maximum turbidity in the Kyandy and Tamitsa rivers meso-tidal estuaries is lower by an order. Regular changes in turbidity have been traced during the tidal cycle, when the maximums of flood flow velocity and turbidity occur almost simultaneously. Increased turbidity could be facilitated by wind waves on the seashore, which entrains bottom sediments into motion, as well as by intense rainfall over the extensive tidal floodplains before their inundation. During the ice cover season synoptic factors become less important, although the tidal ice hummocking and ice contact with the bottom sediments could result in episodically higher local turbidity. As a rule, the minimum turbidity has

been noted just before the beginning of the flood when fresh river water runs off. Vertical turbidity stratification in small estuaries during flood and ebb currents is practically non-existent due to intense turbulent mixing; however, under high slack water during the periods of current direction change it could appear in river pools where suspended particles settle.

**Keywords:** estuarine areas of small rivers, Kyanda, Tamitsa, Syomzha, Pyia, Chyosha, sediment load, tidal cycle

**Acknowledgements.** Investigations of the North-West Branch of the Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences were carried out within the state theme 0128-2021-0006 “Modern and ancient bottom sediments and suspended matter of the World Ocean as a geological chronicle of climate and environment change: scattered and bottom sediments of the Russian seas and Atlantic, Pacific and Arctic oceans – lithological, geochemical and micropaleontological research; studying pollution, paleoenvironments and processes within marginal river filters”. The MSU studies were financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 18-05-60021 “River flow and changes of water and ice-thermal regime in the mouth areas and Arctic coasts of Russia during the 21<sup>st</sup> century” and 19-35-90032 Hydrodynamic features of reverse water flows in tidal estuaries of small rivers of the White Sea basin”).

## REFERENCES

- Alabyan A.M., Alekseeva A.A., Demidenko N.A. et al. [Field hydrological studies of river mouths of the Onega Bay during winter and summer low-water periods 2016–2017], *Geologiya morei i okeanov: materialy XXII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii* [Geology of seas and oceans: proc. of the XXII International Scientific conference (School) on marine geology (Moscow, P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, 20–24 November 2017)], Moscow, IO RAS Publ., 2017, vol. 3, p. 146–150. (In Russian)
- Alabyan A.M., Panchenko E.D., Alekseeva A.A. Osobnosti dinamiki vod v prilivnykh ust'yakh mal'nykh rek basseina Belogo morya [Hydrodynamic features of small tidal estuaries of the White Sea basin], *Vestn. Mosk. unta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 4, p. 39–48. (In Russian)
- Allen G.P., Salomon J.C., Bassoulet P. et al. Effect of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries, *Sedimentary Geology*, 1980, vol. 26, p. 69–90.
- Allen G.P., Sauzay G., Castaing P. et al. Transport and deposition of suspended sediment in the Gironde estuary, France, *Estuarine Processes*, 1977, vol. II, New York, Wiley, p. 63–81.
- Demidenko N.A. [Formation of the maximum water turbidity in the macrotidal estuaries of the Mezen' and Kuloi rivers], *Geologiya morei i okeanov: materialy XVIII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii* [Geology of seas and oceans: proc. of the XXII International Scientific conference (School) on marine geology (Moscow, P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, 16–20 November 2009)], Moscow, GEOS Publ., 2009, vol. 4, p. 65–69. (In Russian)
- Dolotov Y.S., Filatov N.N., Rimsky-Korsakov N.A. et al. Manifestation of marine and riverine factors in the tide and ebb phases along the White Sea coasts of different configuration, *Oceanology*, 2011, vol. 51, p. 105–117, DOI: 10.1134/S0001437011010036.
- Dolotov Yu.S., Kovalenko V.N., Lifshits V.Kh. et al. On the dynamics of water and suspension in the Keret River estuary (Karelian coast of the White Sea), *Oceanology*, 2002, vol. 42, no. 5, p. 731–740.
- Dyer K.R. *Coastal and estuarine sediment dynamics*, Chichester, Wiley, 1986, 342 p.
- Gallenne B. Study of fine material in suspension in the estuary of the Loire and its dynamic grading, *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 1974, vol. 2, p. 261–272.
- Gibbs R.J. Suspended sediment transport and the turbidity maximum, *Estuaries, Geophysics and the Environment*, National Academy of Science, Washington, 1977, p. 104–109.
- Hoitink A.J.F., Jay D.A. Tidal river dynamics: Implication for deltas, *Rev. Geophys.*, 2016, vol. 54, p. 240–272.
- Kirby R., Parker W.R. The distribution and behavior of fine sediment in the Severn Estuary and Inner Bristol Channel, *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 1983, vol. 40, p. 83–95.
- Korobov V.B. [Study of the regime of estuarine areas of the White Sea rivers], *Geologiya morei i okeanov: materialy XVIII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii* [Geology of seas and oceans: proc. of the XXII International Scientific conference (School) on marine geology (Moscow, P.P. Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, 16–20 November 2015)], Moscow, GEOS Publ., 2015, vol. 3, p. 199–202. (In Russian)
- Li X., Zhu J., Yuan R. et al. Sediment trapping in the Changjiang estuary: Observations in the north passage over a spring-neap tidal cycle, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 2016, vol. 177, p. 8–19.
- Lisitsyn A.P. Marginal'nyi fil'tr okeanov [A marginal filter of the oceans], *Okeanologiya*, 1994, vol. 34, no. 5, p. 735–747. (In Russian)
- Lisitzyn A.P., Kravchishina M.D., Kopelevich O.V. et al. Spatial and temporal variability in suspended particulate matter concentration within the active layer of the White Sea, *Dokl. Earth Sc.*, 2013, vol. 453, no. 4, p. 1228–1233, DOI: 10.1134/S1028334X13120052.
- McDowell D.M., O'Connor B.A. *Hydraulic behaviour of estuaries*, 1977, New York, Wiley, 177 p.
- Mikhailov V.N. Principles of typification and zoning of river mouth areas (analytical review), *Water Resources*, 2004, vol. 31, p. 1–11, DOI: 10.1023/B:WARE.0000013566.36892.f0.
- Mikhailov V.N., Gorin S.L. New definitions, regionalization, and typification of river mouth areas and estuaries as their parts, *Water Resources*, 2012, vol. 39, no. 3, p. 247–260.
- Miskevich I.V., Alabyan A.M., Korobov V.B. et al. Short-term variability of hydrological and hydrochemical charac-

- ristics of the Kyanda estuary in Onega Bay, the White Sea (July 28 – August 15, 2016), *Oceanology*, 2018, vol. 58, p. 350–353, DOI: 10.1134/S000143701803013X.
- Miskevich I.V., Korobov V.B., Moseev D.S. Specificity of marginal filters formation in the tidal mouths of small rivers of the Arctic seas, *Oceanology*, 2021, vol. 61, p. 141–146, DOI: 10.31857/S0030157421010135.
- Miskevich I.V., Leschev A.V., Moseev D.S. et al. Hydrological and hydrochemical research of the mouths of the small rivers flowing to the White Sea in the winter low-water season of 2019, *Oceanology*, 2019, vol. 59, p. 992–994, DOI: 10.1134/S0001437019060122.
- Officer C.B. Discussion of the turbidity maximum in partially mixed estuaries, *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 1980, vol. 10, p. 239–246.
- Postma H. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment, *Estuaries*, G.H. Lauff (ed.), Washington, American Association for the Advancement of Science, 1967, vol. 83, p. 158–179.
- Pritchard D.W. What is an estuary: physical viewpoint, *Estuaries*, G.H. Lauff (ed.), Washington, American Association for the Advancement of Science, 1967, vol. 83, p. 3–5.
- Savenije H.H.G. *Salinity and tides in alluvial estuaries*, Delft, Delft University of Technologies, 2012, 163 p.
- Sistema Belogo moray*, t. II, Vodnaya tolsheha i vzaimodeistvuyushchie s nei atmosfera, kriosfera, rechnoi stok i biosfera [System of the White Sea, vol. II, Water column and interacting atmosphere, cryosphere, river runoff and biosphere], A.P. Lisitsyn et al., Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2012, 782 p. (In Russian)
- Uncles R.J., Mitchell S.B. Turbidity in the Thames Estuary: How turbid do we expect it to be? *Hydrobiologia*, 2011, vol. 672, p. 91–103, DOI: 10.1007/s10750-011-0757-6.
- Wolanski E., Huan N.N., Dao L.T. et al. Fine-sediment dynamics in the Mekong River Estuary, Vietnam, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1996, vol. 43, p. 565–582.
- Yang Y., Li Y., Sun Z. et al. Suspended sediment load in the turbidity maximum zone at the Yangtze River estuary: The trends and causes, *J. Geogr. Sci.*, 2014, vol. 24, p. 129–142.
- Zalagin B.S., Kosarev A.N. *Morya* [Seas], Moscow, Mysl' Publ., 1999, 400 p. (In Russian)

Received 27.02.2021

Revised 03.11.2021

Accepted 27.12.2021

## 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 публикации 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. Самцитирований 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. Подрисуночные 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 прикладываются 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 нерусскоязычный 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](mailto:vestnik_geography@mail.ru).

*Плата за публикацию не взимается*

## **У Ч Р Е Д И Т Е Л И :**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;  
географический факультет МГУ

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**С.А. ДОБРОЛЮБОВ**, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент 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, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor (Editor-in-chief)  
**V.S. TIKUNOV**, doctor of science, professor (Deputy Editor-in-chief)  
**E.A. EREMENKO**, candidate of science (Secretary-General)  
**A.I. ALEKSEEV**, doctor of science, professor  
**S.I. BOLYSOV**, doctor of science, professor  
**A.N. GENNADIYEV**, doctor of science, professor  
**K.N. D'YAKONOV**, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor  
**S.S. ZILITINKEVICH**, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)  
**O.G. ZOLINA**, professor (Fourier University, Grenoble, France)  
**V.YU. IVANOV**, professor (Michigan University, USA)  
**N.S. KASIMOV**, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor  
**A.V. KISLOV**, doctor of science, professor  
**V.A. KOLOSOV**, doctor of science, professor  
**K.P. KOLTERMANN**, professor  
**M. KONECNY**, professor (Masaryk University, Faculty of Science, Czech Republic)  
**S.B. KROONENBERG**, professor (Delft University of Technology, Department of Applied Earth Sciences, Netherlands)  
**S.M. MALKHAZOVA**, doctor of science, professor  
**G. MOURI**, professor (University of Tokyo, Japan)  
**S.A. SOKRATOV**, candidate of science, PhD  
**P.E. TARASOV**, professor (Free Berlin University, Germany)  
**N.L. FROLOVA**, doctor of science, professor  
**V.E. SHUVALOV**, candidate of science, associate professor  
**T.A. YANINA**, doctor of science, professor  
**V.V. YANKO-KHOMBACH**, doctor of science, professor (Avalon Institute of Applied Sciences, Winnipeg, Canada)

*Номер подготовили члены редколлегии*  
**С.А. СОКРАТОВ, В.Е. ШУВАЛОВ**

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 25.08.2022. Формат 60×90/8.  
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсет. № 1. Офсетная печать. 19,5 Усл. печ. л.  
Уч.-изд. л. 00. Тираж экз. Изд. № 00000. Заказ №

---

Типография МГУ.  
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 15.