

Вестник Московского университета

Серия 5 ГЕОГРАФИЯ

Издательство Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

2025 • Т. 80 • № 4

ИЮЛЬ–АВГУСТ

Выходит один раз в два месяца

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

СОДЕРЖАНИЕ

Географическое картографирование и аэрокосмические методы

- Барышкин П.А., Алексеенко Н.А. Изменение территориальной структуры
жилищного фонда моногорода на примере г. Кировска Мурманской области..... 3
- Герасимова М.И., Богданова М.Д. Почвенные карты городов
(обзор по городам России)..... 15
- Бочаров А.В., Гречушников М.Г., Биденко С.И., Лебедев С.А., Григорьева И.Л.
Уточнение площади водного зеркала Иваньковского водохранилища
по данным дистанционного зондирования Земли..... 28

Динамика природных процессов

- Куракова А.А., Павлюкевич Е.Д., Большаков Д.В. Размыв берегов на реках
Западной Сибири..... 40
- Буряк Ж.А., Спесивцева А.Д. Изменчивость склоновой составляющей баланса
наносов в эрозионно-руслевой системе антропогенно преобразованного
бассейна малой реки..... 49
- Иванов М.М., Иванова Н.Н., Фоминых П.И., Луговой Н.Н. Темпы накопления
продуктов эрозии почв в днище балки с распаханым водосбором
с применением радиоцезиевых исследований..... 63
- Леонова Н.Б., Чмыхов А.А. Динамика видового состава чужеродных видов
растений на юге Архангельской области в XX в. 74

Региональные исследования

- Авессаломова И.А., Иванов А.Н. Каскадные ландшафтно-геохимические системы
вулканических островов (на примере о. Матуа, центральные Курилы)..... 84
- Успенский М.И., Харченко С.В., Цыпленков А.С., Иванов М.М., Голосов В.Н.
Современная денудация малого приледникового водосбора озера Донгуз-Орун..... 95
- Завадский А.С., Сурков В.В., Самохин М.А. Изменение режима затопления
левобережной поймы р. Лены в районе г. Якутска..... 110
- Романов А.А., Редькин Я.А., Коблик Е.А., Смирнов П.А., Барканова Е.Н.,
Каландадзе А.Н. Эколого-географическая структура населения птиц
о-ва Онекотан (северные Курильские острова)..... 125
- Абилов А.Ж., Махрова А.Г., Сафронов С.Г., Яскевич В.В. Новейшие тенденции
развития агломерации Астаны..... 136
- Бабкин Р.А. Этноконтактные зоны в московском регионе: делимитация и анализ
на основе данных сотовых операторов 149

CONTENTS

Geographical mapping and aerospace methods

<i>Baryshkin P.A., Alekseenko N.A.</i> Changes of the territorial structure of housing facilities in a single-industry town (case study of the town of Kirovsk, the Murmansk oblast)	3
<i>Gerasimova M.I., Bogdanova M.D.</i> Soil maps of cities (overview of Russian cities)	15
<i>Bocharov A.V., Grechushnikova M.G., Bidenko S.I., Lebedev S.A., Grigoryeva I.L.</i> Updating of the water surface area of the Ivankovskoye Reservoir based on the Earth remote sensing data	28

Dynamics of natural processes

<i>Kurakova A.A., Pavlyukevich E.D., Bolshakov D.V.</i> Stream-bank erosion on the rivers of Western Siberia	40
<i>Buryak Zh.A., Spesivtseva A.D.</i> Variability of the slope component of sediment balance for the erosion-channel system in anthropogenically transformed basin of a small river	49
<i>Ivanov M.M., Ivanova N.N., Fominykh P.I., Lugovoy N.N.</i> Accumulation of accelerated erosion products in the bottom of a small dry valley (balka) with cultivated catchment using the radiocesium studies	63
<i>Leonova N.B., Chmykhov A.A.</i> The 20th century dynamics of the species composition of alien plants in the southern Arkhangelsk region	74

Regional studies

<i>Avessalomova I.A., Ivanov A.N.</i> Cascading landscape geochemical systems of volcanic islands (case study of the Matua island, the central Kuril islands)	84
<i>Uspenskii M.I., Kharchenko S.V., Tsyplenkov A.S., Ivanov M.M., Golosov V.N.</i> Present-day denudation of a small alpine catchment of the Donguz-Orun lake	95
<i>Zavadsky A.S., Surkov V.V., Samokhin M.A.</i> Changes in the flooding regime of the Lena river left bank floodplain near Yakutsk	110
<i>Romanov A.A., Red'kin Ya.A., Koblik E.A., Smirnov P.A., Barkanova E.N., Kalandadze A.N.</i> Ecological and geographical structure of bird population on the Onkotan Island (the northern Kuril Islands)	125
<i>Abilov A.J., Makhrova A.G., Safronov S.G., Jaskiewicz V.V.</i> Latest trends in the Astana agglomeration development	136
<i>Babkin R.A.</i> Ethnic contact zones in the Moscow region: delimitation and analysis based on the data from mobile operators	149

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

УДК 332.812; 528.946

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ЖИЛИЩНОГО ФОНДА МОНОГОРОДА НА ПРИМЕРЕ г. КИРОВСКА МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

П.А. Барышкин¹, Н.А. Алексеенко²

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

¹ *Аспирант; e-mail: petr.baryshkin@gmail.com*

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

Статья посвящена крупномасштабному картографированию структуры застройки в целях исследования феномена городского сжатия, проявляющегося в депопуляции и структурной трансформации жилищного фонда. Актуальность работы обусловлена недостаточной изученностью внутригородской пространственной дифференциации процессов сжатия, особенно в экономико-географических условиях моногородов. Авторы ставят целью разработку алгоритма картографирования, подразумевающего использование данных дистанционного зондирования сверхвысокого пространственного разрешения (WorldView-2, GeoEye-1, Pleiades-1), статистическую информацию о жилищном фонде (автоматизированная информационная система публично-правовой компании «Фонд развития территорий» (АИС ППК «ФРТ»)), генеральные планы муниципальных образований, векторную основу OpenStreetMap и результаты полевых исследований. Данные верифицируются путем проведения социологических опросов и визуального осмотра состояния зданий. Проводится анализ карт на предмет динамики застройки, состояния жилищного фонда, удаленности от центра города и градообразующих предприятий.

Территорией для картографирования выбран монопрофильный город Кировск в Мурманской области. По результатам использования карт выявлен «кольцевой» характер городского сжатия в населенном пункте: максимальная доля пустующего жилья наблюдается в периферийных городских районах, таких как микрорайон 25-й км (Кукисвумчорр). Установлено, что около 10% жилой площади в этом районе не заселено, тогда как в центре города данный показатель составляет около 7%. Основными факторами депопуляции стали устаревание жилищного фонда, удаленность от общественных и культурных центров и мест концентрации населения. Визуализация данных подтвердила противоречие между планами экстенсивного развития и реальным сокращением застройки.

В результате проведенного анализа подтверждена эффективность предложенного алгоритма для определения пространственных закономерностей городского сжатия, однако выявлены ограничения: сложности сбора информации об индивидуальной застройке и зависимость от плотности временного покрытия спутниковых данных. Установлена необходимость адаптации стратегий территориального планирования с учетом внутригородской дифференциации демографических процессов. Работа вносит вклад в развитие методов урбанистического картографирования, предлагая инструменты для мониторинга структурных кризисов в условиях депопуляции.

Ключевые слова: городское сжатие, жилищный фонд, крупномасштабное картографирование, депопуляция, дистанционное зондирование, моногород

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.1

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших последствий геополитических и экономических изменений, произошедших на рубеже XX–XXI вв., стало возникновение общемировой тенденции к депопуляции, сокращению численности городского населения в старопромышленных районах [Pallagst et al., 2009]. Для описания

проблемы используется термин *городское сжатие*, который подразумевает устойчивый процесс оттока населения и спада экономической активности поселений [Замятина, Гончаров, 2020]. Явление обусловлено возникновением регионального или муниципального *структурного кризиса*, подразумевающего, с одной стороны, устаревание приме-

няющихся стратегий городского планирования, с другой – стремительное изменение условий ведения хозяйства в результате глобальных экономических изменений [Martinez-Fernandez et al., 2012].

В современных исследованиях по теме большое внимание уделяется специфике городского сжатия в зависимости от страны [Schilling, Logan, 2008; Batunova, Gunko, 2018] или отдельных регионов стран [Constantinescu, 2012; Lang, 2012]. Тем не менее рассматриваемый феномен специфичен в том числе в масштабе застройки отдельных населенных пунктов. Анализ динамики численности населения и состояния жилищного фонда в масштабе поселений показывает, что характер пространственных изменений структуры селитебной зоны может отличаться в зависимости от района города [Gunko et al., 2021].

С каждым годом все больше осознается важность контроля институтами территориального планирования социально-экономических процессов в пространстве, в том числе городского сжатия. Контроль необходим в целях устойчивого развития населенных пунктов с выраженной депопуляцией и уязвимой экономикой, подверженной рискам к дестабилизации, особенно в моногородах [Martinez-Fernandez et al., 2012]. Авторы настоящей работы видят составление крупномасштабных карт территории населенных пунктов одним из решений проблемы анализа структурных процессов в пространстве городов. Активное развитие урбанистической теории во втором десятилетии XXI в. не только в России, но и в мире, поиск новых методов изучения процессов, в том числе демографических, происходящих в населенных пунктах, делает проблему картографирования процесса городского сжатия актуальной.

Целью настоящей работы стало проведение крупномасштабного картографирования процесса городского сжатия в фокусе состояния жилищного фонда и его качественно-количественных изменений. В качестве территории для изучения демографических процессов взят Кировск, монопрофильный населенный пункт, расположенный в Мурманской области. Работа является продолжением исследований, посвященных картографированию застройки в целях обнаружения демографических изменений в шахтерских моногородах России [Барышкин и др., 2025].

Большая часть современных картографических исследований проводится в фокусе демографических проблем Восточной Европы, региона, для которого проблемы процессов депопуляции и закрытия предприятий актуальнее прочих регионов вследствие резкой смены политического и экономического режимов [Haase et al., 2016]. Среди многочисленных работ, посвященных региональным различиям городского сжатия в пределах одной из

постсоциалистических стран (Трансильвания, Румыния [Constantinescu, 2012]; северо-восток Северной Македонии [Siljanoska et al., 2012]), только малая часть учитывает внутригородскую специфику процесса.

Крупномасштабные карты по настоящей теме, встречающиеся в литературе, в основном *аналитические*: иллюстрируют один тематический показатель, например год постройки или сноса зданий. Сооружения отображаются в пределах их собственных размеров в масштабе [Przemiany..., 2012, с. 19–43] либо с помощью пунсонов-центроидов. Для анализа изменений городской застройки используются серии разновременных карт [Gunko et al., 2021]. Большое внимание уделяется подбору данных для картографирования: используется архивная статистическая информация, результаты социологических опросов, составление когнитивных карт жителями разных возрастных групп [Przemiany..., 2012, с. 118–119]. При этом наиболее ценным источником информации об изменении структуры городской застройки выступают *данные дистанционного зондирования (ДДЗ)* – спутниковые снимки сверхвысокого пространственного разрешения – благодаря пространственному, временному охватам и детальности [Gunko et al., 2021].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задача крупномасштабного картографирования городской застройки подразумевает необходимость создания основы, включающей все жилые здания исследуемой территории, и подготовки набора характеризующих их атрибутов. На основе опыта крупномасштабного картографирования демографических процессов в городах были выделены следующие показатели:

- год постройки жилых зданий города [Przemiany..., 2012, с. 19–43];
- время сноса жилых зданий [Gunko et al., 2021];
- площадь селитебной зоны [Gunko et al., 2021];
- расположение площадок предприятий [Constantinescu, 2012].

В работах по изучению городского сжатия верхнесилезской агломерации для оценки плотности заселения зданий в разных частях города и выявления мест потенциального опустения жилищного фонда используется показатель площади жилых помещений, приходящейся на одного человека [Krzysztofik et al., 2011]. Также уделено внимание удаленности зданий от центра города для иллюстрации процесса, берущего начало в периферии.

Таким образом, предлагается следующий набор показателей для крупномасштабного картографирования, которые тесно связаны с процессом городского сжатия:

- *собственные показатели застройки:* возраст и этажность жилищного фонда;
- *показатели размещения застройки:* удаленность зданий от центра города и градообразующих предприятий, расположение зданий внутри селитебной зоны;
- *показатели негативных инфраструктурных и демографических тенденций:* год (период) сноса жилых зданий, удельная жилая площадь, зоны сноса и застройки в разные периоды времени.

Важной особенностью картографирования жилищного фонда в динамике становится необхо-

димость привлечения генетически разных типов данных. Для последующего картографирования предлагается использовать нижеописанные источники информации.

Данные дистанционного зондирования сверхвысокого пространственного разрешения являются основным материалом для изучения городского пространства. Высокая детальность для дешифрирования и временной охват фонда снимков делают возможным выявление по ним пространственных закономерностей сноса и нового строительства (рис. 1).

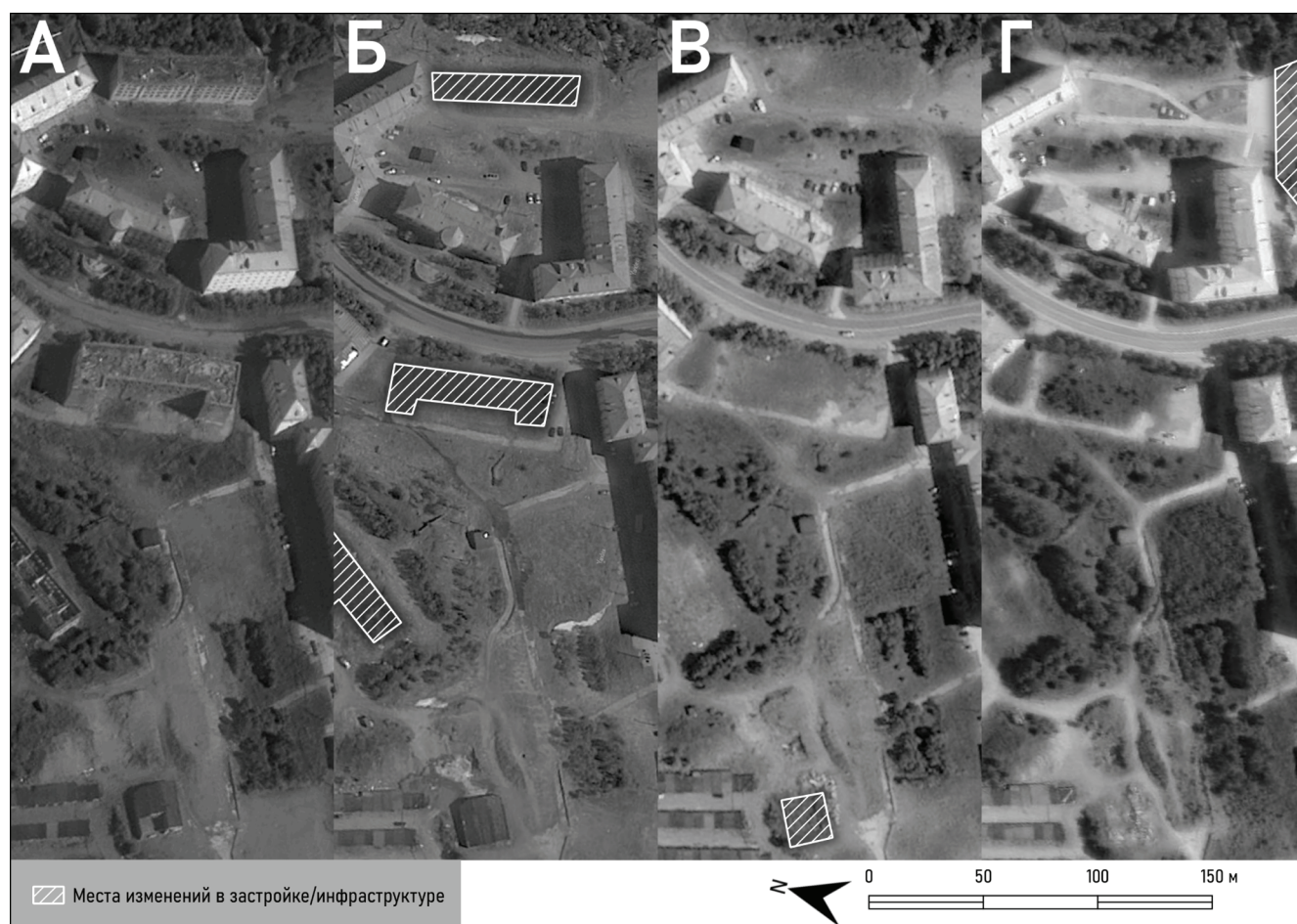


Рис. 1. Изменение структуры застройки мкрорайона 25-й км, прослеживаемое по ДДЗ:
А – WorldView-2, 2011; Б – GeoEye-1, 2017; В – Pleiades-1, 2019; Г – WorldView-2, 2024. Коллаж П.А. Барышкина

Fig. 1. Changes in the development structure of the 25th km district, traced by remote sensing data:
А – WorldView-2, 2011; Б – GeoEye-1, 2017; В – Pleiades-1, 2019; Г – WorldView-2, 2024. Collage by P.A. Baryshkin

Исследование изменений характера застройки требует постоянства временных диапазонов между соседними датами используемых ДДЗ. Для этого целесообразно использовать рассекреченные снимки разведывательных спутников США Keyhole, один из немногих источников информации, позволяющий целостно оценить состояние жилищного фонда в советское время. Современ-

ные ДДЗ сверхвысокого пространственного разрешения позволяют выявить изменения городской инфраструктуры в постсоциалистический период. Обязательным условием работы со спутниковыми снимками является их предварительная координатная привязка.

Генеральные планы муниципальных образований позволяют изучить структуру размещения функци-

ональных зон, выделить зоны жилых кварталов и предприятий, определить перспективные территории развития городской застройки.

Портал ФГИС ТП позволяет получить актуальные генеральные планы из базы данных документов территориального планирования [ФГИС ТП, 2025]. Недостаток использования генеральных планов для выделения селитбы – быстрая потеря актуальности информации о функциональном зонировании при относительно редкой обновляемости. В соответствии со статьей 9 Градостроительного кодекса РФ генеральные планы поселений и городских округов утверждаются на срок не менее чем двадцать лет [Градостроительный..., 2025]. В качестве альтернативы выступают часто обновляемые проекты генеральных планов. Карты функционального зонирования генеральных планов также необходимо регистрировать в системе координат проекта и сохранять в формате, позволяющем проводить детальные наблюдения.

Автоматизированная информационная система публично-правовой компании «Фонд развития территорий» (АИС ППК «ФРТ») является крупной базой данных с информацией об объектах жилищного фонда [Мой дом, 2025]. Система позволяет получать оперативную информацию о жилых зданиях и их состоянии.

Недостаток набора заключается, в первую очередь, в большом количестве пропусков в данных (рис. 2). В АИС ППК «ФРТ» практически полностью отсутствует информация об индивидуальной жилищной застройке. Пространственная информация представлена исключительно адресами строений. Для дальнейшего картографирования требуется проведение геокодирования (соотнесение адресных данных объектов с их географическими координатами), например с помощью открытого инструмента *Nominatim*, работающего на адресной базе OpenStreetMap.

Векторная основа *OpenStreetMap* [OpenStreetMap, 2025] не является сама по себе источником информации о жилищном фонде. Она содержит данные о размещении объектов застройки, использование которых значительно облегчает проведение дешифрирования космических снимков: трудозатратная оцифровка строений по спутниковому изображению сводится к редактированию полигонов снесенных/построенных зданий в уже имеющемся наборе данных. Также векторная основа применяется для нанесения на карту географической основы: объектов гидрографии и дорог.

Очевидным недостатком основы *OpenStreetMap* является ее неполнота, особенно в районах индивидуальной жилищной застройки.

Полевые исследования – наиболее достоверный источник информации о современном состоянии

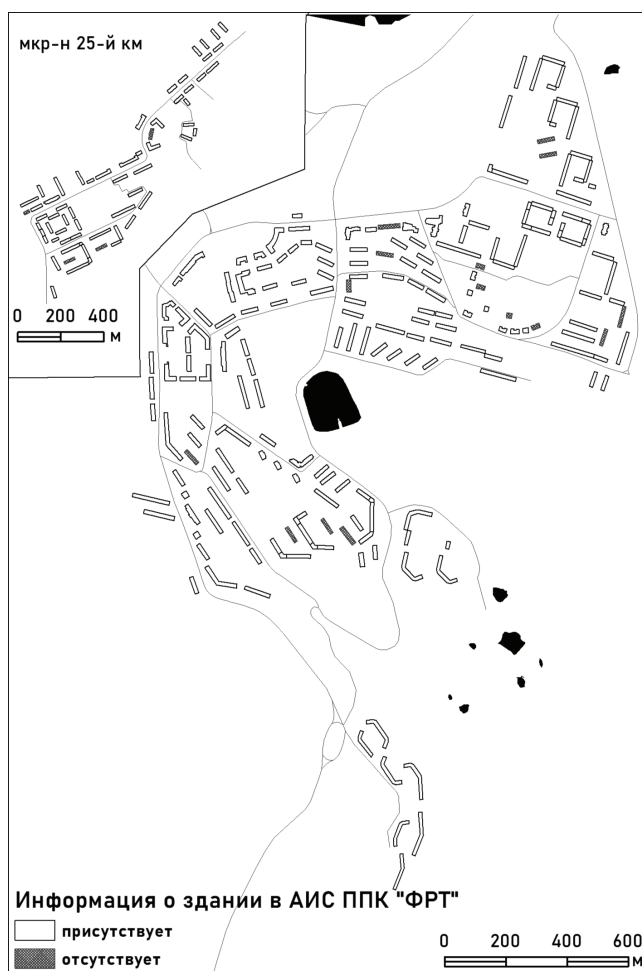


Рис. 2. Наличие пропусков в данных АИС ППК «ФРТ» на примере города Кировска. Изображены только жилые здания. Автор П.А. Барышкин

Fig. 2. Gaps in the AIS PPK “FRT” data for the town of Kirovsk. Only residential buildings are shown. Draft and design by P.A. Baryshkin

жилищного фонда, при этом наиболее дорогой с точки зрения получения, сбора и интерпретации. Проведение полевых исследований при составлении крупномасштабных карт демографических процессов в городах преследует две цели:

- получить недостающую информацию о состоянии жилищного фонда городов, отсутствующую в ранее упомянутых источниках;
- верифицировать имеющиеся данные в связи с редкой актуализацией части источников.

Предлагаются следующие способы полевого обследования городской застройки:

- проведение пешего дрейфа по территории населенного пункта;
- фотофиксация зданий, находящихся в ветхом или заброшенном состоянии, и иных строений, представляющих интерес для картографирования;
- схематическое изображение маршрута полевого обследования с указанием положения и состояния зданий, районов новой застройки и сноса;

– составление схем заселенности многоквартирных домов, если в таковых снаружи замечен факт присутствия пустующих квартир;

– интервьюирование местных жителей, старожилов населенных пунктов для получения объективной информации о городской застройке.

Для *визуализации показателей жилищного фонда* целесообразно использовать способ значков переменного цветового тона. Выяснено, что форма здания в плане не несет полезной информации для визуализации явления. Из-за того что территория исследования может быть достаточно большой по площади, а значит, картографироваться в относительно мелком масштабе, способ оказывается неудачным в силу плохой читаемости полигонов.

Границы ступеней цветовой шкалы возраста сопоставляются с периодами правления политических лидеров. Аналогичное решение выбрано при создании карт возраста зданий городов России [Россия больших городов..., 2025]. Такая градация оказывается репрезентативной для населенных пунктов, долгое время существовавших в условиях советских градостроительных стратегий, тесно связанных с внутренней политикой государства.

Визуализация показателя удельной жилой площади для кварталов застройки. При изучении характера депопуляции важно определить пространственные различия в удельной жилой площади, т. е. жилой площади в многоквартирных домах, приходящейся на одного человека. Явление локализовано в пределах фрагментов городской застройки, поэтому для его отображения целесообразно использовать способ уточненной картограммы, где в качестве единиц территориального деления принимаются городские кварталы. Кварталы выделяются на основе карт функционального зонирования генеральных планов. Расчет кумулятивных значений жилой площади и численности населения на каждый квартал проводится в ГИС-пакете на основе данных АИС ППК «ФРТ».

Визуализация поля удаленности от центра города. Центр города – это часть его территории, где сосредоточено наибольшее количество общественных зданий и сооружений поселения. Он выполняет ключевую роль в формировании структуры населенного пункта, поэтому интересен в рамках изучения городского сжатия. Основываясь на плотностных алгоритмах обнаружения центра города [Zhu, Sun, 2017], предлагается использовать кластеризацию *DBSCAN*, результаты которой применять для расчета удаленности. Для этого проводится вычисление расстояний на основе сетевой модели дорог.

Визуализация зон застройки и сноса. Отображение изменений городской территории проводится в соответствии с генеральным планом либо путем обнаружения уменьшения или увеличения селитебной зоны по разновременным снимкам.

Таким образом, алгоритм расчета и визуализации исследуемых показателей технологически основан на:

– дешифрировании разновременных спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения;

– векторизации имеющихся растровых карт функционального зонирования генеральных планов населенных пунктов;

– использовании методов пространственного анализа (плотностная кластеризация точечных паттернов, расчет по сетевой модели и т. д.).

Анализ характера городского сжатия по картам изменения и современного состояния структуры жилищного фонда проводится путем визуального изучения пространственного распределения проиллюстрированных показателей и применения графоаналитических приемов (картометрии). Следует отметить следующие критерии составленных карт, в соответствии с которыми можно утверждать, что они удовлетворяют целям работы:

– иллюстрируют структуру жилищного фонда в фокусе демографических процессов, имеющих место в населенном пункте;

– показывают пространственную дифференциацию структуры и динамики жилищного фонда.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведено крупномасштабное картографирование городского сжатия в Кировске (Мурманская область), моногорода за Северным полярным кругом, имеющим горнодобывающую специализацию. В населенном пункте наблюдается устойчивая депопуляция с 1992 г. За 33 года Кировск покинуло 19,6 тыс. чел. [Всесоюзная..., 1989], на данный момент в городе проживает 23,9 тыс. чел. [Численность..., 2024]. Основной причиной демографических проблем стало ухудшение экономической ситуации в условиях сурового климата.

Особый интерес представляет микрорайон 25-й км (Кукисвумчорр), который находится на значительном транспортном удалении от центральной части Кировска. Территория испытывает структурный кризис, последствия которого выражены в стремительной депопуляции, опустении и сносе зданий одновременно с закреплённой в генеральном плане перспективой на экстенсивный рост площади застройки.

Картографирование проведено по данным различных источников, сводная характеристика которых представлена в таблице. Далее подробно описаны наборы данных и специфика их сбора и интерпретации на территорию интереса.

В охвате застройки Кировска получено четыре космических снимка сверхвысокого пространственного разрешения, которые позволили проследить изменения в структуре жилищного фонда с 2011 по 2020 г. (GeoEye-1, WorldView-2, Pleiades-1). Такой набор ДДЗ оказался исчерпывающим для территории, что обусловлено в том числе круглогодичным плотным облачным покрытием Мурманской об-

ласти. Тем не менее благодаря высокой четкости и контрастности изображений, жилищный фонд Кировска уверенно дешифрируется на каждом из разновременных снимков.

Бедность набора ДДЗ нивелировалась полнотой статистической информации о жилищном фонде города. Данные АИС ППК «ФРТ» об этажности, жилой площади и численности населения в зданиях получены для большей части строений населенного пункта (93% от всех 274 жилых домов в городе). Большое количество статистических данных обусловлено отсутствием частной застройки в Кировске, информация о которой является конфиденциальной.

Таблица

Сравнительная характеристика источников данных для крупномасштабного картографирования жилищного фонда Кировска (Мурманская область)

Тип данных	Состав набора данных на г. Кировск	Применение	Преимущества	Недостатки	Примечания
Данные дистанционного зондирования	Четыре спутниковых снимка GeoEye-1, WorldView-2, Pleiades-1 (2011–2020)	Отслеживание изменений структуры жилищного фонда (снос, новое строительство)	Временной охват (при наличии Keyhole); пространственный охват; наглядность изменений застройки	Временное покрытие; зависимость от облачности	
Генеральные планы	Карты Генерального плана Кировска	Определение зон строительства, сноса; анализ соответствия планов реальности	Достоверность (государственная база данных); Сравнение перспектив с реальностью	Медленная актуализация (срок действия до 20 лет)	На Кировск не обновлялся с 2012 г.
АИС ППК «ФРТ»	Данные о жилой площади, этажности, численности населения в зданиях	Расчет удельной жилой площади; классификация по этажности и году постройки	Оперативность; полнота (для многоквартирных зданий)	Отсутствие данных о частной застройке, необходимость геокодирования адресов	Геокодирование проведено через Nominatim
OpenStreetMap	Векторные слои застройки, дорог, гидрографии	Упрощение дешифрирования застройки; географическая основа карты	Открытость данных; простота интерпретации	Неполнота данных (кварталы частной застройки); необходимость контроля достоверности	
Полевые исследования	Результаты пеших обследований, фотофиксации и опроса, схемы заселенности	Верификация данных; оценка состояния зданий; выявление пустующих квартир	Достоверность; актуальность; возможность исследования динамики (несколько полевых выездов)	Дороговизна; неполнота (территориальная)	

Низкая актуальность генерального плана (2012 г.) является одной из важных проблем картографирования из-за возможного недостоверного выделения современной зоны застройки. Тем не

менее документ позволил определить границы зон перспективного развития и сноса, что важно для определения факта проведения в них строительных работ спустя 13 лет после публикации документа.

В целях верификации набора данных в Кировске с 2022 по 2025 г. авторами проведен ряд полевых исследований. В камеральных условиях определены границы кварталов, внутри каждого из которых в полевых условиях оценивалось состояние зданий путем составления схем их заселенности. Был проведен массовый социологический опрос 87 жителей

микрорайона 25-й км: заданы вопросы о наличии в зданиях опрошенных пустующих квартир и включении их домов в аварийный фонд.

На основе верифицированных данных из различных источников были составлены карты состояния (рис. 3) и изменения структуры жилищного фонда Кировска (рис. 4).

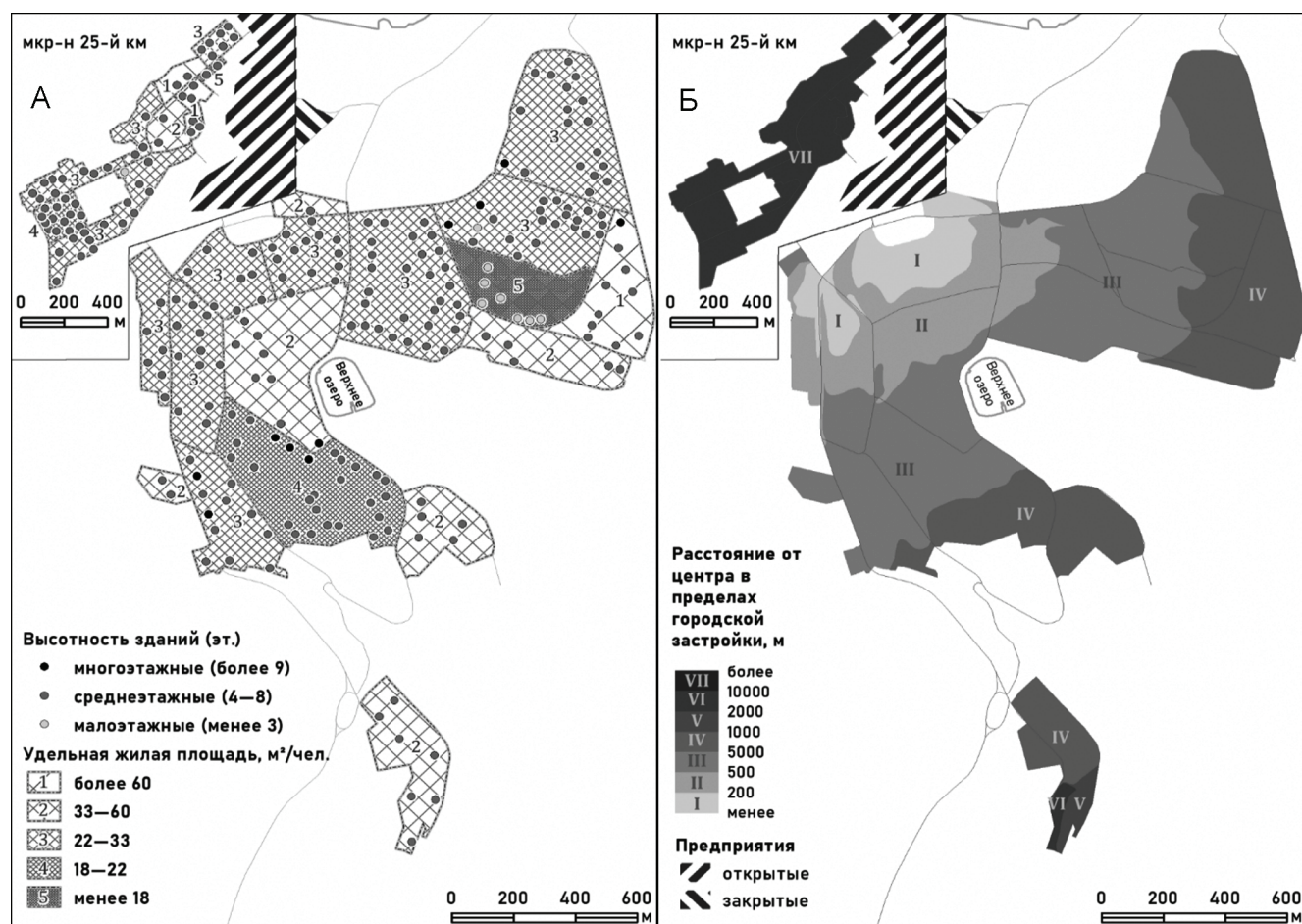


Рис. 3. Состояние жилищного фонда Кировска (А), отдаленность городских территорий относительно центра и расположение градообразующих предприятий (Б). Автор П.А. Барышкин

Fig. 3. The state of housing facilities in the town of Kirovsk (A); the remoteness of the territory from the center and the location of the town-forming enterprises (Б). Draft and design by P.A. Baryshkin

В городе подавляющее число зданий жилищного фонда – многоквартирные. Это объясняет сложность прослеживания динамики структуры жилищного фонда по снимкам: с 1991 г. в городе было снесено пять зданий в микрорайоне 25-й км, возведено одно (см. рис. 4). При этом городское население за 30 лет заметно сократилось. Показатель удельной жилой площади (см. рис. 3), а также полевое исследование населенного пункта позволили оценить долю пустующих квартир в домах, а значит, и пространственную структуру городского сжатия.

Наблюдается резкое опустение жилых зданий в окрестностях площадок градообразующего пред-

приятия. Население концентрируется в историческом центре, вытянутом вдоль осевой магистрали «проспект Ленина – улица Кондрикова». Вследствие стремительного опустения жилищного фонда в микрорайоне 25-й км наблюдается самая высокая концентрация заброшенных и снесенных строений в городе. По результатам анализа количественных показателей на картах предложен ряд причин быстрого оттока населения из микрорайона. Он связан как с общими экономическими проблемами моногорода и региона, так и с низкой аттрактивностью существующего фонда. Под аттрактивностью в данном случае подразумевается совокупность фак-

торов, таких как удаленность от центра города, устаревание панельных строений 1960–1970-х гг., состояние окружения (соседствующие заброшенные здания).

Городское сжатие в Кировске приобретает «кольцующий» характер, т. е. опустевают преимущественно удаленные от центра жилые здания [Pallagst et al., 2009]. Экстенсивный рост селитьбы, заложенный в генеральном плане, не происходит в реально-

сти и при сохранении современных экономических и демографических условий невозможен в будущем. Обозначенные в генеральном плане перспективные зоны развития («гринфилды») в течение 13 лет не были освоены, тогда как староосвоенные территории центра города и микрорайон 25-й км («браунфилды») испытывают негативные изменения структуры застройки: снос (в меньшей степени) и частичное обезлюдение (в большей степени).

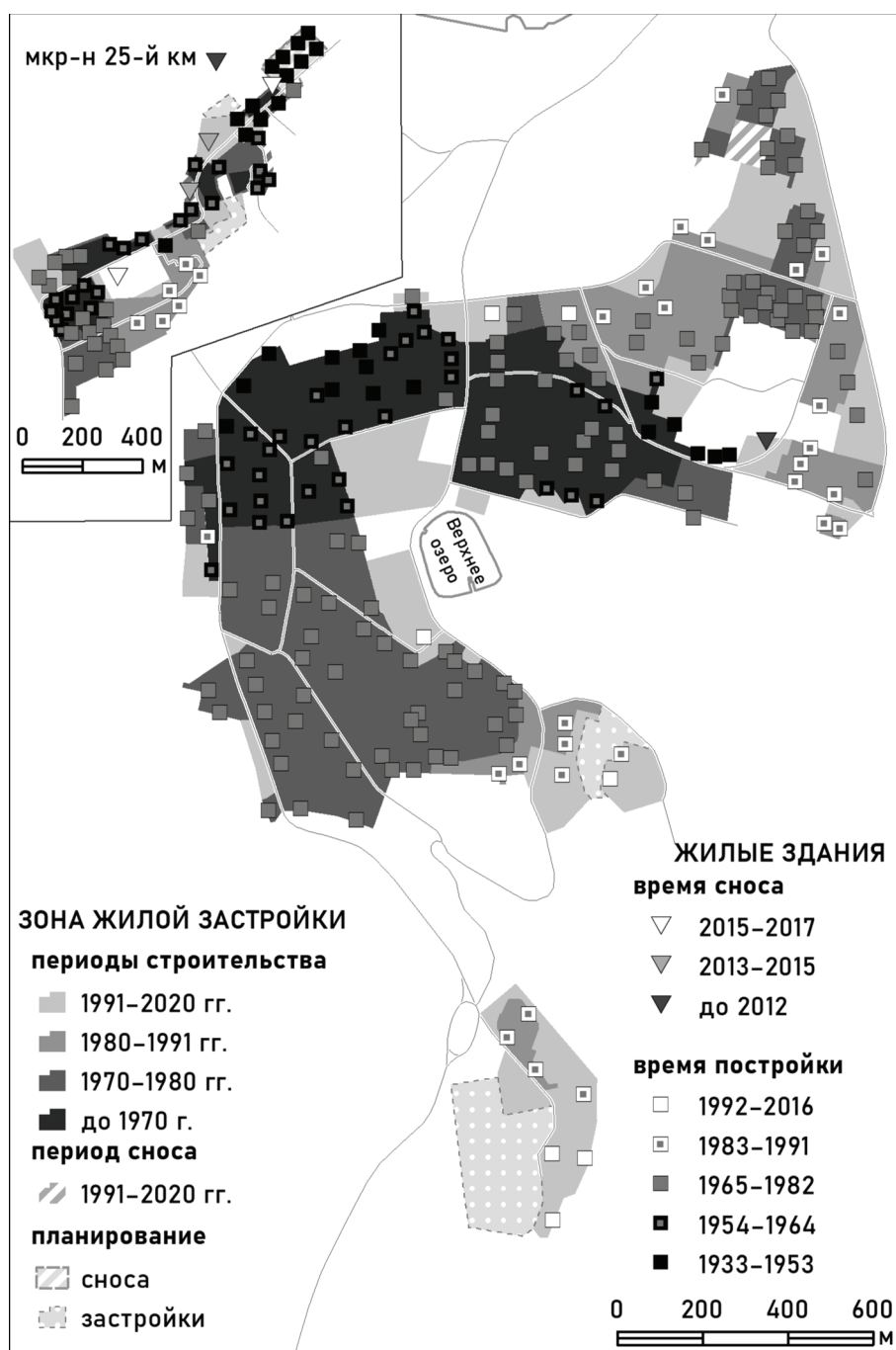


Рис. 4. Изменение структуры жилищного фонда Кировска. Автор П.А. Барышкин

Fig. 4. Changes in the spatial structure of the housing stock in the town of Kirovsk. Draft and design by P.A. Baryshkin

Полевое исследование подтвердило наличие выявленной по картам слабой тенденции к опустению квартир во всем пространстве центра города. В среднем в Кировске не заселено 5–7% от общего числа квартир, однако доля пустующего жилищного фонда увеличивается при удалении от осевой магистрали. В зданиях вдоль нее не заселено только 3–7% квартир, в более отдаленных от дороги районах – 10–15%. Картограмма удельной жилой площади (см. рис. 3) показывает схожую закономерность нарастающего опустения зданий при движении от магистрали. Доля пустующих квартир в зданиях микрорайона 25-й км по полевым наблюдениям в среднем составляет 9,8%, тогда как в центре – 6,8%. Подтвержден факт, что большая часть покинутых зданий построена в период массового строительства 1960–1970-х гг. Соседствующая кирпичная застройка 1950-х гг. остается значительно более заселенной. Опрос жителей микрорайона 25-й км показал, что у 56% опрошенных в домах присутствуют пустующие квартиры. Среди 34,7% из них пустуют от 3 до 10 квартир в здании, а у 22,4% – более 10 квартир (рис. 5). Статистика совпадает с показателями картограммы удельной жилой площади, полученной в камеральных условиях, что подтверждает применимость крупномасштабного картографирования для детектирования негативных демографических процессов в городах.



Рис. 5. Результаты социологического опроса населения мкрорайона 25-й км. Статистика пустующих квартир в домах. Март 2022. Сбор и интерпретация П.А. Барышкина

Fig. 5. Results of a sociological survey of the population of the 25th km district. Statistics of non-occupied apartments in buildings. March 2022. Collection and interpretation by P.A. Baryshkin

Тем не менее авторы полагают, что кейс Кировска может быть нерепрезентативным для изучения процесса городского сжатия в населенных пунктах с преобладанием частной застройки. Проблемы получения статистики по зданиям в частном секторе и плотного временного покрытия разновременными ДДЗ являются ключевыми при картографировании. Изменения пространственной структуры застройки

Кировска изучены только в периоды между космическими съемками из-за приоритетности ДДЗ как источника информации в рамках данного алгоритма картографирования.

ВЫВОДЫ

В результате работы был составлен алгоритм крупномасштабного картографирования пространственных изменений жилищного фонда, включающий следующие этапы:

1. Сбор данных различных источников.
2. Картографирование структуры городской застройки для временных срезов, определенных датами космической съемки.
3. Обогащение семантической информацией объектов застройки, полученной из статистических источников.
4. Расчет транспортной доступности, характеристик расселения по кварталам с помощью приемов пространственного анализа.
5. Полевые исследования: верификация полученных данных, заполнение недостающих данных.
6. Финальное оформление карт пространственной структуры жилищного фонда и ее изменений.

Разработанный алгоритм картографирования был апробирован на примере Кировска Мурманской области. В ходе апробации показано, что предложенные аспекты состояния многоквартирного жилищного фонда: собственные показатели застройки, размещение зданий и инфраструктурные тенденции достаточно многогранно характеризуют процесс городского сжатия. Каждый из источников данных в достаточной степени, но не абсолютно, удовлетворяет требованиям картографирования; для создания полноценной картины требуются полевые исследования с верификацией по ключевым участкам.

Составленные крупномасштабные картографические материалы позволили выявить наличие городского сжатия и специфику распространения процесса в пределах жилой застройки Кировска:

- выявлен «кольцуемый» характер явления: стремительно опустевают городские периферии;
- дана количественная оценка пустующему жилью: от 3–7% в центре, до 10–15% на окраинах, в отдаленном микрорайоне 25-й км в более чем половине домов есть пустующие квартиры;
- наиболее пустующим оказывается сектор панельного жилья, более ранняя кирпичная застройка остается востребованной.

Выявлено несоответствие цели экстенсивного роста города, заложенного в генеральном плане, и реальности; очевидно, что в ближайшем будущем этот рост невозможен.

Благодарности. Авторы выражают благодарность ЦКП УНО «Геопортал с оперативным наполнением и комплексом обучения и обработки информации космических снимков» и лично заведующему лаборатории аэрокосмических методов географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова канд. геогр. наук М.В. Зимину за предоставленные данные спутниковой съемки, а также учащимся Школы юного географа при географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова за помощь в сборе полевых данных. Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы 121051400061-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барышкин П.А., Алексеенко Н.А., Медведев А.А. и др. Картографирование структуры жилищного фонда моногородов в целях анализа городского сжатия // Геодезия и картография. 2025. № 1. С. 30–40. DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1015-1-30-40.
- Замятина Н.Ю., Гончаров Р.В. Арктическая урбанизация: феномен и сравнительный анализ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 4. С. 69–82.
- Batunova E., Gunko M. Urban shrinkage: an unspoken challenge of spatial planning in Russian small and medium-sized cities, *European Planning Studies*, 2018, vol. 26, p. 1580–1597, DOI: 10.1080/09654313.2018.1484891.
- Constantinescu I. Shrinking Cities in Romania: Former Mining Cities in Valea Jiului, *Built Environment*, 2012, vol. 38, № 2, p. 214–228, DOI: 10.2148/benv.38.2.214.
- Gunko M., Batunova E., Medvedev A. Rethinking urban form in a shrinking Arctic city (Repenser la forme urbaine dans une ville arctique en décroissance), *Espace populations sociétés*, 2021, DOI: 10.4000/eps.10630.
- Haase A., Rink D., Grossman K. Shrinking Cities in Post-Socialist Europe: What Can We Learn From Their Analysis for Theory Building Today? *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 2016, vol. 98, no. 4, p. 305–319, DOI: 10.1111/geob.12106.
- Krzysztofik R., Runge J., Kantor-Pietraga I. Paths of Shrinkage in the Katowice Conurbation. Case Studies of Bytom and Sosnowiec Cities, Sosnowiec, The Jacek Skalmierski Computer Laboratory, Gliwice, 2011.
- Lang T. Shrinkage, Metropolization and Peripheralization in East Germany, *European Planning Studies*, 2012, no. 20, p. 1747–1754, DOI: 10.1080/09654313.2012.713336.
- Martinez-Fernandez C., Audirac I., Fol S. et al. Shrinking Cities: Urban Challenges of Globalization, *International Journal of Urban and Regional Research*, 2012, vol. 36, no. 2, p. 213–225, DOI: 10.1111/j.1468-2427.2011.01092.x.
- Pallagst K., Schwarz T., Popper F. et al. Planning Shrinking Cities, *Progress in Planning*, 2009, vol. 72, no. 4, p. 1–37.
- Przemiany przestrzenne oraz społeczne Bytomia i jego centrum: Studia i materiały / Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego; red. I. Kantor-Pietraga, R. Machowski. Sosnowiec, Uniwersytet Śląskiego, 2012. 161 p.
- Schilling J., Logan J. Greening the Rust Belt: A Green Infrastructure Model for Right Sizing America's Shrinking Cities, *Journal of the American Planning Association*, 2008, vol. 74, no. 4, p. 451–466, DOI: 10.1080/01944360802354956.
- Siljanoska J., Korobar V., Stefanovska J. Causes, Consequences and Challenges of Shrinkage: The Case of Small Cities in a Transition Society, *Built Environment*, 2012, vol. 38, № 2, p. 244–258, DOI: 10.2148/benv.38.2.244.
- Zhu J., Sun Y. Building an Urban Spatial Structure from Urban Land Use Data: An Example Using Automated Recognition of the City Centre, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, vol. 6, no. 4, p. 122, DOI: 10.3390/ijgi6040122.
- Электронные ресурсы**
 OpenStreetMap. URL: www.openstreetmap.org (дата обращения 24.02.2025).
 Всесоюзная перепись населения 1989 г. Численность городского населения РСФСР, ее территориальных единиц, городских поселений и городских районов по полу. Демоскоп Weekly – Приложение. Справочник статистических показателей. URL: https://www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus89_reg2.php (дата обращения 24.02.2025).
 Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 26.12.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040 (дата обращения 24.02.2025).
 Мой дом. АИС ППК «ФРТ»: жилищный фонд на территории Российской Федерации. URL: <https://витрина.фрт.рф/myhouse> (дата обращения 24.02.2025).
 Россия больших городов – карта возраста домов how old is this house. Кон-Тики. URL: <https://kontikimaps.ru/hoith> (дата обращения 24.02.2025).
 ФГИС ТП: Федеральная государственная информационная система территориального планирования. URL: <https://fgisp.economy.gov.ru> (дата обращения 24.02.2025).
 Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2024 года. Статистический бюллетень. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/BUL_MO_2024.xlsx (дата обращения 24.02.2025).

Поступила в редакцию 11.03.2025

После доработки 10.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025

CHANGES OF THE TERRITORIAL STRUCTURE OF HOUSING FACILITIES IN A SINGLE-INDUSTRY TOWN (CASE STUDY OF THE TOWN OF KIROVSK, THE MURMANSK OBLAST)

P.A. Baryshkin¹, N.A. Alekseenko²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics*

¹ *Postgraduate student; e-mail: petr.baryshkin@gmail.com*

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

The article presents a methodology for large-scale mapping of settlements to study an urban shrinkage phenomenon, which becomes evident through depopulation and structural transformation of housing stock. The work is of immediate importance because the intraurban spatial differentiation of shrinkage processes is insufficiently studied, particularly for the single-industry towns. The authors aim to develop a mapping methodology integrating high resolution remote sensing data (WorldView-2, GeoEye-1, Pleiades-1), housing stock statistics (AIS PLC "FRT"), municipal master plans, the OpenStreetMap vector base, and field surveying data. The methodology includes analyzing urban development dynamics, the state of housing facilities, remoteness from city centers and core industrial enterprises, as well as data verification through sociological surveys and visual inspections of buildings.

The single-industry city of Kirovsk in the Murmansk region was selected for mapping. The mapping results revealed a "doughnut-shaped" pattern of urban shrinkage: the maximum housing vacancy was found in peripheral areas, such as the 25th km (Kukisvumchorr) district. It was found that nearly 10% of residential space in the area remains unoccupied, compared to about 7% in the city center. Key factors of depopulation include the aging housing stock, remoteness from public and cultural centers, and distance from population hubs. Data visualization confirmed a contradiction between plans for extensive development and the actual reduction of housing.

The analysis demonstrated that the proposed methodology is effective for identifying spatial patterns of urban shrinkage. However, limitations were noted, including challenges in analyzing individual housing and dependence on temporal density of satellite data coverage. The results emphasize the need to adapt territorial planning strategies to account for intraurban differentiation of demographic processes. The study contributes to the advancement of urban cartography methods by offering tools for monitoring structural crises under the depopulation processes.

Keywords: urban shrinkage, housing stock, large-scale mapping, depopulation, remote sensing, single-industry towns

Acknowledgements. The authors express their gratitude to the Center for Collective Use of the Unified Scientific Organization "Geoportal with Operational Content and Complex for Training and Processing Information from Space Images" and personally to Mikhail Viktorovich Zimin, Ph.D. in Geography, Head of the Laboratory of Aerospace Methods of the MSU Faculty of Geography, for provided satellite imagery data, as well as to the students of the School of Young Geographers at the MSU Faculty of Geography for their assistance in collecting field data. The study was carried out under the state budget theme 121051400061-9.

REFERENCES

- Baryshkin P.A., Alekseenko N.A., Medvedev A.A., Batunova E.Yu., Khropov A.G. Kartografirovaniye struktury zhilishnogo fonda monogorodov v tselyah analiza gorodskogo szhatiya [Mapping the housing stock structure of single-industry towns for the purpose of urban shrinkage analysis], *Geodesy and cartography*, 2025, no. 1, p. 30–40, DOI: 10.22389/0016-7126-2025-1015-1-30-40. (In Russian)
- Batunova E., Gunko M. Urban shrinkage: an unspoken challenge of spatial planning in Russian small and medium-sized cities, *European Planning Studies*, 2018, vol. 26, p. 1580–1597, DOI: 10.1080/09654313.2018.1484891.
- Constantinescu I. Shrinking Cities in Romania: Former Mining Cities in Valea Jiului, *Built Environment*, 2012, no. 2, vol. 38, p. 214–228, DOI: 10.2148/benv.38.2.214.
- Gunko M., Batunova E., Medvedev A. Rethinking urban form in a shrinking Arctic city (Repenser la forme urbaine dans une ville arctique en décroissance), *Espace populations sociétés*, 2021, DOI: 10.4000/eps.10630.
- Haase A., Rink D., Grossman K. Shrinking Cities in Post-Socialist Europe: What Can We Learn From Their Analysis for Theory Building Today? *Geografiska Annaler, Series B, Human Geography*, 2016, no. 98, vol. 4, p. 305–319, DOI: 10.1111/geob.12106.
- Krzysztofik R., Runge J., Kantor-Pietraga I. *Paths of Shrinkage in the Katowice Conurbation*, Case Studies of Bytom and Sosnowiec Cities, Sosnowiec: The Jacek Skalmierski Computer Laboratory, Gliwice, 2011.
- Lang T. Shrinkage, Metropolization and Peripheralization in East Germany, *European Planning Studies*, 2012, no. 20, p. 1747–1754, DOI: 10.1080/09654313.2012.713336.

- Martinez-Fernandez C., Audirac I., Fol S., Cunningham-Sabot E. Shrinking Cities: Urban Challenges of Globalization, *International Journal of Urban and Regional Research*, 2012, no. 36, vol. 2, p. 213–225, DOI: 10.1111/j.1468-2427.2011.01092.x.
- Pallagst K., Schwarz T., Popper F. et al. Planning Shrinking Cities, *Progress in Planning*, 2009, no. 72, vol. 4, p. 1–37.
- Przemiany przestrzenne oraz społeczne Bytomia i jego centrum: Studia i materiały*, Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, I. Kantor-Pietraga, R. Machowski (eds.), Sosnowiec, Uniwersytet Śląskiego, 2012, 161 p.
- Schilling J., Logan J. Greening the Rust Belt: A Green Infrastructure Model for Right Sizing America's Shrinking Cities, *Journal of the American Planning Association*, 2008, no. 74, vol. 4, p. 451–466, DOI: 10.1080/01944360802354956.
- Siljanoska J., Korobar V., Stefanovska J. Causes, Consequences and Challenges of Shrinkage: The Case of Small Cities in a Transition Society, *Built Environment*, 2012, no. 2, vol. 38, p. 244–258, DOI: 10.2148/benv.38.2.244.
- Zamyatina N.Yu., Goncharov R.V. Arkticheskaya urbanizatsiya: fenomen i sravnitelnyy analiz [Arctic urbanization: a phenomenon and a comparative analysis], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 4, p. 69–82. (In Russian)
- Zhu J., Sun Y. Building an Urban Spatial Structure from Urban Land Use Data: An Example Using Automated Recognition of the City Centre, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017, no. 6, vol. 4, p. 122, DOI: 10.3390/ijgi6040122.
- Web sources*
- All-Union Population Census of 1989. The urban population of the RSFSR, its territorial units, urban settlements and urban districts by sex. Demoscope Weekly – Supplement. Handbook of statistical indicators, URL: https://www.demoscope.ru/weekly/ssp/rus89_reg2.php (access date 24.02.2025).
- FGIS TP: Federal State Information System of Territorial Planning, URL: <https://fgistp.economy.gov.ru> (access date 24.02.2025).
- My home. AIS PPK “FRT”: housing stock in the territory of the Russian Federation, URL: <https://vitrina.frt.rf/my-house> (access date 24.02.2025).
- OpenStreetMap, URL: www.openstreetmap.org (access date 24.02.2025).
- Population of the Russian Federation by municipalities as of January 1, 2024. Statistical bulletin, URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/BUL_MO_2024.xlsx (access date 24.02.2025).
- Rossiya bol'shikh gorodov – karta vozrasta domov how old is this house, Kon-Tiki [Russia of Big Cities – Map of Age of Houses How Old is This House, Kon-Tiki], URL: <https://kontikimaps.ru/how-old/moscow> (access date 24.02.2025). (In Russian)
- Urban Development Code of the Russian Federation of 12/29/2004 No. 190-FZ (as amended on 12/26/2024) (as amended and supplemented, entered into force on 01.01.2025), URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040 (access date 24.02.2025).

Received 11.03.2025
 Revised 10.04.2025
 Accepted 20.05.2025

ПОЧВЕННЫЕ КАРТЫ ГОРОДОВ (ОБЗОР ПО ГОРОДАМ РОССИИ)

М.И. Герасимова¹, М.Д. Богданова²

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв*

¹ *Проф., д-р биол. наук; e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com*

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

Почвенные карты городов как новое направление в географии и картографии почв различаются содержанием (представлением почв) и методикой составления. В данном обзоре проанализированы 23 карты 18 городов РФ, опубликованные в журнальных статьях, монографиях, диссертациях, атласах городов. Исторические, социальные и экономические факторы оказались более существенными для формирования городских почв, чем природные. Составление почвенных карт городов основано на планах городов, космических снимках, картах природных почв, геологических и четвертичных отложений, рельефа, а также полевых наблюдениях – описаниях почвенных разрезов. Анализ карт проводился по следующим направлениям: содержание карты, количество единиц легенды, организация легенды как отражение концепции карты. Преобладающая часть карт составлена в классификации М.Н. Строгановой, ориентированной на функциональные зоны города, на более поздних картах введены элементы классификации почв России. Структурированные легенды карт отражают авторские концепции в отношении организации почвенного покрова города: приоритет природных факторов и модификации природных почв или приоритет антропогенных факторов – функциональных зон. Группировка почв в легенде по функциональным зонам города различается по составу функциональных зон и по детальности их почвенного содержания. Есть опыт составления карт в формате теории структур почвенного покрова. Проведенный анализ почвенных карт городов России показал их значительное разнообразие в отношении содержания, масштаба, способов изображения, а также тенденцию к усложнению содержания со временем, т. е. повышению информативности, систематизации (выявлению) пространственных закономерностей и уточнению картографических единиц с использованием современных методов. Рассмотрены способы картографического изображения городских почв и структур почвенного покрова.

Ключевые слова: городские почвы, классификация, горизонт «урбик», структура легенды, почвенный покров, урбопедагокомбинации

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.2

ВВЕДЕНИЕ

Карты почвенного покрова городов появились в отечественных публикациях в конце XX – начале XXI в.; к настоящему времени известны около 20 карт городов России, составленные в разных масштабах от 1 : 200 000 до 1 : 20 000. Первая почвенная карта была составлена для части города Боттроп в Германии в 1951 г.; в 1963 г. почвы и грунты Москвы впервые изучались Л.Т. Земляничником [Lehman, Stahr, 2007]. Содержание почвенных карт городов зависит от размера города, степени изученности почв и их разнообразия, используемой классификации, в меньшей степени от природных условий города, а также от масштаба карты.

Как новое направление в географии почв картографирование почв городов встретилось с несколькими проблемами: различиями в подходах к систематике и диагностике городских почв, сомнениями в том, являются ли городские почвы почвами вообще и как их отделить от техногенных поверхност-

ных образований (ТПО [Тонконогов, 2001]). Неясны были способы представления ареалов городских почв на карте, выявленные методами, отличными от традиционных методов почвенной съемки, а также интерпретации дистанционных материалов.

Обычно почвенные карты городов публикуются как отдельные картографические произведения в разных изданиях. Почвенные карты, рассматриваемые в статье, составлены чаще всего на территории городских округов в рамках административных границ, реже – городских агломераций, иногда отдельных частей города.

В задачи статьи входит представление и анализ многочисленных пока материалов по картографированию почв городов или их отдельных частей в отечественных публикациях в последние четверть века.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа были использованы 23 почвенные карты 18 городов РФ, опубликованные в журналь-

ных статьях, монографиях, диссертациях, комплексных атласах городов (табл. 1). Все карты весьма разнородны по многим параметрам. Города существенно различаются размерами, численностью населения, историей и возрастом, экономической специализацией и, соответственно, интенсивностью и характером антропогенных воздействий на почвенный покров. Среди рассмотренных в статье городов, пять имеют численность населения менее 100 тыс. человек, в восьми городах проживает от 100 тыс. до 1 млн человек; городов-миллионников, имеющих почвенные карты – 6 (из 16 в стране). Рассматриваемые города находятся в разных природных зонах – от таежно-лесной до Прикаспийской полупустыни. Основной массив проанализированных карт относится к XXI в. Несоответствие количества почвенных карт и городов (23 и 18) объясняется тем, что по некоторым городам (и районам в пределах городов) были составлены отдельные карты. Так, для Волгограда есть три карты (две всего города и одного района), почвы Москвы представлены в двух атласах города и отдельно имеется карта Восточного административного округа (ВАО), почвы Ростова-на-Дону – двумя картами города, составленными в разное время.

Собранные нами почвенные карты городов анализировались по следующим направлениям: содержание карты, оцениваемое по показанным на карте почвам, количеству единиц легенды и организации легенды как отражения концепции карты. В некоторой степени, концепция отражалась используемой почвенной классификацией как природных, так и городских почв, и соотношением природных и антропогенных почв, изменявшимся в сторону последних за четверть века. Анализировались критерии выделения картографических единиц, в частности, количество и таксономический уровень почв в них, детальность представления почвенного покрова и закономерностей его строения. Результаты обзора могут быть полезны для дальнейших работ в области картографирования почв городов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Карты существенно различаются масштабом, детальностью, информативностью, методикой составления, используемой классификацией, авторскими подходами, назначением и форматом публикации. Составление почвенных карт городов проводилось на основе планов городов, космических снимков, тематических карт природных почв, геологических и четвертичных отложений, рельефа, а также «полевых» наблюдений – описаний почвенных разрезов. Планы городов использовались для выделения функциональных зон, и

значительная доля рассматриваемых карт ориентирована в пространственном отношении на функциональные зоны. Некоторые карты называются «схематическими», содержат сильно обобщенную информацию и, скорее, иллюстрируют подходы составителей к картографированию. Другие карты отличаются детальностью информации, широким использованием полевых и дистанционных материалов. Наиболее подробна и информативна почвенная карта Санкт-Петербурга.

Содержание почвенных карт включает прежде всего объекты картографирования – почвы, измененные городской средой в большей или меньшей степени. На пяти картах (Барнаул, Дзержинск, Иркутск, Якутск, Орско-Новотроицкий промузел) показаны только природные почвы, называемые как по Классификации почв СССР [Классификация..., 1977], так и по Классификации почв России [Классификация..., 2004; Полевой..., 2008], что странно для достаточно крупных городов со многими промышленными предприятиями. Противоположная картина имеет место на схематической карте города Волжского [Бармин и др., 2012] исключительно с антропогенными почвами; на карте представлены ареалы пяти вариантов «антропоземов», по одной почве в каждом ареале, и они выделены в соответствии с классификацией М.Н. Строгановой [Строганова и др., 1997; Строганова, 1998].

Большинство карт содержит как природные почвы, так и антропогенные. Эти карты представляют наибольший интерес для анализа, поскольку антропогенные почвы, в первую очередь городские, показаны по-разному, в разных классификационных системах, отчасти определяющими организацию их легенд.

Классификация и диагностика городских почв в России представлена двумя направлениями. Более известное и раннее – классификация М.Н. Строгановой [1998], основанная преимущественно на факторах почвообразования, реализуемых в приуроченности почв к функциональным зонам – это индустриземы и интруземы (промышленные предприятия и автозаправки), рекреаземы (места отдыха, т. е. городские парки и лесопарки), некроземы (кладбища), культуроземы (ботанические сады, клумбы), реплантоземы (почвы с нанесенным верхним плодородным слоем), экраноземы (запечатанные почвы под асфальтом и другими дорожными покрытиями), урбаноземы. Последние выделены М.Н. Строгановой не только за то, что они представляют собой собирательный, или центральный образ городской почвы, в котором сочетаются основные результаты воздействий на почвы городской среды, но и за наличие в них особого горизонта – *урбик*.

Таблица 1

Почвенные карты городов и их характеристики

Почвы	Принципы организации легенды	Города	Легенда			Используемая классификация	Авторы / Источники
			Кол-во единиц	Содержание единицы	Дополнительные элементы		
Природные	–	Барнаул	6	Сочетания и вариации почв	Гран. состав	1977*	[Барнаул, 2007]
		Дзержинск	4	1 почва	–	1977	[Соткина и др., 2017]
		Иркутск	13	1 почва	–	2004**	[Атлас..., 2011]
		Орско-Новотроицкий промузел	14	1 почва	Гран.состав, рельеф, п/обр.породы	1977	[Каверина, 2007]
		Якутск	10	Комбинации почв	Доля участия в ПП	1977	[Якутск, 1992]
Антропогенные	–	Волжский	5	1 почва	–	[Строганова, 1998]	[Бармин и др., 2012]
		Астрахань	6	1 почва	–	[Строганова, 1998]	[Синцов и др., 2010, 2015]
Природные и антропогенные	Перечень почв – природных и антропогенных – без разделения	Волгоград (Ворошиловский р-н)	10	1 почва	–	[Строганова, 1998]	[Кулик и др., 2015]
		Воронеж	16	Комбинации почв	Почвообразующие породы	[Строганова, 1998]	[Середа, Куропат, 2019]
		Котово (Волгогр. обл.)	9	1 почва	–	[Строганова, 1998]	[Гордиенко, Манаенков, 2018]
		Курск	11	1 почва	–	[Строганова, 1998]	[Праведников, Неведров, 2021]
		ВАО Москвы	12	Комбинации почв	–	[Строганова, 1998]	[Касимов и др., 2016]
		Ростов-на-Дону	14	Комбинации почв	Почвообразующие породы, доля запечатанных почв	[Прокофьева и др., 2014]	[Горбов, 2018]
		Легенды структурированные					
Разделение почв на природные, нарушенные, антропогенные		Биробиджан	23	Комбинации почв	–	[Строганова, 1998]	[Калманова, Матюшкина, 2013]

Почвы	Принципы организации легенды	Города	Легенда			Используемая классификация	Авторы / Источники
			Кол-во ед.	Содержание единицы	Дополнительные элементы		
Природные и антропогенные	Разделение почв на природные, нарушенные, антропогенные	С-Петербург	55	Комбинации почв	Структуры ПП	[Прокофьева и др., 2014]	[Апарин, Сухачева, 2014]
		Саратов	13	Комбинации почв	–	[Строганова, 1998]	[Макаров и др., 2012; Учебно-краеведческий..., 2013]
	Рельеф, породы	Москва	15	Комбинации почв	Почвообразующие породы	[Строганова, 1998]	[Большой атлас Москвы, 2012]
	Функциональные зоны	Волгоград	9	Комбинации почв	–	[Строганова, 1998; Прокофьева и др., 2014]	[Гордиенко и др., 2019]
		Ярославль	7	Типы почвенных профилей	–	–	[Груздев, 1991]
	Природные и антропогенные	Ростов-на-Дону	18	Комбинации почв	Почвообразующие породы, доля запечатанных почв	[Прокофьева и др., 2014]	[Горбов, 2002]
		Москва	15	Комбинации почв	Почвообразующие породы	[Строганова, 1998]	[Строганова и др., 1998; Экологический..., 2000]
	Урбодосто-комплексы (функциональные зоны и п/обр. породы)	Пермь	13	Комбинации почв	–	[Прокофьева и др., 2014]	[Шестаков и др., 2014]
	Структуры ПП	Волгоград	25	Комбинации почв	–	[Прокофьева и др., 2014]	[Гордиенко, 2025]

Примечания. *Классификация и диагностика почв СССР, 1977.
 **Классификация и диагностика почв России, 2004.

Второе направление – разделение почв по их свойствам, прежде всего по строению профиля, выраженное в наличии диагностических горизонтов, следует принципам Классификации почв России [2004, 2008] и уточняющим ее более поздним публикациям [Прокофьева и др., 2014]. Соответственно, горизонту *урбик* придан статус диагностического в следующей формулировке: **UR – урбик (городской)¹ горизонт** (общая характеристика) – синлитогенный диагностический горизонт: постепенно образуется за счет привнесения различных субстратов на дневную поверхность в условиях городских и сельских поселений. Имеет чаще всего буровато-серые тона окраски. Содержит более 10% артефактов (преимущественно строительный и бытовой мусор), часто опесчанен и/или каменист. Химические свойства сильно варьируют и оцениваются по отношению к природным аналогам; как правило, имеет нейтральную или щелочную реакцию среды, часто вскипает от HCl. Содержание индивидуальных химических загрязнителей не превышает 2 ПДК. Содержание гумуса сильно варьирует, а его состав отражает зональные условия.

Далее в определении приводятся относительно строгие количественные диагностические критерии: окраска по шкале Манселла, наличие артефактов (>10%), мощность ≥ 40 или ≥ 5 см, если подстилается срезанными природными субстратами или техногенными отложениями (имеются в виду плотные покрытия – асфальт, бетон, плитка), повышенные содержания форм фосфора [Хитров, Герасимова, 2021].

Почвы с горизонтом *урбик* мощностью более 40 см в соответствии с Классификацией почв России [Прокофьева и др., 2014] к *урбостратоземам* – почвам синлитогенного ствола, поскольку их образование связано с периодическим поступлением материала, преимущественно насыпного, пыли и городских артефактов, что приводит к нарастанию профиля почвы вверх, одновременно с его преобразованием городским почвообразованием. Как и урбанозем М.Н. Строгановой, урбостратозем является центральной и наиболее распространенной почвой в городской среде.

В обеих классификациях выделяются почвы, переходные к природным. При мощности горизонта *урбик* меньше полуметра и сохранении под ним срединных или нижних горизонтов исходных природных почв по аналогии с агропочвами Классификации почв России, почвы относятся к подтипам урбопочв, например урбоподзолистые, урбочерноземы. При малом влиянии городской среды, затра-

гивающим только верхние горизонты почвенного профиля, почвы называются в соответствии с классификацией почв России урбистратифицированными [Полевой..., 2008] подтипами исходных почв.

Таким образом, в формате классификации почв России почвы города как бы образуют «ряд убывания в них городских свойств»: урбостратоземы, урбопочвы, урбистратифицированные почвы. Почвы со слабым развитием профиля, например на недавно отложенных или срезанных грунтах, образуют группу почв первичного почвообразования; если успели сформироваться гумусовые или органические верхние горизонты, то почвы классифицируются в отделе органо-аккумулятивных почв с разными верхними горизонтами² на техногенных или природных грунтах. Отдельно выделяются «непочвы» – техногенные поверхностные образования (ТПО) и близкие к ним экраноземы [Прокофьева, 1998].

Преобладающая часть рассмотренных карт составлена в классификации М.Н. Строгановой [1998], ориентированной на функциональные зоны города (см. табл. 1). Кроме них, на некоторые карты введены дополнительно (урбо)агропочвы бывших пашен или существующих огородов, а также почти природные почвы лесопарков.

Как известно, *структура легенды* отражает концепцию карты. Для почвенного покрова (ПП) городов можно выделить два варианта группировки почв в легенде: простые и структурированные (рис. 1; см. табл. 1).

Легенды первой группы карт (13) имеют простой вид списка, иногда с произвольным порядком перечисления почв. К этой группе относятся карты, отражающие только природные или только антропогенные почвы, а также карты с перечнем природных и антропогенных почв без разделения. Единицы легенд содержат одну или несколько почв.

В качестве дополнительной информации в легендах содержатся сведения о гранулометрическом составе и почвообразующих породах, о почвенных сочетаниях и вариациях [Барнаул, 2007], комбинациях почв с различной долей участия в составе ПП [Якутск, 1992].

Остальные 11 карт имеют структурированные легенды, группирующие почвы и содержащие заголовки, что позволяет отразить факторы дифференциации ПП города. Здесь интересно проследить различия в авторских подходах к разделению городских почв по факторам формирования ПП. Можно выделить два основных варианта группировки почв на первом уровне: с приоритетом природных факторов, т. е. по степени антропогенной нарушенности почв или ландшафтными характеристиками, и с при-

¹ Формулировка определения горизонта «урбик» разработана в процессе online-дискуссии специалистов по городским почвам в 2013–2014 гг. [Почвоведение. 2014. № 10].

² Схемы строения профилей почв города даны в [Ананко и др., 2024].

оритетом антропогенных факторов – по функциональным зонам. Кроме того, можно отметить, что на картах со структурированной легендой, в отличие от карт первой группы, единицы легенды содержат несколько почв и больше разной информации. На трех картах (С.-Петербург, Биробиджан и Саратов; см. табл. 1) единицы легенды отражают степень сохранности/нарушенности природных почв, участия в ПП антропогенных почв и ТПО.

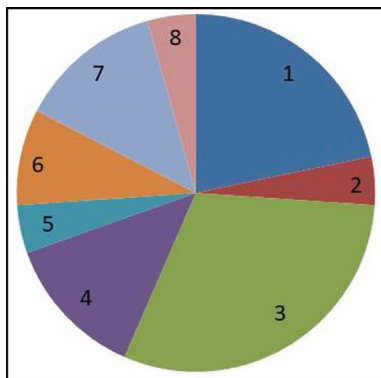


Рис. 1. Количество карт с различными типами легенд (%).

Неструктурированные легенды: 1 – природные почвы; 2 – антропогенные почвы; 3 – природные и антропогенные почвы без разделения. *Структурированные легенды – критерии группировки почв:* 4 – природные, нарушенные, антропогенные; 5 – условия рельефа, породы; 6 – функциональные зоны; 7 – функциональные зоны и рельеф, учет доли участия в ПП; 8 – структуры почвенного покрова

Fig. 1. Number of maps with different types of legends (%).

Unstructured legends: 1 – natural soils; 2 – anthropogenic soils; 3 – natural and anthropogenic soils without division. *Structured legends – soil grouping criteria:* 4 – natural, disturbed, anthropogenic; 5 – relief conditions, rocks; 6 – functional zones; 7 – functional zones and relief, accounting for the share of participation in the soil cover; 8 – soil cover structures

Рассмотрим подробнее карты этой группы, начиная с карт С.-Петербурга и Москвы.

Самая подробная и информативная карта, не только среди карт со структурированной легендой, но и всей подборки – карта С.-Петербурга масштаба 1 : 50 000 [Апарин, Сухачева, 2014]. При составлении карты были введены понятия «почвенного урбанизированного пространства» и «урбопедокомбинаций», т. е. комбинаций ареалов почв и непочвенных образований в различных соотношениях. Карта составлена на основании массива полевых данных и дешифрирования снимков. Легенда содержит более 60 единиц и состоит из нескольких разделов. Она начинается с однокомпонентных единиц с преобладающей почвой, которая может быть естественной, антропогенно преобразованной или интродуцированной. Последний термин используется только пе-

тербургскими почвоведом и означает «целенаправленное внедрение материала гумусового (торфяного, торфяно-минерального) горизонта в урбанизированную среду – является своеобразной техногенной интродукцией» [Апарин, Сухачева, 2014, с. 794]. Затем даны три группы комбинаций почв: 1) естественных, 2) естественных и антропогенно преобразованных, 3) естественных, антропогенно преобразованных почв, интродуцированных почв и непочвенных образований. Для последней группы дополнительно указаны структуры ПП в предложенных авторами терминах для городских условий. По космическим снимкам на основании анализа процентного соотношения площадей почвенных ареалов и непочвенных образований, геометрических форм почвенных контуров и характера их распределения были выделены шесть типов почвенного урбанизированного пространства: дисперсный (ареалы почв рассеяно расположены среди непочвенных образований), фрагментарный (ареалы почв различной геометрии, размером от 300 до 1000 м²), фоновый (ареалы почв занимают более 50% площади), линейный (почвенные ареалы узкой вытянутой формы чередуются с непочвенными образованиями), монопочвенный (выдел на почвенной карте совпадает с ареалом одной почвы), континуальный (абсолютно преобладают почвенные ареалы, непочвенные образования занимают менее 5% площади) (рис. 2).

Почвенная карта Москвы масштаба 1 : 200 000 (авторы Строганова и др.), имеется в двух атласах города – Экологическом [2000] и Большом [2012]. Содержание карты повторяется, легенды содержат по 15 единиц, а концепция представления почвенного покрова в легендах несколько различается, что может быть связано с назначением атласов. Более поздний Большой атлас [2012] ориентирован на популяризацию информации о природе Москвы и представляет собой краткие описания почв, условий их формирования и характер распространения (рис. 3). В обоих атласах почвы даны в классификации М.Н. Строгановой. Легенда карты в Большом атласе Москвы [2012] входит в группу структурированных легенд и организована по рельефу и породам. Единицы легенды содержат перечень антропогенных и природных почв.

Для других крупных городов, как правило, на первый уровень легенды вынесен другой фактор дифференциации почвенного покрова – функциональные зоны (ФЗ). Обычно выделяют следующие ФЗ: селитебная, промышленная, рекреационная, которые часто разделяются на несколько категорий. На картах Волгограда [Гордиенко и др., 2019] и Ярославля [Груздев, 1991] почвы сгруппированы только по функциональным зонам без дополнительных характеристик.

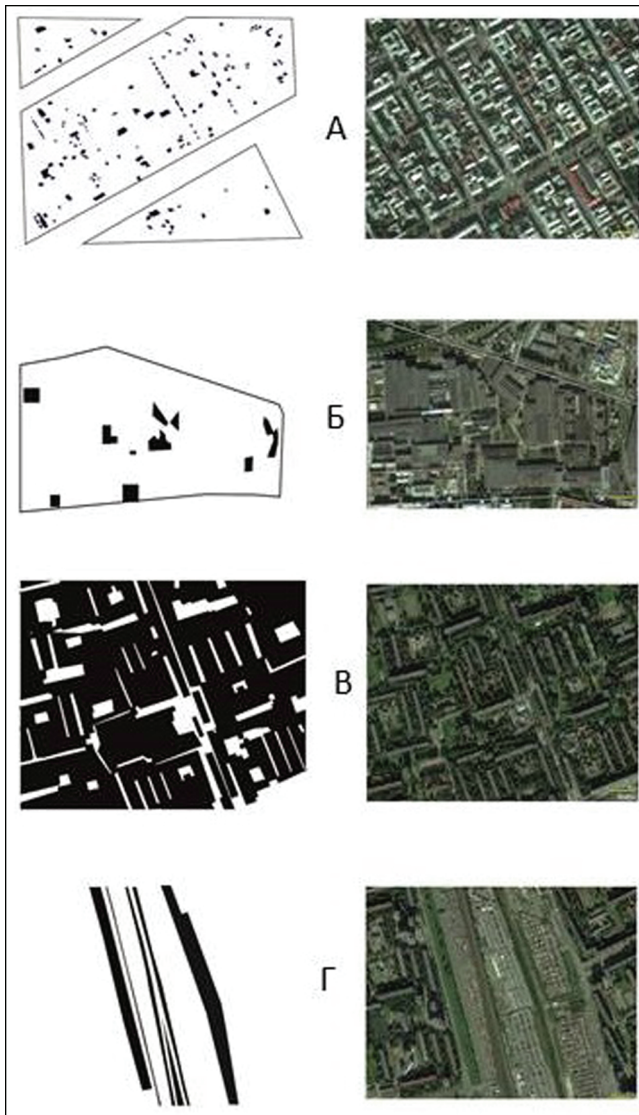


Рис. 2. Типы почвенного урбанизированного пространства: А – дисперсный; Б – фрагментарный; В – фоновый; Г – линейный. Черным цветом показаны почвенные контуры, белым цветом – непочвенные образования [Апарин, Сухачева, 2014]

Fig. 2. Types of soil urbanized space: А – dispersed; Б – fragmented; В – background; Г – linear. Soil contours are shown in black, non-soil formations in white [Aparin, Sukhacheva, 2014]

Почвенная карта Биробиджана [Калманова, Матюшина, 2013] интересна тем, что она сочетается с тремя компонентными картами сугубо «городского» содержания: ландшафтной, зеленой инфраструктуры и планировки города (обобщенными функциональными зонами), что отражает причины различий между антропогенно измененными почвами. Группировка 23 единиц легенды дается следующим образом: природные относительно неизменные почвы (что нам представляется корректным для города), природные поверхностно-нарушенные почвы, антропогенные почвы и техногенные поверхностные образования. Во вторую группу включены

почвы садово-огородных хозяйств, частного сектора и рекреационных территорий без расшифровки названий почв; в настоящее время они могли бы быть отнесены к агропочвам, проградированным и/или урбостратифицированным подтипам местных природных почв. Для почв антропогенной группы даны соотношения компонентов с разной интенсивностью нарушений и проценты от площади контура; для ТПО дается расшифровка разных ареалов, например свалки ТБО, пункты автосервиса. Несмотря на то что карта опубликована в 2013 г., ее содержание соответствует многим современным представлениям.

Трехуровневые легенды, отражающие как антропогенные, так и природные факторы, использованы на картах Ростова-на-Дону [Горбов, 2002], Перми [Шестаков и др., 2014] и Москвы [Экологический..., 2000]. На первом уровне выделены ФЗ, второй уровень отдан ландшафтными условиями – рельефу и почвообразующим породам. Каждая единица легенды содержит комбинации почв. На карте Перми это сочетание факторов выражено в предложенном авторами понятии *урбопедокомплексов*, представляющих собой комбинации почв и ТПО в пределах одной функциональной зоны на одинаковых почвообразующих породах. На фрагменте картосхемы города показаны функциональные зоны на определенных породах, а в тексте статьи дана подробная таблица, отражающая состав почв и ТПО с указанием их долей участия вПП.

Легенда карты Ростова-на-Дону [Горбов, 2002] во всех своих разделах ориентирована на отражение характерных особенностей ПП города. В пределах ФЗ выделены их части, различающиеся составом ПП; так, жилая зона разделена по плотности застройки, т. е. открытой поверхности, половина которой занята урбаноземами (урбостратоземами в современной терминологии), сочетающимися с другими почвами – сопутствующими и включенными (табл. 2). Среди них есть урбопочвы, урбаноземы, нарушенные и на культурном слое в центре, восстановленные почвы – реплантоземы на насыпных грунтах. Все это дает реальную и достаточно сложную картину ПП большого промышленного города.

Рассмотрим пространственные особенности представления почв города в отношении форм и содержания ареалов почв – *урбопедокомбинаций* и *урбопедокомплексов*. Само использование обоих терминов предполагает обращение к ПП в терминах теории *структур почвенного покрова* (СПП) В.М. Фридланда [Фридланд, 1972]. Термин «урбопедокомбинации» использовался на карте С.-Петербурга [Апарин, Сухачева, 2014], а «урбопедокомплексы» – на карте

Перми [Еремченко и др., 2016; Шестаков и др., 2014] (см. табл. 1). Если первый термин не вызывает возражений, как общий для нескольких почвенных ареалов (или ЭПА – элементарных почвенных ареалов – в теории СПП) в пределах картографической единицы, то второй вряд ли удачен для городских почв. Комплексы в теории СПП предполагают тесные связи между компонентами, т. е. между ЭПА, а также их преимущественно малые размеры. Классическими примерами комплексов служат солонцовые комплексы Прикаспийской полупусты-

ни. В урбоэкосистемах связи между отдельными почвенными разностями отсутствуют или могут иметь пока неизвестные почвоведам формы, наиболее вероятно – антропогенные. Более очевидна почвенно-геохимическая «независимость» компонентов урбопедокомбинаций, поэтому более уместны термины «мозаики» и «ташеты» или урбо(педо)мозаики [Gerasimova et al., 2024]. Тем не менее нельзя не согласиться с Е.Ю. Сухачевой [2024] о перспективности использования понятий СПП в почвенном картографировании городов.

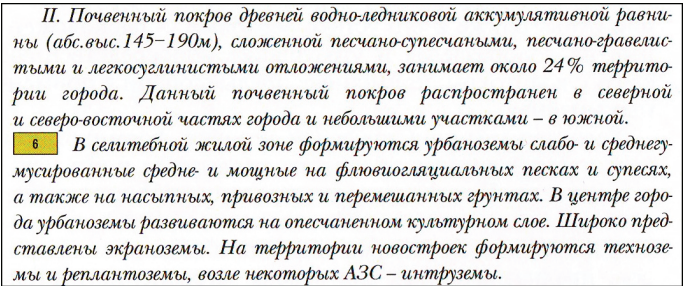


Рис. 3. Фрагмент легенды почвенной карты Москвы [Большой атлас Москвы, 2012]

Fig. 3. Fragment of the legend of the soil map of Moscow [Bolshoi Atlas Moskvyy, 2012]

Таблица 2

Фрагмент легенды почвенной карты Ростова-на-Дону [Горбов, 2002]

Зона города	Подзона города	Преобладающие почвы, >50%	Сопутствующие почвы, 10–40%	Включенные почвы, <10%
Почвенный покров межбалочного водораздела рек Дон и Темерник и их пологих склонов				
I. Жилая зона	I-1-1. Частная селитебная застройка	Урбаноземы мало- и среднегумусированные мало- и среднемощные частично экранированные (30–40%) на лессовидных суглинках	Черноземы и урбо-черноземы мало- и среднегумусированные мало- и среднемощные на лессовидных суглинках	Агроурбаноземы, черноземы сильно нарушенные, реплантоземы на насыпном грунте
	I-1-2. Плотная селитебная застройка (центр города)	Урбаноземы слабогумусированные и малогумусные мощные и среднемощные сильно экранированные (до 90%) на лессовидных суглинках и на культурном слое	Урбаноземы мало- и среднегумусированные мало- и среднемощные сильно экранированные (до 90%) на черноземах нарушенных и на насыпном грунте	Реплантоземы на насыпном грунте
	I-1-3. Многоэтажная селитебная застройка (новые районы)	Урбаноземы слабо- и среднегумусированные мало- и среднемощные экранированные (до 50%) на лессовидных суглинках	Реплантоземы на насыпном грунте	Черноземы и урбочерноземы слабо- и среднегумусированные мало- и среднемощные на лессовидных суглинках

Реализация подхода с использованием понятий СПП осуществлена на карте Волгограда [Гордиенко, 2025] в масштабе 1 : 50 000 на основе дешифрирования космических снимков и полевых материалов. Следуя принципам, предложенным петербургскими

почвоведами [Апарин, Сухачева, 2014], – анализа процентного соотношения площадей ареалов почв и ТПО в функциональных зонах, геометрических форм и характера распределения почвенных контуров – О.А. Гордиенко на карте Волгограда было

выделено шесть типов почвенного урбанизированного пространства: 1 – континуальный с преобладанием естественных почв; 2 – континуальный с преобладанием агроестественных и агрогенных почв; 3 – континуальный с преобладанием естественных и урбистратифицированных почв; 4 – фоновый; 5 – дисперсный; 6 – фрагментарный. Легенда карты Волгограда содержит 25 единиц, отражающих комбинации природных и антропогенных почв. Почвенное урбанизированное пространство вряд ли следует рассматривать как СПП города, но это один из путей к будущим решениям.

В определении городской СПП одним из вопросов может быть представление об элементарных единицах, которое различается на разных картах. Урбопедокомбинации предполагают, по-видимому, индивидуальные территориальные единицы в пределах ФЗ или их частей, другими словами – единицы легенды. С другой стороны, эти территориальные (картографические) единицы включают несколько почв, например в ФЗ малоэтажной застройки есть немного урбостратоземов и экраноземов, есть урбопочвы в междомовом пространстве, где под старыми деревьями могут сохраниться даже урбистратифицированные природные почвы, почвы огано-аккумулятивного отдела на склонах, а также проградированные почвы и реплантоземы на прежних огородах и клумбах. Следовательно, ФЗ или ее часть представляет собой мозаику в терминах СПП, при том что комбинации таких неоднородных участков в пределах ФЗ или ее части на одной и той же форме рельефа тоже могут определяться как урбомозаики.

Оформление карт. Картографические приемы.

Картографирование городских почв – направление в почвенной картографии относительно молодое, еще не сформулированы основные принципы построения легенд и правила оформления карт. Но уже можно отметить некоторые положительные и отрицательные моменты на основе проведенного анализа.

На схематичных картах используются простые списочные легенды, часто без рубрикации. Более сложные карты, составленные на большом исходном материале, имеют структурированные легенды, отражающие факторы дифференциации почвенного покрова и авторскую концепцию карты. Вынесение в заголовки легенды факторов представляет и методические подходы к картографированию почв.

Наиболее удачной, на наш взгляд, является матричная форма легенды, отражающая в двух входах две группы факторов: антропогенных и природных. Такой подход близок к предложенному И.А. Авесаломовой [1991] принципу выделения ландшафтно-функциональных комплексов в городах.

Порядок почв в легенде тоже должен соответ-

ствовать определенным правилам. Для природных почв обычно принимается зональный порядок. Для антропогенных почв правил пока не существует. Но логика легенды должна опираться на главный принцип любой легенды: от общего к частному. Вероятно, в случае антропогенных почв наиболее распространенные почвы могут сменяться к концу легенды редкими; можно располагать почвы по степени их трансформированности городской средой. Логично перечень почв или начинать с природных, потом антропогенные, или, наоборот, если антропогенные преобладают, природные можно дать после них. Требуется обсуждения вопрос о целесообразности единого порядка почв в легенде для почвенных карт всех городов.

Среди рассмотренных карт примерно половина составлена в черно-белом варианте и почвы показаны штриховым фоном. Цветные карты довольно разнообразны. При большом количестве единиц легенды предпочтительно использовать разные способы картографического изображения. Логично показывать природные почвы традиционными цветами, принятыми в отечественной почвенной картографии. Антропогенные почвы рекомендуется показывать яркими контрастными цветами, наглядно выделяющимися на фоне природных почв. Цветовая гамма для антропогенных почв еще не разработана. Антропогенно преобразованные почвы можно отразить штриховками по цветному фону природных почв. Кроме этого, на подробных картах можно использовать дополнительные индексы для изображения комбинаций природных и антропогенных почв. Это позволит сохранить наглядность изображения и зрительно выделить сложность состава ПП. Для наглядного отражения структуры ПП можно дополнительно рекомендовать приемы, разработанные для природных структур – штриховой фон и фигурные сетки.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ 23 почвенных карт городов России показал их значительное разнообразие в отношении содержания, масштаба, способов изображения, а также тенденции к усложнению содержания, т. е. повышению информативности, систематизации (выявлению) пространственных закономерностей и уточнению картографических единиц благодаря более активному использованию космических снимков и компьютерных технологий в последнюю четверть века.

На большей части карт используется классификация городских почв М.Н. Строгановой как простой и удобной, но неполно отражающей свойства почв; на более поздние карты вводятся элементы классификации почв России.

Структурированные легенды карт отражают авторские концепции в отношении организации почвенного покрова, и в них группировка почв по функциональным зонам города остается приоритетной, но разной по содержанию функциональных зон и по детальности их почвенного содержания.

Ареалы почв и ТПО в пределах открытой поверхности (по OSM) оцениваются на некоторых картах в формате теории структур почвенного покрова как урбопедокомбинации, представленные урбокомплексами или урбомозаиками. Первый термин вызывает сомнения как противоречащий определению

комплексов (и пятнистостей) в теории СПП, важным элементом которого являются связи между почвами – компонентами комплекса. Более адекватными терминами, на наш взгляд, можно считать «урбомозаики» по причине отсутствия таких связей в урбоэкосистемах. «Урбопедомозаики», вероятно, менее удачный термин, поскольку подразумевает почвы, тогда как много места в городе занимают ТПО, т. е. непочвы. Урбопедокомбинации имеют прямые четкие границы и геометрические формы, созданные действиями людей, что резко разделяет природные и городские ландшафты по рисунку почвенного покрова.

Благодарность. Исследования выполнены в рамках НИР ГЗ № 1.4 «Антропогенная геохимическая трансформация компонентов ландшафтов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананко Т.В., Герасимова М.И., Савицкая Н.В. Почвенные карты городов для унифицированной цифровой модели почвенного покрова России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. № 121. С. 200–240. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-121-200-240.
- Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Принципы создания почвенной карты мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 790–802.
- Атлас развития Иркутска. Иркутск, 2011. 131 с.
- Бармин А.Н., Козырева В.Н., Зимовец П.А. Пространственный анализ почв // Геология, география и глобальная энергия. 2012. № 4(47). С. 187–193.
- Барнаул. Научно-справочный атлас. Новосибирск, 2007. 113 с.
- Большой атлас Москвы. М.: Феория, 2012. 1000 с.
- Горбов С.Н. Почвы урбодиафтов г. Ростов-на-Дону, их экологическое состояние и оценка загрязнения: дис. ... канд. биол. наук. Ростов н/Д., 2002. 215 с.
- Горбов С.Н. Генезис, классификация, экологическая роль городских почв юга европейской части России (на примере Ростовской агломерации): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2018. 48 с.
- Гордиенко О.А. Почвенный покров г. Волгограда // Почвоведение. 2025. № 2. С. 188–199.
- Гордиенко О.А., Манаенков И.В. Картографирование почвенного покрова г. Котово Волгоградской области // Сб. материалов VI Междунар. научно-практ. конф. «Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития». Ишим, 2018. С. 80–83.
- Гордиенко О.А., Манаенков И.В., Холоденко А.В. и др. Картографирование и оценка степени запечатанности почв города Волгограда // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1383–1392.
- Груздев М.В. Городские почвы, их особенности и опыт картографирования (на примере г. Ярославля) // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1991. № 3. С. 103–111.
- Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Москвина Н.В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь, 2016. 252 с.
- Каверина С.А. Геоэкологическая оценка трансформации почвенного покрова урбанизированных территорий (на примере Орско-Новотроицкого промузла): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул, 2007. 20 с.
- Калманова В.Б., Матюшкина Л.А. Систематика, диагностика и картографирование городских почв юга Дальнего Востока (на примере г. Биробиджан, Еврейская автономная область) // Вестн. Дальневосточного отд. РАН. 2013. № 5(171). С. 97–104.
- Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е. и др. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
- Кулик К.Н., Кретинин В.М., Кошелева О.Ю. Опыт картографирования почвенного покрова города Волгограда // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. 2015. № 1. С. 40–45.
- Макаров В.З., Новаковский Б.А., Чумаченко А.Н. Эколого-географическое картографирование городов. М.: Научный мир, 2002. 196 с.
- Полевой определитель почв России. М.: Почв. институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Праведников Е.Ю., Неведров Н.П. Инвентаризация и картографирование почв г. Курска // Окружающая среда: комфортность и экологическая безопасность. Сб. мат-лов IV Всерос. научно-практ. конф. Курск, 2021. С. 213–218.
- Прокофьева Т.В. Городские почвы, запечатанные дорожными покрытиями: на примере Москвы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1998. 24 с.
- Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С. и др. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
- Середа Л.О., Куропан С.А. Почвенный покров территории г. Воронеж // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества. Челябинск, 2019. С. 351–358.
- Синцов А.В., Бармин А.Н., Колчин Е.А. Современное распространение урбаноземов на территории горо-

- да Астрахани // Естественные науки. 2015. № 3(52). С. 34–37.
- Синцов А.В., Бармин А.Н., Адямова Г.У. Почвенный покров урбанизированных территорий. Астрахань, 2010. 164 с.
- Соткина С.А., Бадьяна О.Н., Шевченко И.А. и др. Экологическое состояние г. Дзержинска по степени загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 96–101.
- Строганова М.Н. Городские почвы: генезис, систематика и экологическое значение (на примере г. Москвы): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 1998. 71 с.
- Строганова М.Н., Мяжкова А.Д., Прокофьева Т.В. Городские почвы: генезис, классификация, функции // Почва, город, экология / ред. Г.В. Добровольский и др. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. С. 15–88.
- Сухачева Е.Ю. Учение о структуре почвенного покрова: новые вызовы и новые возможности // Почвы – опора России: тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Казань, 2024. С. 387–389.
- Тонконогов В.Д. Техногенные поверхностные образования // Почвоведение. 2001. № 6. С. 653–659.
- Учебно-краеведческий атлас Саратовской области. Саратов, 2013. 148 с.
- Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Изд-во АН СССР, 1972. 423 с.
- Хитров Н.Б., Герасимова М.И. Диагностические горизонты в классификации почв России. Версия 2021 // Почвоведение. 2021. № 8. С. 899–910.
- Шестаков И.Е., Еремченко О.З., Филькин Т.Г. Картографирование почвенного покрова городских территорий на примере г. Перми // Почвоведение. 2014. № 1. С. 12–21.
- Экологический атлас Москвы. М.: АБФ/АВФ, 2000. 96 с.
- Якутск. Географический атлас. М.: ГУГК, 1992. 58 с.
- Gerasimova M.I., Chernitsova O.V., Vasil'chuk J.Yu. et al. GIS Mapping Of The Soil Cover Of An Urbanized Territory: Drainage Basin Of The Setun River In The West Of Moscow (Russian Federation), *Geography, Environment, Sustainability*, 2024, no. 2(17), p. 131–138, DOI: 10.24057/2071-9388-2024-3136.
- Lehmann A., Stahr K. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils, *J. Soils and Sediments*, 2007, no. 7(4), p. 247–260, DOI: 10.1065/jss2007.06.235.

Поступила в редакцию 25.02.2025

После доработки 13.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025

SOIL MAPS OF CITIES (OVERVIEW OF RUSSIAN CITIES)

M.I. Gerasimova¹, M.D. Bogdanova²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography*

¹ *Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com*

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

Soil maps of cities, as a new branch in soil geography and cartography, differ both in content (presentation of soils) and methodology of their compilation. The review analyzes 23 maps of 18 cities of the Russian Federation, published in journals, monographs, dissertations, and atlases of cities. Historical, social and economic factors turned out to be more significant for the formation of urban soils than the natural ones. The compilation of urban soil maps is based on city plans, space images, maps of natural soils, geological formations and Quaternary deposits, relief, as well as terrain observations, i. e. the descriptions of soil profiles. The maps were analyzed by the following aspects: map content, number of legend units, and organization of the legend as a reflection of the map's concept. The predominant part of maps is compiled using the M.N. Stroganova classification system which focuses on the functional zones of the city. Later, elements of the classification of Russian soils were introduced into map legends. Structured map legends reflect the authors' concepts regarding the arrangement of a city soil cover: the priority of natural factors and modifications of natural soils or the priority of anthropogenic factors, namely, functional zones. A grouping of soils in the legend by the functional zones of the city differs in the composition of functional zones and the details of their soil content. There is an experience of compiling maps in terms of the theory of soil cover structures. The analysis of soil maps of Russian cities has shown their significant diversity in terms of content, scale, methods of presentation, as well as a trend to more complicate content, i.e. the increasing volume of information, the systematization (identification) of spatial patterns and the refinement of cartographic units using the advanced technics. The methods of cartographic representation of urban soils and soil cover structures are considered.

Keywords: urban soils, classification, urbic horizon, legend structure, soil cover, urbopedocombinations

Acknowledgements. The research was carried out under the state assignment no. I.4 “Anthropogenic geochemical transformation of landscape components”.

REFERENCES

- Ananko T.V., Gerasimova M.I., Savitskaya N.V. Pochvennye karty gorodov dlya unifitsirovannoi tsifrovoi modeli pochvennogo pokrova Rossii [Soil maps of cities for the unified digital model of soil cover of Russia], *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2024, no. 121, p. 200–240, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-121-200-240. (In Russian)
- Aparin B.F., Sukhacheva E.Yu. Principles of soil mapping of a megalopolis with St. Petersburg as an example, *Eurasian Soil Science*, 2014, no. 7, p. 650–661.
- Atlas razvitiya Irkutsk* [Atlas of Irkutsk Development], Irkutsk, 2011, 131 p. (In Russian)
- Avessalomova I.A. [Analysis of the natural landscape-geochemical situation in the study of cities], *Ekologo-geokhimicheskaya otsenka gorodov razlichnykh regionov strany* [Ecological and geochemical assessment of cities in various regions of the country], Moscow, IMGRE Publ., 1991, p. 4–11. (In Russian)
- Barmin A.N., Kozyreva V.N., Zimovets P.A. Prostranstvennyi analiz pochv [Spatial analysis of soils], *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*, 2012, no. 4(47), p. 187–193. (In Russian)
- Barnaul. Nauchno-spravochnyi atlas* [Scientific Reference Atlas], Novosibirsk, 2007, 113 p. (In Russian)
- Bol'shoi atlas Moskvy* [The Great Atlas of Moscow], Moscow, Feoriya Publ., 2012, 1000 p. (In Russian)
- Ekologicheskii atlas Moskvy* [Ecological atlas of Moscow], Moscow, ABF Publ., 2000, 96 p. (In Russian)
- Eremchenko O.Z., Shestakov I.E., Moskvina N.V. Pochvy i tekhnogennye poverkhnostnye obrazovaniya urbanizirovannykh territorii Permskogo Priam'ya [Soils and technogenic surface structures of urbanized territories of the Perm Kama region], Perm, 2016, 252 p. (In Russian)
- Friedland V.M. *Struktura pochvennogo pokrova* [Soil cover structure], Moscow, AN SSSR Publ., 1972, 423 p. (In Russian)
- Gerasimova M.I., Chernitsova O.V., Vasil'chuk J.Yu., Kosheleva N.E. GIS Mapping of the soil cover of an urbanized territory: drainage basin of the setun river in the west of Moscow (Russian Federation), *Geography, Environment, Sustainability*, 2024, no. 2(17), p. 131–138, DOI: 10.24057/2071-9388-2024-3136.
- Gorbov S.N. *Genezis, klassifikatsiya, ekologicheskaya rol' gorodskikh pochv yuga evropeiskoi chasti Rossii (na primere Rostovskoi aglomeratsii)* [Genesis, classification, ecological role of urban soils in the south of the European part of Russia (on the example of the Rostov agglomeration)], Doctoral Thesis, Moscow, 2018, 48 p. (In Russian)
- Gorbov S.N. *Pochvy urbolandshaftov g. Rostov-na-Donu, ikh ekologicheskoe sostoyanie i otsenka zagryazneniya* [Soils of urban landscapes of the Rostov-on-Don city, their ecological state and pollution assessment], Ph.D. Thesis, Rostov-na-Donu, 2002, 215 p. (In Russian)
- Gordienko O. A. Pochvennyy pokrov g. Volgograda [Structure of the soil cover of Volgograd], *Pochvovedenie*, 2025, no. 2, p. 188–199. (In Russian)
- Gordienko O.A., Manaenkov I.V. [Soil cover mapping for the Kotovo town, Volgograd region], *“Urboekosistemy: problemy i perspektivy razvitiya”* [Urboecosystems: problems and development prospects], Ishim, 2018, p. 80–83. (In Russian)
- Gordienko O.A., Manaenkov I.V., Kholodnenko A.V., Ivantsova E.A. Mapping and assessment of sealing rate of soils in the city of Volgograd, *Eurasian Soil Science*, 2019, no. 11, p. 1439–1446.
- Gruzdev M.V. Gorodskie pochvy, ikh osobennosti i opyt kartografirovaniya (na primere g. Yaroslavl'ya) [Urban soils, their features and mapping experience (case study of Yaroslavl)], *Izv. AN SSSR, Ser. Geogr.*, 1991, no. 3, p. 103–111. (In Russian)
- Kalmanova V.B., Matyushkina L.A. Sistematika, diagnostika i kartografirovaniye gorodskikh pochv yuga Dal'nego Vostoka (na primere g. Birobidzhan, Evreiskaya avtonomnaya oblast') [Systematics, diagnostics and mapping of urban soils of the south Far East (Birobidzhan city, Jewish Autonomous Region as an example)], *Vestn. Dal'nevostochnogo otd. RAN*, 2013, no. 5(171), p. 97–104. (In Russian)
- Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. *Geokhimiya landshaftov Vostochnoi Moskvy* [Geochemistry of landscapes of Eastern Moscow], Moscow, APR Publ., 2016, 276 p. (In Russian)
- Kaverina S.A. *Geoekologicheskaya otsenka transformatsii pochvennogo pokrova urbanizirovannykh territorii (na primere Orsko-Novotroitskogo promuzla)* [Geoecological assessment of the transformation of the soil cover of urbanized territories (case study of the Orsk-Novotroitsk industrial hub)], Ph.D. Thesis, Barnaul, 2007, 20 p. (In Russian)
- Khistrov N.B., Gerasimova M.I. Diagnostic horizons in the classification system of Russian soils: Version 2021, *Eurasian Soil Science*, 2021, no. 8, p. 1131–1140.
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils of Russia], Smolensk, Oikumena Publ., 2004, 341 p. (In Russian)
- Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR], Moscow, Kolos Publ., 1977, 224 p. (In Russian)
- Kulik K.N., Kretinin V.M., Kosheleva O.Yu. Opyt kartografirovaniya pochvennogo pokrova goroda Volgograda [Experience of mapping the soil cover of the city of Volgograd], *Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta, Ser. Geografiya, Geoekologiya*, 2015, no. 1, p. 40–45. (In Russian)
- Lehmann A., Stahr K. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. *J. Soils and Sediments*, 2007, no. 7(4), p. 247–260, DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/jss2007.06.235>.
- Makarov V.Z., Novakovsky B.A., Chumachenko A.N. *Ekologo-geograficheskoe kartografirovaniye gorodov* [Ecological and geographical mapping of cities], Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2002, 196 p. (In Russian)
- Polevoi opredelitel' pochv Rossii* [Field guide to soils of Russia], Moscow, Pochv. institut im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p. (In Russian)
- Pravednikov E.Yu., Nevedrov N.P. [Inventory and mapping of soils of the city of Kursk], *Okruzhayushchaya sreda: komfortnost' i ekologicheskaya bezopasnost'* [Environment: comfort and environmental safety], Kursk, 2021, p. 213–218. (In Russian)
- Prokofieva T.V. *Gorodskie pochvy, zapechatannye dorozhnyimi pokrytiyami: na primere Moskvy* [Urban soils sealed by road surfaces: case study of Moscow], Ph.D. Thesis, Moscow, 1998, 24 p. (In Russian)

- Prokofieva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S. et. al. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system, *Eurasian Soil Science*, 2014, no. 10, p. 959–967. (In Russian)
- Sereda L.O., Kurolap S.A. [Soil cover of the territory of Voronezh], *Geograficheskoe prostranstvo: sbalansirovanoe razvitie prirody i obshchestva*, Chelyabinsk, 2019, p. 351–358. (In Russian)
- Shestakov I.E., Eremchenko O.Z., Filkin T.G. Kartografirovaniye pochvennogo pokrova gorodskikh territorii na primere g. Perm' [Soil cover mapping of urban areas (case study of Perm city)], *Pochvovedenie*, 2014, no. 1, p. 12–21. (In Russian)
- Sintsov A.V., Barmin A.N., Adyamova G.U. *Pochvennyi pokrov urbanizirovannykh territorii* [Soil cover of urbanized areas], Astrakhan', 2010, 164 p. (In Russian)
- Sintsov A.V., Barmin A.N., Kolchin E.A. Sovremennoe rasprostraneniye urbanozemov na territorii goroda Astrakhani [Modern dissemination of urbanozioms on the territory of Astrakhan city], *Estestvennye nauki*, 2015, no. 3(52), p. 34–37. (In Russian)
- Sotkina S.A., Badyina O.N., Shevchenko I.A., Bikmaeva A.V. Ekologicheskoe sostoyaniye g. Dzerzhinsk po stepeni zagryazneniye pochvennogo pokrova tyazhelymi metallami [Ecological state of Dzerzhinsk according to the degree of soil contamination with heavy metals], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2017, no. 6, p. 96–101. (In Russian)
- Stroganova M.N. *Gorodskie pochvy: genezis, sistematika i ekologicheskoe znachenie (na primere g. Moskvy)* [Urban soils: genesis, taxonomy and ecological significance (case study of Moscow)], Doctoral Thesis, Moscow, 1998, 71 p. (In Russian)
- Stroganova M.N., Myagkova A.D., Prokofieva T.V. [Urban soils: genesis, classification, functions], *Pochva, gorod, ekologiya* [Soil, city, ecology], G.V. Dobrovol'skii (ed.), Moscow, Fond "Za ekonomicheskuyu gramotnost'" Publ., 1997, p. 15–88. (In Russian)
- Sukhacheva E.Yu. [The doctrine of the structure of soil cover: new challenges and new opportunities], *Pochvy – opora Rossii* [Soils as a backbone of Russia], Tezisy dokladov IX s'ezda Obshchestva Pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva, Kazan, 2024, p. 387–389. (In Russian)
- Tonkonogov V.D. Tekhnogennyye poverkhnostnyye obrazovaniya [Man-made surface structures], *Pochvovedenie*, 2001, no. 6, p. 653–659. (In Russian)
- Uchebno-kraevedcheskii atlas Saratovskoi oblasti* [Educational and local history atlas of the Saratov region], Saratov, 2013, 148 p. (In Russian)
- Yakutsk. Geograficheskii atlas* [Yakutsk. Geographical atlas], Moscow, GUGK Publ., 1992, 58 p. (In Russian)

Received 25.02.2025

Revised 13.04.2025

Accepted 20.05.2025

УТОЧНЕНИЕ ПЛОЩАДИ ВОДНОГО ЗЕРКАЛА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А.В. Бочаров¹, М.Г. Гречушникова², С.И. Биденко³, С.А. Лебедев⁴, И.Л. Григорьева⁵

¹ Тверской государственный университет, факультет географии и геоэкологии, кафедра физической географии и экологии; Институт океанологии РАН, лаборатория экспериментальной физики океана

^{1,2} Институт водных проблем РАН, Ивановская научно-исследовательская станция

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши

³ АО Научно-производственное объединение «Импульс», управление инновационного развития и стратегического планирования

⁴ Геофизический центр РАН, лаборатория геоинформатики и геомагнитных исследований; Майкопский государственный технологический университет, лаборатория геоинформатики, геоэкологии и рационального природопользования

⁵ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, лаборатория гидрологии и гидрохимии

¹ Ст. преподаватель, инженер, науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: bochalex@bk.ru

² Рук. науч. группы, вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: allavis@mail.ru

³ Гл. эксперт, д-р техн. наук; e-mail: sibidenko@mail.ru

⁴ Гл. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук; e-mail: sergey_a_lebedev@mail.ru

⁵ Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: irina_grigorieva@list.ru

Иваньковское водохранилище – это мелководный водоем долинно-котловинного типа. Низкие берега и зарастание мелководий вызывают сложности в определении береговой линии и площади водного зеркала. В Приказе Росводресурсов от 31.05.2019 г. № 125 площадь водоема указана равной 316 км², тогда как в более ранних публикациях приводилось значение 327 км². Однако даже при предварительном анализе данных дистанционного зондирования (ДДЗ) фактическая площадь Иваньковского водохранилища существенно отличается от значений, упоминаемых в литературе. Работа посвящена уточнению площади водной поверхности водоема с использованием спутниковых данных. Проведена оценка имеющихся картографических материалов и ДДЗ, начиная с заполнения водохранилища по настоящее время. По ретроспективным данным установлено, что на картах первых лет после заполнения площадь водоема была существенно больше, чем на более поздних картах, на которых отмечается значительное уменьшение части Шошинского плеса, при этом изображаемая площадь водоема равна либо меньше справочных значений. По ДДЗ были установлены значения фактической современной площади водного зеркала Иваньковского водохранилища при разных уровнях воды в период отсутствия ледостава. Согласно полученным данным, фактическая площадь водоема при уровнях, близких к нормальному подпорному уровню (НПУ), в большинстве случаев находится в пределах 220–240 км², что на 22–31% меньше, чем в интерполяционной таблице площадей зеркала Иваньковского водохранилища при разных уровнях воды, приведенной в «Правилах использования водных ресурсов Иваньковского водохранилища на р. Волге» (Приказ Росводресурсов от 31.05.2019 г. № 125). В работе приведен пример расчета эмиссии метана с водной поверхности Иваньковского водохранилища, которая по уточненной площади оказалась на 20–25% ниже.

Ключевые слова: границы водных объектов, уровни воды, морфометрические характеристики, Sentinel-2, Landsat-2, эмиссия метана

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.3

ВВЕДЕНИЕ

Водохранилища – это географические природно-технические объекты, которые находятся в сложных и многофакторных взаимоотношениях с окружающей средой. Водохранилища различаются между собой генезисом, морфологическими, морфометрическими, гидрологическими и экологическими характеристиками. Морфометрические параметры водоема важны

для учета запасов воды, оценки испарения с поверхности водоема, в исследованиях гидродинамических, гидрофизических и гидроэкологических процессов и др. Определение фактического положения береговой линии необходимо при установлении водоохраных зон водохранилищ. Одним из актуальных современных направлений научных исследований является оценка эмиссии парниковых газов с поверхности искусствен-

ных объектов. В Российской Федерации реализуется важнейший инновационный проект государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ». Для правильного учета общей эмиссии с поверхности водоемов необходимо уточнить площадь их водной поверхности, которая может изменяться при абразии берегов, зарастании или даже несанкционированном строительстве. В рамках проекта РНФ «Разработка методики оценки эмиссии метана разнотипными водохранилищами умеренной зоны» ведется работа по расчету характерных значений удельного потока метана для морфологических районов Иваньковского водохранилища, для чего необходимо уточнить его площадь. Этот параметр также важен для определения распространения макрофитов, которые являются агентами самоочищения водоема, и донных отложений разного типа, которые аккумулируют биогенные элементы и тяжелые металлы. Для оценки аккумуляции по величине удельного накопления элементов на опытных участках необходимо знать точную площадь водоема и его морфологических частей. Многолетние исследования процессов зарастания мелководий Иваньковского водохранилища и формирования заболоченных почв из сплавин ведутся сотрудниками Иваньковской НИС ИВП РАН и ИБВВ РАН. Для определения степени зарастания Иваньковского водохранилища также важно уточнение площади его водного зеркала.

Иваньковское водохранилище расположено в Тверской и Московской областях в южной части Верхневолжской низины, находится в условиях лесной ландшафтной зоны. Образовано в 1937 г. перекрытием русла Волги плотиной у г. Дубна (ранее с. Иваньково). Иваньковское водохранилище – мелководный водоем долинно-котловинного типа,

сезонного регулирования. Сработка уровня водохранилища осуществляется с декабря до середины марта. Далее начинается наполнение водохранилища до отметки нормального подпорного уровня (НПУ). В отдельные годы при значительных объемах половодья возможна форсировка уровня.

Иваньковское водохранилище по морфологическим особенностям подразделяется на три плеса: Волжский, Шошинский и Иваньковский [Гидрометеорологический..., 1975].

Волжский плес находится в зоне переменного подпора, поэтому его размеры изменяются в зависимости от стадии наполнения водохранилища. Шошинский плес образован затоплением нижней части долины р. Шоша, он мелководный и значительно заросший водолубивой растительностью. Иваньковский плес, озеровидное расширение в долине Волги ниже впадения р. Созь, является наиболее широкой частью водохранилища, находится в постоянном подпоре от Иваньковского гидроузла [Гидрометеорологический..., 1975].

В соответствии с [Приказ..., 2019], акватория Иваньковского водохранилища по морфометрическим характеристикам и гидрологическому режиму делится на три плеса: «Верхневолжский – от города Твери до устья Шошинского плеса, имеющий форму реки; Шошинский плес – это затопленная пойма р. Шоши от ее устья до деревни Городище; Нижневолжский плес, занимающий среднюю и приплотинную части Иваньковского водохранилища». Морфометрические характеристики Иваньковского водохранилища по данным, приведенным в [Гидрометеорологический..., 1975; Иваньковское..., 1978; Экологические..., 2001] и в [Приказ..., 2019], представлены в таблице 1.

Таблица 1

Морфометрические характеристики Иваньковского водохранилища при НПУ

Источник	НПУ, м БСВ	УМО, м БСВ	ФПУ, м БСВ	F , км ²	$W_{\text{п}}$, км ³	$W_{\text{сл}}$, км ³	$H_{\text{ср}}$, м	$H_{\text{макс}}$, м	L , км	$B_{\text{макс}}$, км
По [1]	123,89	119,39	124,09	327	1,12	0,813	3,4	19,0	120	8,0
По [2]	123,89	119,39	124,09	316	1,22	0,813	4,0	19,0	120	12,0

Примечание: НПУ – нормальный подпорный уровень, УМО – уровень мертвого объема, ФПУ – форсированный подпорный уровень, F – площадь водного зеркала при НПУ, $W_{\text{п}}$ – полный объем при НПУ, $W_{\text{сл}}$ – объем сливной призмы, $H_{\text{ср}}$ – средняя глубина, $H_{\text{макс}}$ – максимальная глубина, L – длина, $B_{\text{макс}}$ – наибольшая ширина.

Источники: 1 – по [Гидрометеорологический..., 1975; Иваньковское..., 1978; Экологические..., 2001]; 2 – по [Приказ..., 2019].

Берега Иваньковского водохранилища низкие, часто заболоченные и только в некоторых местах умеренно возвышенные, что определяет нечеткость идентификации уреза воды. Водохранилище мелководное, его средняя глубина по разным источникам равна 3,4–4 м (см. табл. 1). Площадь мелководий с

глубинами до 2 м составляет около 50% [Волга..., 1978]. Это способствовало интенсивному зарастанию в первые десятилетия после заполнения.

По данным В.А. Экзерцева [Иваньковское..., 1978], в 1957 г. прибрежно-водная растительность занимала 5465 га (16,7% от площади водоема), а в

1972 г. площадь ее составила 7633 га (23,4% от площади водохранилища). В начале 2000-х гг. площадь заросших мелководий в целом по водохранилищу оценивалась примерно в 27,5% [Григорьева, Федорова, 2010]. По исследованиям 2006 г. получено, что сплавинные комплексы заняли 23,2 км² (7,1%), а фитокомплексы – 61,1 км² (20,5%) [Тихомиров, 2010], что в целом составляет 27,6% от площади акватории. Заращение мелководий приводит к сокращению площади водного зеркала водохранилища.

Иваньковское водохранилище является одним из основных источников водоснабжения г. Москвы, около 25% стока из него поступало в канал им. Москвы [Волга..., 1978], в последние годы сток несколько уменьшился. Согласно литературным данным разных лет площадь зеркала водохранилища при НПУ (123,89 м БСВ) составляет 327 км² [Гидрометеорологический..., 1975; Иваньковское..., 1978; Экологические..., 2001]. В государственном водном реестре приведено такое же значение. Впервые эта величина была указана в отчете о строительстве канала Москва – Волга [Канал Москва – Волга, 1940]. В последних опубликованных источниках фигурирует площадь водохранилища при НПУ, равная 316 км² [Приказ..., 2019]. В ходе исследований авторами статьи было отмечено, что даже при предварительном анализе данных дистанционного зондирования (ДДЗ) фактическая площадь Иваньковского водохранилища значительно отличается от величин, упоминаемых в литературе. Цели работы – уточнение фактической площади водоема и установление причин и времени ее изменения.

Для их реализации была проведена ретроспективная оценка литературных источников и материалов ДДЗ, начиная с заполнения водохранилища (1937) по настоящее время.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подпор от Иваньковского гидроузла достигает по р. Волге города Твери, по р. Шоше распространяется на 80 км, а по р. Созь – на 30 км [Приказ..., 2019]. Исходя из вышесказанного, в данной работе в качестве границ водохранилища были использованы следующие ориентиры: по р. Волге до железнодорожного моста в г. Тверь, по р. Тверце до границы г. Твери, по р. Шоше до д. Балаково, по р. Созь до пос. 1-е Мая, по р. Сосце (р. Малая Созь) до д. Головино. Также к водохранилищу были отнесены все приустьевые заливы его остальных притоков.

Одним из первых спутниковых изображений, где Иваньковское водохранилище не сильно перекрыто облачностью, является снимок, полученный сенсором спутника Landsat-2 12 мая 1975 г. (рис. 1). На спутнике был установлен мультиспектральный сканер MSS, размер пикселя его изображения равен 57×79 м [U.S. Geological Survey..., 2024], что не позволяет определять малые водотоки и заливы. После заполнения водохранилища к этому периоду прошло более трех десятилетий, в течение этого времени береговая линия изменилась. Площадь водохранилища по данному снимку составляет 232 км², что значительно меньше справочных данных, но близко к оценкам площади водоема по современным данным ДДЗ.

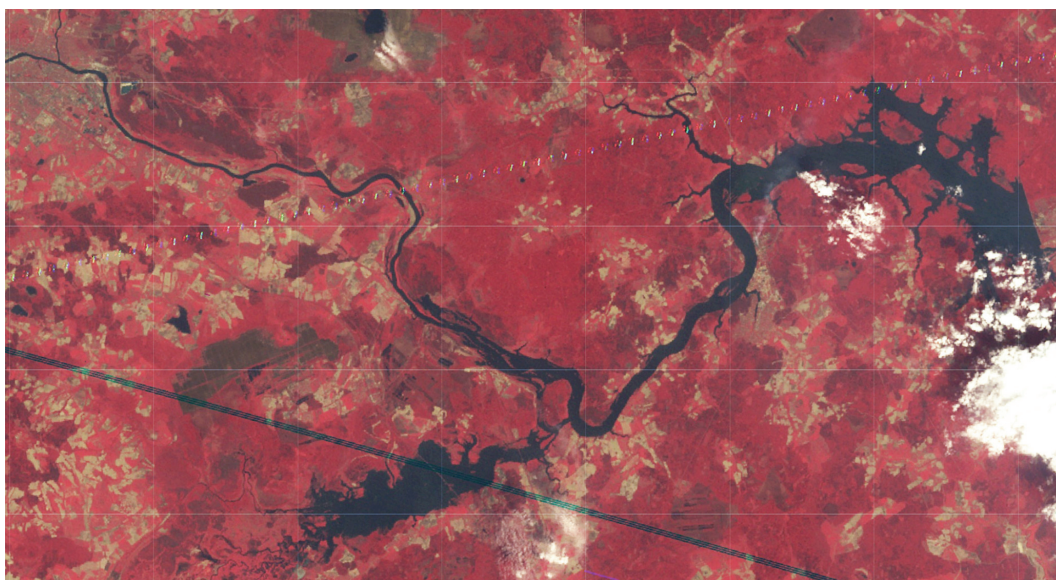


Рис. 1. Один из первых спутниковых снимков территории Иваньковского водохранилища (спутник Landsat-2, 12 мая 1975 г.). Источник: [Google Earth Engine..., 2024]

Fig. 1. One of the first satellite images of the Ivankovskoye Reservoir (Landsat-2 satellite, May 12, 1975). Source: [Google Earth Engine..., 2024]

Для оценки фактической современной площади водохранилища при НПУ спутниковые снимки последних лет были сопоставлены с уровнями водохранилища. Для установления причин несоответствия проанализированы карты первых лет существования водоема.

На картах РККА масштаба 1 : 200 000 и 1 : 500 000, выпущенных в 1941 г., границы Иваньковского водохранилища отображены более четко, чем на других картах этого периода. В работе были также рассмотрены карта Калининской области масштаба 1 : 500 000 (1937 г.) и карта-схема канала Москва – Волга масштаба 1 : 500 000 (1939 г.). Все карты были геопривязаны в ГИС, границы водоема оцифрованы ручным способом.

Из современных данных дистанционного зондирования, находящихся в открытом доступе, наилучшим пространственным разрешением обладают снимки со спутников Sentinel-2, созданные в рамках программы Copernicus, реализуемой Европейским космическим агентством. Данные получают при помощи двух идентичных спутников, находящихся на одной орбите. Первым был запущен спутник Sentinel-2А в 2015 г.,

второй Sentinel-2В в 2017 г. На обоих аппаратах установлен сенсор MSI, проводящий съемку в видимом и ближнем ИК-диапазонах с разрешением от 10 до 60 м [Sentinel-2 Mission guide, 2024].

Вначале была осуществлена оценка архива спутниковых снимков Sentinel-2 на территорию, где расположено Иваньковское водохранилище, в ходе которой отбирались малооблачные сцены. Наибольшее количество малооблачных снимков на данную территорию было получено в 2019 г. При этом их распределение по времени в течение года оказалось достаточно равномерным. Поэтому оценку современного состояния границ Иваньковского водохранилища было решено провести на основании внутригодовой изменчивости в 2019 г. В исследовании было использовано шесть снимков Sentinel-2. При обработке снимков учитывался среднесуточный уровень воды в Иваньковском водохранилище в 2019 г. (рис. 2). В данном исследовании уровень воды приводится в Балтийской системе высот (БСВ). Для получения и обработки ДДЗ использовалась платформа Google Earth Engine [Google Earth Engine, 2024].

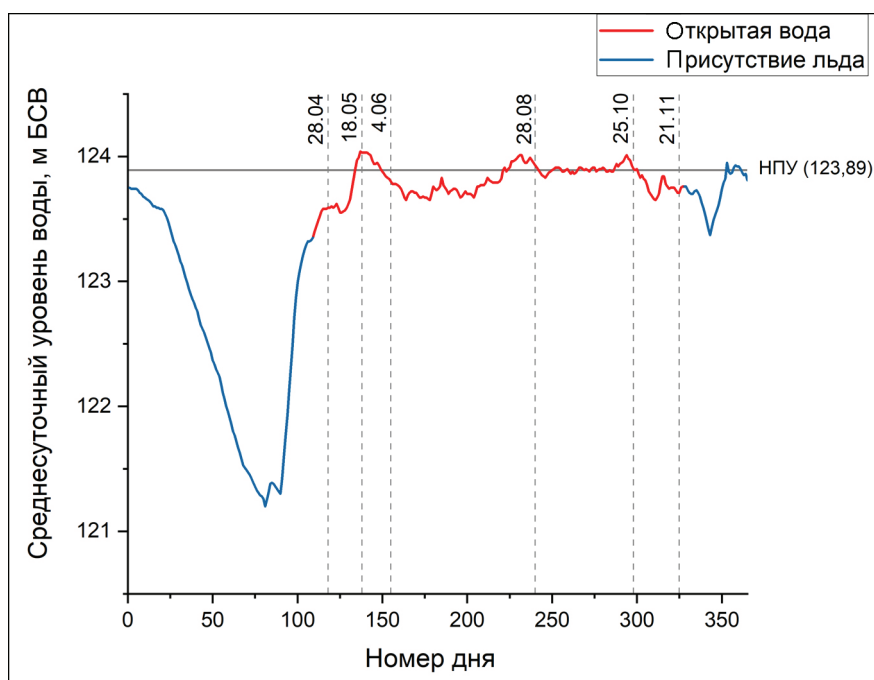


Рис. 2. График хода среднесуточного уровня воды в Иваньковском водохранилище в 2019 г.

Fig. 2. Graph of the average daily water level in the Ivankovskoye Reservoir in 2019

Для выделения водных объектов наилучшим образом подходят данные спутниковой съемки в ближнем ИК-диапазоне, так как в этой спектральной зоне имеется выраженный контраст между сухой и водной поверхностью. Известны три основных способа определения границы водного объекта

по данным ДЗЗ: визуальное дешифрирование, сегментация изображений, классификация на основе индексных изображений [Чичкова и др., 2016].

Приведенные выше методики хорошо подходят для водоемов с четкой береговой линией, но имеют существенные ограничения для исследования при-

брежной зоны. В результате экспериментальных изысканий была разработана методика, основанная на разделении пикселей ИК-канала по пороговому значению отражательной способности на группы (вода и суша) [Бочаров и др., 2021], которая показала наибольшую эффективность для определения границ водных объектов. Этот подход был использован для создания маски водоема по снимкам Sentinel-2. Расчет порогового значения между группами пикселей проводился на основе оценки профилей переходной зоны в ближнем ИК-канале.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вначале исследования был проведен анализ ретроспективных источников, который позволил предположить, что наиболее значимый вклад в неточность сведений о площади водоема связан с правобережьем верховья Шошинского плеса. На картах данной территории, созданных в первые годы

существования водохранилища, площадь водоема значительно больше (рис. 3–5). На картах, отображающих ситуацию после нескольких лет существования водохранилища, значительная часть прежде водной поверхности отмечена как заболоченные территории (рис. 6).

По карте Калининской области 1937 г. (см. рис. 3), составленной отделом землеустройства Калининского областного земельного управления, площадь водохранилища составляет 374 км². Карта сильно генерализирована, на ней отсутствуют крупные острова. По картам РККА, отражающим состояние местности в первые годы после заполнения водохранилища (см. рис. 4), площадь водоема составляет 354 км². На карте-схеме канала Москва – Волга в Большом советском атласе мира (см. рис. 5) Ивановское водохранилище имеет площадь 327 км², что соответствует данным, указанным в отчете о строительстве канала [Канал Москва – Волга..., 1940].



Рис. 3. Фрагмент карты Калининской области 1937 г. (масштаб 1 : 500 000).

Источник: [Схематическая карта Калининской области..., 1937]

Fig. 3. Fragment of the map of the Kalinin region, 1937 (scale 1 : 500 000). Source: [Schematic map of the Kalinin region, 1937]

Карты РККА, отражающие состояние местности в 1940–1941 гг. (см. рис. 6), обладают более высокой детализацией границ водохранилища, при этом в верховьях Шошинского плеса исчезает затопленная часть поймы р. Инюха. Площадь водохранилища по этим картам составляет 290 км², что уже меньше значений, приведенных в литературе. На данной карте границы водоема, в основном, соответствуют современному состоянию, однако есть участки, где водная поверхность занимает существенно больше пространства, чем сейчас. Несмотря на имеющиеся отклонения в геопривязке старой топографической карты, при сравнении границ водоема, полученных по современным спутниковым данным при НПУ, с

картой РККА 1940–1941 гг., можно отчетливо выделить четыре наиболее крупных участка, где на карте отмечена водная поверхность, а по современным ДДЗ она отсутствует. Это устье р. Тропка и заливы у о. Клиницы и о. Харпуша; устье р. Шоши и протока у о. Низовка; в верховьях Шошинского плеса; заливы в районе с. Городня и д. Видогощи.

В первые годы существования водохранилища происходили процессы формирования аквальных комплексов. В этот период вследствие ветрового волнения формировались профили подводного берегового склона, происходило зарастание и заболачивание мелководий, а также сплавинообразование и другие трансформации. Учитывая, что

Иваньковское водохранилище мелководное, эти процессы могли внести существенный вклад в изменение морфометрических параметров водоема. Не менее существенным аспектом является то, что топографическая съемка производилась не сразу, а учитывая труднодоступность заболо-

ченных берегов, не могла обладать высокой точностью. Спутниковых систем дистанционного зондирования Земли в то время еще не существовало, а детализированная аэрофотосъемка с самолетов не позволяла получить одномоментный охват территории.



Рис. 4. Фрагмент карты РККА 1937–1941 гг. (масштаб 1 : 500 000). Источник: [Карты РККА Европейской части СССР..., 1941]

Fig. 4. Fragment of the Red Army map 1937–1941 (scale 1 : 500 000).

Source: [Maps of the Red Army of the European part of the USSR..., 1941]

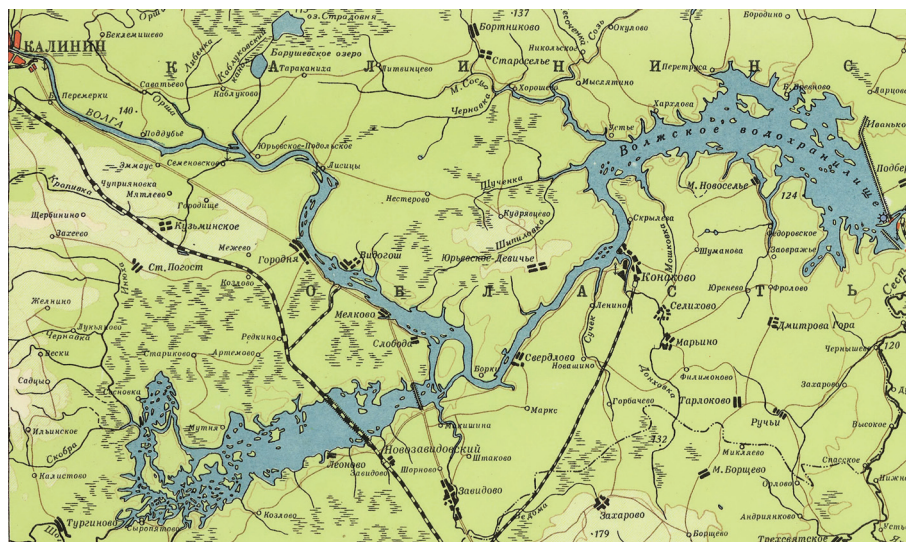


Рис. 5. Фрагмент карты-схемы канала Москва – Волга в Большом советском атласе мира 1939 г. (масштаб 1 : 500 000). Источник: [Большой советский атлас..., 1939]

Fig. 5. Fragment of the map-scheme of the Moscow – Volga Canal in the Great Soviet Atlas of the World of 1939 (scale 1 : 500 000). Source: [Great Soviet World Atlas..., 1939]

Следующим этапом нашего исследования стал анализ современных спутниковых снимков Sentinel-2 за 2019 г. Снимок Sentinel-2, полученный 28 апреля 2019 г., был сделан в начале безледоставного периода при уровне воды ниже НПУ (123,59 м БСВ на посту в г. Дубна). В этот период происходит заполнение водохранилища после сброса воды пе-

ред весенним половодьем. На данном снимке площадь водного зеркала Иваньковского водохранилища составляет 235,2 км².

В начале мая 2019 г. продолжалось интенсивное заполнение водохранилища. К середине мая уровень воды поднялся выше НПУ (124,03 м БСВ – 17 мая). По снимку Sentinel-2, произведенному

18 мая 2019 г., площадь Иваньковского водохранилища составила 238,8 км². Следует отметить, что в весенний период определению точных границ водоема не препятствовало сезонное зарастание акватории воздушно-водной растительностью.

В конце мая 2019 г. уровень воды начал снижаться, и к началу июня он опустился ниже НПУ. По снимку Sentinel-2, произведенному 6 июня 2019 г. при уровне воды 123,80 м БСВ, площадь Иваньковского водохранилища составляла 229,5 км².

В июне и июле уровень воды находился незна-

чительно ниже НПУ, в это время происходит интенсивное зарастание акватории прибрежной водной растительностью. К концу августа 2019 г. уровень воды несколько повысился (до 123,93 м БСВ – 28 августа), что незначительно выше НПУ. По снимку Sentinel-2 от 28 августа 2019 г. площадь Иваньковского водохранилища составила 224,4 км². В этот период на акватории наблюдался пик развития макрокфитов. Относительно майских данных площадь водной поверхности сократилась на 14,4 км² (6,4%), но уровень воды был ниже майского на 10 см.

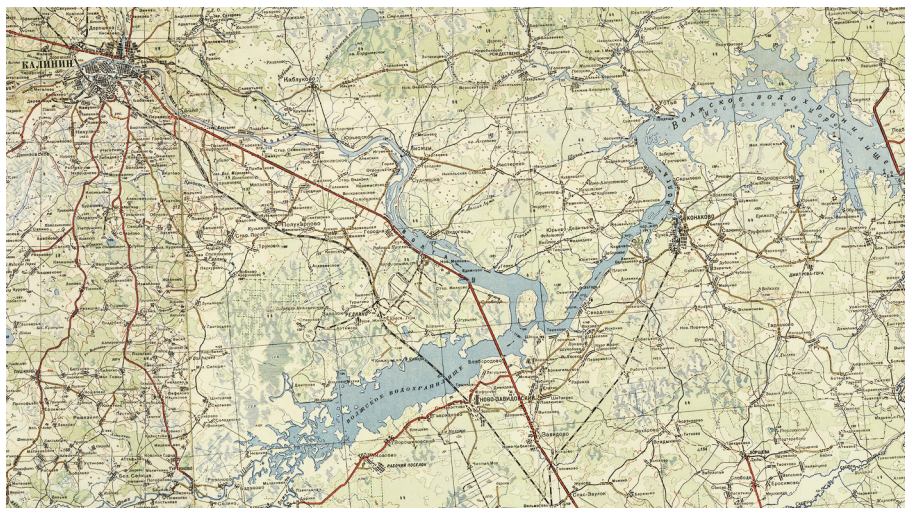


Рис. 6. Фрагмент карты РККА 1940–1941 гг. (масштаб 1 : 200 000).

Источник: [Карты РККА Валдайской возвышенности..., 1941]

Fig. 6. Fragment of the Red Army map 1940–941 (scale 1 : 200 000).

Source: [Map of the Red Army of the Valdai Hills..., 1941]

В сентябре и октябре 2019 г. уровень Иваньковского водохранилища был близок к НПУ (25 октября 2019 г. он равнялся 123,90 м БСВ), а площадь водохранилища, по снимкам с Sentinel-2, составила 218,2 км². Следует отметить, что по осенним снимкам четкость разделения суши и водной поверхности снижается.

В ноябре 2019 г. уровень водохранилища опустился немного ниже НПУ. В это время в акватории имелось большое количество увядающей воздушно-водной растительности, а на берегу происходило отмирание прибрежно-водной растительности. Коэффициент отражения растительности в ближнем ИК-диапазоне снижался, различие спектральных свойств между суши и водой уменьшилось. Некоторые темные объекты могут ложно дешифроваться как водная поверхность. Также следует заметить, что уменьшался угол падения солнечных лучей, тени деревьев становились больше, а они также могут быть ложно определены как водные объекты. Приведенные факторы могут быть при-

чиной несколько завышенной площади водных объектов. По снимку Sentinel-2 от 21 ноября 2019 г., площадь водохранилища составила 227,9 км². Среднесуточный уровень воды на посту в г. Дубна в этот день был равен 123,5 м БСВ, но в то же время уклон водной поверхности относительно поста в г. Твери был выше обычного (табл. 2).

Приказ Росводресурсов от 31.05.2019 № 125 «Об утверждении Правил использования водных ресурсов Иваньковского водохранилища на р. Волге» [Приказ..., 2019] содержит интерполяционную таблицу площадей зеркала Иваньковского водохранилища при разных уровнях воды. При сравнении полученной авторами площади водоема со значениями, приводимыми в приказе (см. табл. 2) видно, что площадь водоема, по данным ДЗЗ, меньше указанных в приказе значений на 22–31%.

В ходе оцифровки карт установлено, что на карте-схеме канала Москва – Волга в Большом советском атласе мира (см. рис. 5) площадь водоема равна 327 км², что совпадает с официальными дан-

ными. Для выявления несоответствия границ водохранилища по карте-схеме канала Москва – Волга с современными ДДЗ был использован спутниковый снимок Sentinel-2, полученный 28 августа 2019 г. при уровне, близком к НПУ, при обработке которого

площадь Иваньковского водохранилища составила 224,4 км² (рис. 7). Максимальные несоответствия границ водоема обнаружены в верховьях Шошинского плеса, на правом берегу Иваньковского плеса, и в средней части Волжского плеса.

Таблица 2

Уровень воды и площадь водного зеркала Иваньковского водохранилища по снимкам Sentinel-2

Дата	Уровень Дубна, м БСВ	Уровень Тверь, м БСВ	Площадь по [Приказ..., 2019], км ²	Фактическая площадь по данным Sentinel-2, км ²
28.04.2019	123,59	123,63	302,44	235,2
18.05.2019	124,03	124,04	327,47	238,8
04.06.2019	123,80	123,81	311,46	229,5
28.08.2019	123,93	123,97	319,29	224,4
25.10.2019	123,90	123,99	316,84	218,2
21.11.2019	123,71	123,86	306,74	227,9

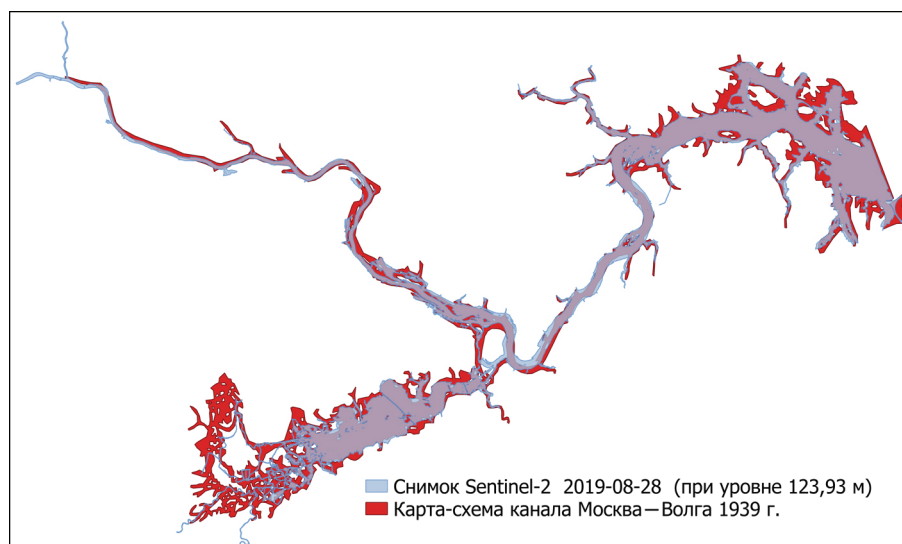


Рис. 7. Сопоставление границ Иваньковского водохранилища на карте-схеме канала Москва – Волга с границами, полученными по данным Sentinel-2

Fig. 7. Comparison of the boundaries of the Ivankovskoye Reservoir on the map-scheme of the Moscow – Volga Canal with the boundaries obtained from Sentinel-2 data

Отдельно был проведен учет полигонов водных объектов, не соединенных с водоемом, но по морфометрическим признакам дешифрируемых как старицы, вероятно отделенные вследствие зарастания и, возможно, имеющие связь с основной акваторией водохранилища в периоды повышения уровня воды либо соединенные недешифрируемыми протоками. Наибольшее количество подобных объектов находится в верховьях Шошинского плеса. По снимку Sentinel-2, произведенному 18 мая 2019 г., площадь всех подобных водных объектов не превышает 5 км², поэтому существенного вклада в изменение

площади водного зеркала Иваньковского водохранилища эти объекты не вносят. В любом случае фактическая площадь водохранилища значительно меньше значений, приведенных в [Приказ, 2019].

Максимальный проектный уровень при пропуске максимальных расходов воды вероятностью превышения 0,1% равен 124,19 м БСВ. Используя модель рельефа Copernicus DEM GLO-30 [Copernicus DEM..., 2024], было смоделировано подтопление территории при повышении до максимального проектного уровня, при нулевом уклоне водной поверхности. Для увеличения максимально неопровержи-

мой площади водохранилища был проведен учет локальных понижений поблизости. Максимальная площадь водоема при этом составила 276 км².

Согласно данным [Приказ..., 2019], при пропуске максимальных расходов воды уровень воды в верховье Шошинского плеса может подниматься до 126 м, а в верховье Волжского плеса до 130 м. При возникновении таких ситуаций будут происходить существенные подтопления в верховьях Шошинского плеса, а также менее значительные подтопления в среднем течении Волжского плеса и в устье р. Шоши. Определение площади затопления при пропуске максимальных расходов воды в данной работе не проводилось и будет являться предметом дальнейших исследований.

По данным наших исследований, площадь водохранилища, приводимая в литературе, не соответствует фактической, что влечет за собой изменения в расчете компонентов водного баланса. Меньшая площадь и соответственно объем водоема требуют более внимательного отношения к вопросам природопользования в бассейне водохранилища, так как способность к самовосстановлению и степень устойчивости к предельным нагрузкам у аквальных комплексов водоема будет ниже. Уточнение морфометрических характеристик Иваньковского водохранилища необходимы для планирования природоохранных мероприятий для стабилизации и улучшения экологического состояния водоема, испытывающего в настоящее время значительное антропогенное воздействие.

В качестве примера важности правильного определения площади водоема приведем следующий расчет. В 2020–2022 гг. были измерены удельные потоки метана в различных районах водохранилища [Гречушникова и др., 2024]. Для простейшей оценки суммарной эмиссии в день проведения съемки осредним эти значения и получим 19,9, 133,8 и 48,9 мгС/(м²·сут.) соответственно. С учетом уровня воды в день съемки (123,98, 123,83 и 123,46 м БСВ соответственно) с использованием данных о батиметрической кривой из Приложения 13 к Правилам использования водных ресурсов Иваньковского водохранилища на р. Волге, утвержденным приказом Росводресурсов от 31 мая 2019 г. № 125 (322, 313 и 301,3 км² соответственно), то получим, что эмиссия в дни съемки составляла 6,4, 41,9 и 14,7 тС/сут. соответственно. Если произвести расчет эмиссии при площади 240 км², то ее значения составят 4,8, 32,1 и 11,7 тС/сут. соответственно, что на 20–25% меньше. Такая разница является весьма существенной при оценке выхода парниковых газов с поверхности, занятой водохранилищем, что указывает на важность точного определения его площади.

ВЫВОДЫ

Анализ карт, изданных в первые годы после создания Иваньковского водохранилища, показал, что на них границы водохранилища сильно генерализованы и отличаются значительной изменчивостью расположения. Авторы предполагают, что в существенной степени это обусловлено не зарастанием, а недостаточным обследованием водоема. Наиболее сильные изменения происходят на картах в период с 1937 по 1940–1941 гг., в первую очередь они связаны с уменьшением площади Шошинского плеса. На картах, отражающих состояние местности после 1940–1941 гг., площадь водохранилища значительно меньше, чем в официальных источниках.

Одним из первых спутниковых изображений Иваньковского водохранилища является снимок, полученный сенсором спутника Landsat-2 в 1975 г., и с этого периода его площадь не претерпела значительных изменений. Сравнительный анализ спутниковых снимков 1975 и 2019 гг. показал, что фактическая площадь водного зеркала Иваньковского водохранилища на 22–33% меньше значений, приводимых в литературе и в [Приказ..., 2019]. Оценка площади водоема по снимкам других лет подтвердила полученные результаты.

Авторы не ставили задачу установления площади водного зеркала в первые годы существования водоема, но предполагают, что она была меньше официальных данных. В дальнейшем произошло ее сокращение по причине интенсивного зарастания в первые десятилетия после заполнения водохранилища. Следует учитывать, что приводимые в других исследованиях площади зарастания водоема могут быть завышены, так как они, вероятно, базировались на официальных данных о площади водохранилища.

В большинстве литературных источников, вероятно, было использовано значение из технического отчета о строительстве канала Москва – Волга. Отчет был выпущен в первые годы существования водохранилища, и в нем приведены проектные значения.

Площадь водоема по данным ДЗЗ при уровнях, близких к НПУ в большинстве случаев находится в пределах 220–240 км². Эти значения справедливы при уклоне водной поверхности в период межени. При пропуске максимальных расходов воды, когда кривые свободной поверхности Иваньковского водохранилища имеют значительный уклон, могут происходить существенные подтопления в верховьях Шошинского плеса, а также менее значительные подтопления в среднем течении Волжского плеса и в устье Шоши.

Поскольку площадь водного зеркала Иваньковского водохранилища по данным ДЗЗ значитель-

но отличается от приведенных в [Приказ..., 2019], необходимо проведение новых наземных исследований по уточнению морфометрических характеристик водоема для построения батиметрической кар-

ты водоема, отбивки береговой линии, определения площади водного зеркала при НПУ, уточнения полного объема водохранилища при НПУ и площади зарастания макрофитами.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 24–27–00034.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Большой советский атлас мира: в 2 т. М.: Изд. по постановлению ЦИК и СНК СССР. 1939. Т. 2.
- Бочаров А.В., Межеумов И.Н., Пахомов П.М. и др. Территориальная дифференциация водных и наземных геосистем с использованием данных космических сенсоров // Гидрометеорология и экология. 2021. Т. 65. С. 726–737. DOI: 10.33933/2713-3001-2021-65-726-737.
- Волга и ее жизнь. Л.: Наука. 1978. 350 с.
- Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. Л.: Гидрометеоздат, 1975. 292 с.
- Гречушников М.Г., Григорьева И.Л., Ломова Д.В. и др. Формирование гидроэкологической структуры Иваньковского водохранилища в летний период в смежные годы с различными погодными условиями // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2024. Т. 60. № 3. С. 373–388.
- Григорьева И.Л., Федорова Л.П. Негативные изменения гидроэкологического состояния Иваньковского водохранилища под воздействием антропогенных факторов // Труды научной сессии, посвященной 90-летию кафедры гидрологии суши факультета географии и геоэкологии СПбГУ «Географические и экологические аспекты гидрологии» С.-Петербург, 26–27 марта 2008 г. СПб., 2010. С. 131–134.
- Иваньковское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука. 1978. 304 с.
- Канал Москва – Волга. 1932–1937. Технический отчет. Ленинград: Стройиздат, 1940. 316 с.
- Карты РККА Валдайской возвышенности. Состояние местности на 1940–1941. Масштаб 1 : 200 000. Составлена и вычерчена в Ленинградской картографической части по карте 1 : 100 000. М.: Генеральный штаб РККА, 1941.
- Карты РККА Европейской части СССР. Состояние мест-
- ности на 1937–1941. Масштаб 1 : 500 000. М.: Генеральный штаб РККА, 1941.
- Приказ Росводресурсов от 31.05.2019 № 125 «Об утверждении Правил использования водных ресурсов Иваньковского водохранилища на р. Волге» // Зарегистрирован в Минюсте России 14.08.2019 № 55596.
- Тихомиров О.А. Трансформация структуры аквальных комплексов равнинного водохранилища // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2010. № 1. С. 44–49.
- Чичкова Е.Ф., Кондратьев С.А., Рыжиков Д.М. и др. Идентификация типов подстилающей поверхности по данным спутниковой съемки Landsat с целью оценки биогенной нагрузки на Финский залив // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2016. № 43. С. 246–254.
- Экологические проблемы Верхней Волги: коллективная монография. Ярославль: ЯГТУ. 2001. 427 с.
- Электронные ресурсы*
- Схематическая карта Калининской области 1937 г. Масштаб 1 : 500 000. URL: https://primo.nl.ru/permalink/f/df0lai/07NLR_LMS012864108 (дата обращения 08.07.2024).
- Copernicus DEM – Глобальная и европейская цифровая модель рельефа. URL: <https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model> (дата обращения 01.05.2024).
- Google Earth Engine, URL: <https://code.earthengine.google.com/> (дата обращения 30.04.2024).
- Sentinel-2 Mission guide, URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (дата обращения 30.04.2024).
- U.S. Geological Survey. Landsat Satellite Missions (Landsat-2), URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-2> (дата обращения 30.04.2024).

Поступила в редакцию 24.08.2024

После доработки 10.02.2025

Принята к публикации 20.05.2025

UPDATING OF THE WATER SURFACE AREA OF THE IVANKOVSKOYE RESERVOIR BASED ON THE EARTH REMOTE SENSING DATA

A.V. Bocharov¹, M.G. Grechushnikova², S.I. Bidenko³, S.A. Lebedev⁴, I.L. Grigoryeva⁵

¹ Tver State University, Faculty of Geography and Geoecology, Department of Physical Geography and Ecology; Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Laboratories of Experimental Ocean Physics

^{1,2} Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Ivankovo Research Station

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology

³ JSC NPO Impulse, Department of Innovative Development and Strategic Planning

⁴ Geophysical Center of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Geoinformatics and Geomagnetic Research; Maikop State Technological University, Laboratory of Geoinformatics, Geoecology and Rational Nature Management

⁵ Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Hydrology and Hydrochemistry

¹ Senior Lecturer; Engineer; Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: bochalex@bk.ru

² Head of the research group; Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: allavis@mail.ru

³ Chief expert, D.Sc. in Tech.; e-mail: sibidenko@mail.ru

⁴ Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Phys.-Math.; e-mail: sergey_a_lebedev@mail.ru

⁵ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: irina_grigorieva@list.ru

The Ivankovskoye Reservoir is a shallow reservoir of the valley-basin type. Low banks and overgrowing of shallow waters cause difficulties in determining its coastline and water surface area. In the Order of Rosvodresursy dated 31.05.2019 no. 125, the area of the reservoir is indicated as 316 km², while the earlier publications gave the value of 327 km². However, even a preliminary analysis of remote sensing data proves that the actual area of the Ivankovskoye Reservoir differs significantly from those mentioned in publications. The work is devoted to clarifying the water surface area of the reservoir using satellite data. The available cartographic materials and remote sensing data, starting from the filling of the reservoir to the present were assessed. According to retrospective data, it was established that the area of the reservoir on the maps compiled in the first years after filling was significantly larger than on later maps, which show a significant decrease of the part of the Shoshinsky reach. The total area of the reservoir is equal to or less than the reference values. The first available satellite images of the Ivankovskoye Reservoir water area date back to the early 1970s, which allows estimating the area of the reservoir from that period to the present. The Sentinel-2 satellite images were used for interpretation and analysis. Based on remote sensing data, the values of the actual area of the Ivankovskoye Reservoir water surface were identified at different water levels during the period of no ice formation. According to the obtained data, the actual area of the reservoir at levels close to the normal backwater is in most cases within 220–240 km², which is 22–31% less than in the interpolation table of the surface area of the Ivankovskoye Reservoir at different water levels given in the “Rules for the Use of Water Resources of the Ivankovskoye Reservoir on the Volga River” (Order of Rosvodresursy dated 31.05.2019 no. 125). The use of an overestimated water surface area of the reservoir in research and design projects distorts the assessment of the reservoir’s impact on the environment and other ecological and hydrological characteristics. The paper provides an example of calculating methane emissions from the Ivankovskoye Reservoir, which turned out to be 20–25% lower based on the adjusted area. It is recommended to clarify the morphometric characteristics of the Ivankovskoye Reservoir in the coming years.

Keywords: boundaries of water bodies, water levels, morphometric characteristics, Sentinel-2, Landsat-2, methane emission

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (project 24-27-00034).

REFERENCES

- Bocharov A.V., Mezheumov I.N., Pakhomov P.M. at el. Territorial'naya differentsiatsiya vodnykh i nazemnykh geosistem s ispol'zovaniem dannykh kosmicheskikh sensorov [Territorial differentiation of water and terrestrial geosystems using data from space sensors], *Gidrometeorologiya i Ekologiya*, 2021, no. 65, p. 726–737, DOI: 10.33933/2713-3001-2021-65-726-737. (In Russian)
- Bol'shoi sovetskii atlas mira, v 2 t. [The Great Soviet Atlas of the World, in 2 vol.], Moscow, Published by resolution of the Central Executive Committee and the Council of People's Commissars of the USSR, 1939, vol. 2. (In Russian)
- Chichkova E.F., Kondrat'ev S.A., Ryzhikov D.M. at el. Identifikatsiya tipov podstilayushchei poverkhnosti po dannym sputnikovoi s'emki Landsat s tsel'yu otsenki biogennoi nagruzki na finskii zaliv [Identification of underlying surface types using Landsat satellite imagery to assess nutrient load in the Gulf of Finland], *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*, 2016, no. 43, p. 246–254. (In Russian)

- Ekologicheskie problemy Verkhnei Volgi: Kollektivnaya monografiya* [Environmental problems of the Upper Volga River: Collective monograph], Yaroslavl, YaGTU Publ., 2001, 427 p. (In Russian)
- Gidrometeorologicheskii rezhim ozer i vodokhranilishch SSSR. Vodokhranilishcha Verkhnei Volgi [Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. Reservoirs of the Upper Volga River], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 292 p. (In Russian)
- Grechushnikova M.G., Grigoryeva I.L., Lomova D.V. at el. Formirovanie gidroekologicheskoi struktury Ivan'kovskogo vodokhranilishcha v letnii period v smezhnye gody s razlichnymi pogodnymi usloviyami [Formation of the hydroecological structure of the Ivankovsky reservoir in the summer period in adjacent years with different weather conditions], *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*, 2024, vol. 60, no. 3, p. 373–388. (In Russian)
- Grigoryeva I.L., Fedorova L.P. [Negative changes in the hydroecological state of the Ivankovo reservoir under the influence of anthropogenic factors], *Geograficheskie i ekologicheskie aspekty gidrologii* [Proceedings of the scientific session dedicated to the 90th anniversary of the Department of Land Hydrology of the Faculty of Geography and Geocology of St. Petersburg State University “Geographical and Environmental Aspects of Hydrology”], March 26–27, 2008, St. Petersburg, 2010, p. 131–134. (In Russian)
- Ivan'kovskoe vodokhranilishche i ego zhizn'* [Ivankovskoye Reservoir and its life], Leningrad, Nauka Publ., 1978, 304 p. (In Russian)
- Kanal Moskva-Volga. 1932–1937. Tekhnicheskii otchet* [Moscow–Volga Canal. 1932–1937. Technical report], Leningrad, Stroizdat Publ., 1940, 316 p. (In Russian)
- Karta RKKA Evropeiskoi chasti SSSR. Sostoyanie mestnosti na 1937–1941. Masshtab 1 : 500 000* [The Red Army Map of the European part of the USSR. State of the area as of 1937–1941. Scale 1 : 500 000], 1941. (In Russian)
- Karta RKKA Valdaiskoi vozvyshennosti. Sostoyanie mestnosti na 1940–1941. Masshtab 1 : 200 000* [The Red Army Map of the Valdai Hills. State of the area as of 1940–1941. Scale 1 : 200 000], 1941. (In Russian)
- Prikaz Rosvodresursov* ot 31.05.2019 no. 125 “Ob utverzhdenii Pravil ispol'zovaniya vodnykh resursov Ivan'kovskogo vodokhranilishcha na r. Volge” [Order of Rosvodresursov dated May 31, 2019 No 125 “On approval of the Rules for the use of water resources of the Ivankovo Reservoir on the Volga River”], 2019. (In Russian)
- Tikhomirov O.A. Transformatsiya struktury akval'nykh kompleksov ravninnogo vodokhranilishcha [Transformation of the structure of aquatic complexes of a lowland reservoir], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2010, no. 1, p. 44–49. (In Russian)
- Volga i ee zhizn'* [Volga and its life], Leningrad, Nauka Publ., 1978, 350 p. (In Russian)
- Web sources*
- Skhematicheskaya karta Kalininskoi oblasti 1937. Masshtab 1 : 500 000* [Schematic map of the Kalinin region 1937. Scale 1 : 500 000], URL: https://primo.nlr.ru/permalink/f/df0lai/07NLR_LMS012864108 (access date 08.07.2024). (In Russian)
- Copernicus DEM – Global and European Digital Elevation Model, URL: <https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model> (access date 01.05.2024).
- Google Earth Engine, URL: <https://code.earthengine.google.com/> (access date 08.07.2024).
- Sentinel-2 Mission guide, URL: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> (access date 30.04.2024).
- U.S. Geological Survey. Landsat Satellite Missions (Landsat-2), URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-2> (access date 30.04.2024).

Received 24.08.2024

Revised 10.02.2025

Accepted 20.05.2025

ДИНАМИКА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 556.537; 551.435.133

РАЗМЫВ БЕРЕГОВ НА РЕКАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.А. Куракова¹, Е.Д. Павлюкевич², Д.В. Большаков³

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева*

² *Институт водных проблем РАН, лаборатория региональной гидрологии*

³ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория геохимии природных вод*

¹ *Науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: a.a.kurakova@mail.ru*

² *Вед. инженер, мл. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: ekaterina.kornilova.hydro@gmail.com*

³ *Мл. науч. сотр.; e-mail: bolshakovdv@my.msu.ru*

В последние десятилетия изменение климата и деятельность человека оказывают все большее воздействие на реки, что во многом может провоцировать или усиливать проявление опасных русловых процессов (размывов берегов). Доступность спутниковых снимков с глобальным охватом предоставляет широкие возможности для изучения плановых деформаций русла и их количественной оценки. Это все стало основой для активного развития методов дистанционного зондирования, которое можно было бы широко применять при всем разнообразии размеров рек и их типов русла. Статья посвящена обобщающему анализу опасных проявлений русловых процессов (размывов берегов) на равнинных реках Западной Сибири при помощи современных методов их анализа. Для анализа были использованы спутниковые снимки CORONA, Landsat и Sentinel, которые позволяют детализировать изменения береговых линий с высокой точностью с использованием традиционного (ручного) и полуавтоматизированного методов дешифрирования и оцифровки космических снимков при помощи инструментов ГИС. Результаты показали, что скорость размыва берегов варьирует в зависимости от природных условий формирования русла, гидрологических условий и размера реки. На Оби и Иртыше темпы размыва берегов изменяются в первую очередь от местных факторов, таких как рассредоточение стока в рукавах разветвлений, влияние коренных берегов, распространение типов русла и морфологически однородных участков, параметры их форм и т. д. Среди больших и средних рек наиболее высокие скорости (2–3 м/год и более) размыва зафиксированы на реках Томь и Чулым, но в целом для рек Западной Сибири характерны относительно низкие скорости размыва берегов, что связано с природными особенностями региона.

Ключевые слова: русловые процессы, русловые деформации, дистанционные методы, ГИС

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.4

ВВЕДЕНИЕ

Реки и приречные территории издавна активно использовались для расселения и хозяйственной деятельности человека. В настоящее время на поймах крупнейших рек проживает почти 3 млрд человек [Best, 2019]. Используя реки и их ресурсы в качестве источника питания, для добычи полезных ископаемых, судоходства, ирригации, выработки электроэнергии и т. п., одновременно происходит их истощение и нарушение естественного режима природных процессов, на которые накладываются современные гидроклиматические изменения. Так, например, извлечение аллювия из русла Меконга, а также строительство плотин на нем привели к мор-

фологическим изменениям русла, изменению объемов поступления наносов в русло и увеличению интенсивности размыва берегов [Brunier et al., 2014; Hang et al., 2023].

Определение размывов берегов и их характеристик – задача, которая активно исследуется как в нашей стране, так и за рубежом. Доступ к разновременным спутниковым снимкам с глобальным охватом и постоянно появляющиеся и совершенствующиеся методы их обработки с помощью ГИС дают широкие возможности для проведения ретроспективного анализа смещений русел средних, больших и крупнейших рек, получения большого объема данных об их переформированиях за много-

летний период с количественными и качественными характеристиками горизонтальных русловых деформаций. Одним из основных автоматизированных методов определения количественных показателей размыва берегов является метод центральных (осевых) линий русла. Они определяются на каждом изображении и коррелируются во времени с использованием алгоритмов поиска ближайших соседей [Rowland et al., 2016]. Такой подход в основном используется для однорукавных меандрирующих русел [Sylvester et al., 2019], тогда как для разветвленных он показывает неточности и сложен в применении [Dey, Bhattacharya, 2014]. Кроме того, подход, основанный на центральных линиях, не может показывать изменение обоих берегов, которые могут размываться и нарастать с разной скоростью, особенно в течение короткого периода времени (до 10 лет) [Mason, Mohrig, 2019]. Чтобы преодолеть ограничения, возникающие в ходе применения подхода центральных линий, были разработаны новые автоматизированные методы, направленные на отслеживание изменения береговых линий. Одним из таких является измерение пространственной непрерывности эрозии и наращивания речных берегов – Spatially Continuous Riverbank Erosion and Accretion Measurements (SCREAM) [Rowland et al., 2016]. В начале каждое спутниковое изображение преобразуется в двоичную маску, представляющую либо реку, либо сушу. Затем определяются отдельные участки, которые превратились из суши в реку (эрозия) или из реки в сушу (наращивание) между масками. Линейные скорости эрозии/аккумуляции рассчитываются для каждого фронта по расстоянию от ближайшего соседа берега на одном изображении до пикселей берега на последующем изображении в пределах той же области эрозии/аккумуляции [Rowland et al., 2016]. На примере р. Джамуна в Бангладеш авторы определяли зоны размыва и наращивания берегов на основе анализа комбинации каналов спутниковых изображений Landsat MSS и TM за 30 лет (с 1973 по 2003 г.) в краткосрочном (скорость размыва или аккумуляции рассчитывалась между двумя доступными последовательными изображениями) и в долгосрочном (на основе сравнения между самым ранним изображением 1973 г. и последующими изображениями) плане, разделив участок реки протяженностью 205 км на 411 поперечных сечений с интервалом 0,5 км и назначением на них контрольных точек [Baki, Gan, 2012]. Другой, более комплексный подход разработали ученые из США, в котором определяли количественные показатели горизонтальных деформаций в площадном виде для рек разного морфодинамического типа (извилистые или разветвленные русла), а также учитывали переформирования не только в масштабе

русла, но и его перестройку на уровне поймы (например, спрямление излучин и образование старичных озер или превращение основного русла в маловодные пойменные протоки). Их подход основан на сочетании лабораторных исследований, методов численного моделирования и анализа спутниковых снимков [Greenberg et al., 2023]. Альтернативным методом количественной оценки размывов берегов с использованием космических снимков и возможностей ГИС является велосиметрия изображения частиц – Particle Image Velocimetry (PIV), основанная на отслеживании изменений береговой линии по изменению пикселей изображения (а не осевых линий), и которая одинаково применима как к однорукавным, так и разветвленным руслам [Chadwick et al., 2023].

На основе глобальных исследований было выявлено, что по сравнению с крупнейшими реками мира для Оби характерны относительно низкие скорости размыва берегов (не более 6–7 м/год), тогда как для Надыма, Пура и Таза они несколько выше [Langhorst, Pavelsky, 2023]. Русловые исследования рек Западной Сибири, проводившиеся с давних времен, долгое время были сосредоточены преимущественно на юго-востоке Обского бассейна [Чалов и др., 2001], в настоящее время их география расширяется [Куракова, Чалов, 2020; Куракова, 2022, Чалов и др., 2024], том числе с применением дистанционных методов [Вершинин и др., 2018] и стационарных наблюдений [Коркин, Исыпов, 2022].

Задача настоящей статьи – на основе современных подходов обработки и анализа космических снимков провести обобщающий пространственный анализ размывов берегов на реках Западной Сибири.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве наиболее ранних спутниковых изображений были подобраны монохромные космические снимки CORONA (разрешение снимков – 1,8 м/пикс) на среднюю и нижнюю Обь. Архив снимков создавался в 1950–1970-х гг. в рамках американских разведывательных миссий CORONA и LANYARD. Эти данные были рассекречены министерством обороны США и в настоящее время предоставляются на коммерческой основе через архив Геологической службы США (USGS) EarthExplorer. Также через портал EarthExplorer USGS и Центр открытого доступа Copernicus на исследуемые участки рек были подобраны мультиспектральные космические снимки, полученные со спутников семейства Landsat (TM 7, 8) и Sentinel, которые были подобраны на Обь, Иртыш и остальные большие и средние реки исследуемой территории. Данные, получаемые с этих сканирующих систем, отличаются различным количеством мультиспектральных

каналов и пространственным разрешением изображений, так как при их создании использовалось различное съемочное оборудование. Разрешение снимков возрастает с 28,5 м/пикс (Landsat TM) до 10 м/пикс (Sentinel). Дальнейшая их обработка основывается на спектральном анализе (отражательной способности) различных элементов земных ландшафтов. Получив несколько изображений в различных участках спектра, можно четче идентифицировать объекты (например, становятся четче дешифрируемыми границы между береговыми бровками и водной поверхностью). Самой оптимальной комбинацией является сочетание ближнего, среднего ИК и красного видимого каналов. Это позволяет четко различить границу между водой и сушией и подчеркнуть скрытые детали, плохо видимые при использовании только каналов видимого диапазона. С большой точностью будут детектироваться водные объекты внутри суши. В период с 2009 г. по настоящее время используется спутник Landsat-7, на котором установлен улучшенный тематический сканер (ETM+). Одни из последних космических снимков, принадлежащих программе Landsat, были получены со спутника Landsat-8, запущенного в 2013 г. и использующего новую схему Push broom scanner с линейными датчиками. Landsat-8 получает изображения в видимом диапазоне волн, в ближнем и дальнем ИК с разрешением снимков 15, 30 и 100 м (панхроматический канал / мультиспектральный канал / дальний ИК). Космические аппараты Sentinel-2 оснащены мультиспектральным сенсором для съемок с разрешением от 10 до 60 м в видимой, ближней инфракрасной (VNIR) и коротковолновой инфракрасной (SWIR) зонах спектра, включающих в себя 13 спектральных каналов, что гарантирует отображение различий в состоянии гидрографической сети, в том числе временные изменения, а также сводит к минимуму влияние на качество съемки атмосферы.

Для рек Западной Сибири были использованы два метода получения представлений о современных темпах размыва берегов, которые подробно описаны и показаны в работе [Куракова, 2022]. Первый, традиционный метод, основанный на сопоставлении положения береговой линии по оцифрованным космическим снимкам разных лет, применялся для Оби и северных рек (Надым, Пур и Таз).

Второй метод был использован для определения размывов берегов Иртыша, других средних и больших рек, имеющих преимущественно неразветвленные меандрирующие русла. Этот подход, разработанный на основе опыта зарубежных коллег [Rowland et al., 2016; Chadwick et al., 2023; Greenberg et al., 2023] и сотрудников НИ Лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавее-

ва МГУ [Завадский и др., 2019; Школьный, 2020; Чалов и др., 2021], используя возможности инструментов ГИС-проекта ArcGIS, позволяет полуавтоматизировать процесс сопоставления разновременных спутниковых изображений с использованием центральной осевой линии русла и ускорить, по сравнению с традиционным методом, получение информации о размывах берегов, их темпах и протяженности, а также пространственном расположении и изменении по длине русла [Завадский и др., 2019; Куракова, 2022].

При обработке космических снимков, их дешифрировании, оцифровке русел рек и получении характеристик размыва берегов были разработаны авторские алгоритмы, позволяющие получить размывы берегов в линейном и площадном виде отдельно для рек с разветвленным и меандрирующим руслом и разного размера. Весь процесс разделяется на два этапа. Первый этап заключается в получении линий или полигонов русла одним из описанных выше методов – ручным или автоматизированным – в зависимости от размера реки и типа ее русла. Второй этап – это обработка и непосредственное получение количественных характеристик размывов берегов в линейном или площадном виде. Второй этап также автоматизирован при помощи различных ГИС-инструментов, которые позволяют намного быстрее по сравнению с ручной обработкой получить большой объем данных о скоростях (C , м/год) и протяженности фронтов (L , м) размыва берегов на реках в целом и изменении по их длине.

В ходе исследования было выявлено, что данный полуавтоматизированный метод успешно применим для рек Западной Сибири со среднегодовыми расходами воды более 100 м³/с, так как только при такой водоносности русла рек имеют достаточную ширину на космических снимках, позволяющую дешифрировать и выполнять необходимые операции в программе ArcGIS на значительных по протяженности участках (ширина реки как минимум два или три пикселя на снимке, т. е. 20 или 30 м и более в зависимости от разрешения снимка). Что было подтверждено на примере Тобола выше г. Ялуторовска, где из-за недостаточной ширины русла на снимках стало невозможным провести его дешифрирование с последующим расчетом размывов берегов.

Помимо этого, на реках, обрабатываемых полуавтоматизированным методом, были выбраны ключевые участки, где расчеты размыва берегов производились традиционным методом. Полученные данные автоматизированным и традиционным методом оказались близки друг другу, различаясь не более чем на 10%.

Для обоих методов была определена точность. Для Оби, при исследовании которой использовались

снимки высокого разрешения системы CORONA за продолжительный период времени (около 50 лет), минимальный порог скорости отступления берегов был определен от 0,5 м/год. Для остальных рек (Надым, Пур, Таз, Иртыш и их притоки, притоки Оби) разрешение космических снимков (30 м) и рассматриваемый временной период в среднем около 30 лет определяют пороговое значение выявляемых скоростей размыва берегов – 1 м/год. В эти же пороги закладывались и погрешности, которые могут возникнуть в результате привязки снимков, ручной оцифровки береговой линии и применения автоматизированного метода. Ввиду того что значения определялись за большой период времени, влияние колебаний уровней воды, смен фаз водного режима и периодов водности сводится к минимуму. Это также было подтверждено дополнительными исследованиями, которые показали, что погрешность в определении скоростей размыва берегов при подборе снимков близкой водности или просто относящихся к одному периоду с одной и той же фазой водного режима составляет до 7,4% для среднегодовых и до 6,7% для максимальных значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании были рассмотрены средние, большие и крупнейшие равнинные реки Западной Сибири: Обь (от слияния Бии и Катунь до г. Салехарда), Иртыш (от государственной границы до слияния с Обью), Надым (208–0 км), Пур (395–0 км), Таз (405–0 км), и их притоки – Томь (379–0 км), Чулым (400–0 км), Кеть (556–0 км), Тым (311–0 км), Вах (771–0 км), Тромъеган (389–0 км), Аган (373–0 км), Лямин (277–0 км), Назым (91–0 км), Казым (444–0 км), Куноват (49–0 км), Полуй (397–0 км), Парабель (246–0 км), Васюган (470–0 км), Большой Юган (294–0 км), Северная Сосьва (153–0 км), Демьянка (311–0 км), Ишим (224–0 км), Тобол (434–0 км), Тура (659–0 км), Тавда (730–0 км), Конда (735–0 км), Хейгияха (89–0 км), Левая Хетта (88–0 км), Евояха (96–0 км), Русская (104–0 км). Для всех них характерно широкое распространение размываемых берегов, что определяется свободными условиями развития русловых деформаций практически на всей рассматриваемой территории и абсолютным преобладанием рыхлых, легко размываемых отложений, слагающих берега рек (рис.).

Для средних и большинства больших рек характерны относительно невысокие скорости размыва берегов (не более 3 м/год), на крупнейших (Обь и Иртыш) и в низовьях некоторых больших рек (Томь, Чулым, Тобол) темпы отступления берегов возрастают, достигая иногда 7 м/год и более (см. рис., табл. 1, 2).

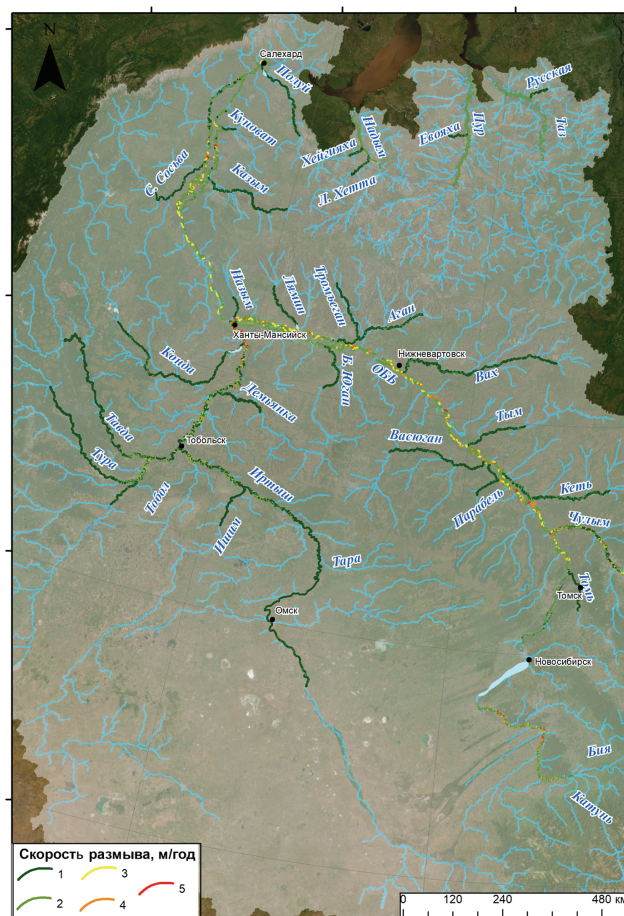


Рис. Распространение размываемых берегов и скоростей их размыва на реках Западной Сибири: 1 – <1 м/год, 2 – 1–3 м/год, 3 – 3–5 м/год, 4 – 5–7 м/год, 5 – >7 м/год

Fig. Location of eroded banks and their erosion rates on the rivers of Western Siberia: 1 – <1 m/year; 2 – 1–3 m/year; 3 – 3–5 m/year; 4 – 5–7 m/year; 5 – >7 m/year

На Оби от устья р. Томи до г. Салехарда при росте вниз по течению водоносности реки направленного тренда на увеличение интенсивности отступления берегов в этом же направлении не прослеживается; наоборот, можно говорить о снижении максимальных значений, особенно на нижней Оби. Это связано с рассредоточением стока воды по рукавам сначала пойменно-русловых разветвлений и пойменным протокам (от г. Колпашево до устья Ваха), а затем раздвоенного русла, пойменным протокам (ответвлениям) и по расширяющейся пойме при ее глубоком и длительном затоплении в половодье, на фоне постоянных изменений морфодинамического типа русла. Влияние коренных берегов почти не сказывается на средней Оби из-за локальности их подходов к реке и практически постоянно проявляется на всем протяжении нижней Оби, в т. ч. для правого рукава раздвоенного русла (Горной и Большой Оби) [Куракова, 2022]. На участке Оби от слияния Бии и Катунь до

устья р. Томи, наблюдается следующая картина. До Новосибирского гидроузла средние скорости размыва берегов Оби одни из самых высоких (табл. 1) ввиду того, что русло на данном участке является неустойчивым ($L = 1,5-2,0$), сопровождаясь активными перестройками русла. Ниже водохранилища скорости размыва падают практически в два раза

для средних значений и более чем в три раза для максимальных. Это объясняется тем, что после строительства и заполнения водохранилища горизонтальные русловые деформации со временем начали затухать, а наличие скальных выступов, которые широко распространены на данном участке, препятствуют активным размывам берегов.

Таблица 1

Характеристики размыва берегов на Оби (1960–2020-е) и Иртыше (1980–2020-е)

Участок	$C_{\text{ср}}$, м/год	$C_{\text{макс}}$, м/год
<i>Обь</i>		
Слияние Бии и Катунь – Новосибирский гидроузел	3,3	26,1
Новосибирский гидроузел – устье р. Томи	1,8	7,1
Устье р. Томи – устье р. Ваха	3,1	26,6
Устье р. Ваха – устье р. Иртыша	2,1	17,6
Устье р. Иртыша – разделение на Малую и Горную Обь (с. Перегребное)	2,3	16,6
Раздвоенное русло нижней Оби	2,0	10,7
Слияние Малой и Большой Оби – г. Салехард	1,8	7,4
<i>Иртыш</i>		
Государственная граница – г. Омск	1,7	5,1
Г. Омск – устье р. Тары	2,2	8,0
Устье р. Тары – 850 км	2,0	9,2
850 км – устье р. Тобола	2,3	8,4
Устье р. Тобола – устье р. Демьянки	1,3	11,9
Устье р. Демьянки – устье р. Конды	1,9	13,0
Устье р. Конды – слияние Иртыша и Оби	5,5	17,2

Для Иртыша (от устья Тары до слияния Иртыша с Обью) наблюдается постепенное увеличение темпов отступления берегов вниз к устью, что коррелирует с увеличением водоносности реки, а также постепенным расширением дна долины и уменьшением влияния коренных берегов в том же направлении [Куракова, 2022]. Выше устья р. Тары скорости размыва берегов несколько снижены: от государственной границы до г. Омска – в пределах лесостепи – средняя скорость отступления берегов Иртыша составляет 1,7 м/год, что объясняется, с одной стороны, влиянием коренных берегов на условия развития русла, вблизи или вдоль которых оно располагается, с другой стороны, до Омска р. Иртыш не принимает ни одного крупного притока, обуславливая слабое нарастание водоносности вниз по течению, а также на данном участке прослеживается влияние каскада ГЭС, сооруженных на реке в пределах Казахстана, которое проявляется в снижении уровней воды. Ниже г. Омска интенсивность горизонтальных русловых деформаций несколько возрастает

и проявляется на том же уровне, что и ниже по течению до устья Тобола. Это объясняется таким же разнообразием условий формирования русла, что и на всем субширотном участке среднего Иртыша: колебанием ширины поймы (от 4 до более чем 20 км), периодическим подходом русла реки на некоторых участках к коренным берегам, ограничивающим проявления размывов берегов, а также постепенным нарастанием водоносности за счет впадения притоков и в целом сменой лесостепной зоны на лесную.

Обь и Иртыш, являющиеся полизональными, характеризуются широкими диапазонами скоростей размыва берегов ввиду того, что наравне с изменяющимися физико-географическими условиями формирования стока по длине рек большее значение имеет возрастающая роль местных факторов, таких как рассредоточение стока в рукавах разветвлений, влияние коренных берегов, распространение типов русла и морфологически однородных участков, параметры их форм и т. д.

Таблица 2

Характеристики размыва берегов на реках Западной Сибири (1980–2020-е)

Река	Границы рассматриваемого участка, км	С, м/год	
		Средняя	Максимальная
Томь	120–0	2,4	6,5
Чулым	400–0	3,3	12,7
Кеть	556–0	1,9	6,2
Тым	311–0	2,3	5,3
Вах	771–0	1,6	3,8
Тромъеган	389–0	1,6	5,9
Аган	373–0	1,7	8,9
Лямин	277–0	1,3	2,4
Назым	91–0	1,3	3,7
Казым	444–0	1,7	4,9
Куноват	49–0	1,6	3,9
Полуй	397–0	1,4	3,1
Конда	735–0	1,7	5,2
Северная Сосьва	153–0	2,3	6,8
Надым	208–0	1,5	4,1
Хейгияха	89–0	1,5	4,6
Левая Хетта	88–0	1,6	5,0
Пур	395–0	1,7	7,3
Евояха	96–0	1,6	6,3
Таз	405–0	1,5	4,6
Русская	104–0	1,7	4,3
Парабель	246–0	1,2	2,1
Васюган	470–0	2,1	4,4
Большой Юган	294–0	1,5	3,4
Демьянка	311–0	1,4	3,3
Ишим	224–0	1,0	1,1
Тобол	434–0	1,9	6,8
Тура	659–0	2,0	6
Тавда	730–0	2,2	7,1

Для средних и больших рек Западной Сибири скорости размыва берегов изменяются преимущественно в диапазоне от 1 до 3 м/год (см. рис., табл. 2). Наиболее активные горизонтальные русловые деформации наблюдаются на Томи и Чулыме: их берега в среднем размываются со скоростями 2,4 и 3,3 м/год (максимальные – до 6,5 и 12,7 м/год соответственно). По правобережью Оби с юго-восточного в северо-западном направлении, включающем бассейны рек Кеть, Тым, Вах, Тромъеган и Аган, Лямин, Назым и Казым, скорость размыва берегов снижается. На них средняя скорость размыва берегов колеблется от 1,5 до 1,9 м/год (исключение – Тым, где средняя скорость несколько

выше – 2,3 м/год). Максимальные размывы берегов изменяются в широком диапазоне – 2,4–8,9 м/год. На северных реках, таких как Надым, Пур, Таз и их притоки, Северная Сосьва, Полуй и Куноват, а также Конда, интенсивность отступления берегов составляет не более 2 м/год, кроме Северной Сосьвы, у которой средняя скорость размыва берегов 2,3 м/год. Максимальная скорость размыва берегов данных рек в основном не превышает 5 м/год; только на Пуре и его притоке Евояха, а также на Северной Сосьве скорость размыва выше и составляет 6–7 м/год. На западе региона, где расположены бассейны Туры и Тавды, зафиксированы скорости размыва берегов около 2 м/год

(среднее значение) и 6–7 м/год (максимальное). Интенсивность горизонтальных русловых деформаций в Обь-Иртышском междуречье (рр. Парабель, Васюган, Большой Юган и Демьянка) и на юго-западной части региона (рр. Тобол и Ишим) характеризуется скоростью до 1,5 м/год, только на Тоболе и Васюгане она несколько выше – около 2 м/год.

В целом для средних и больших рек Западной Сибири отмечается снижение скорости размыва берегов с запада и юго-востока рассматриваемой территории к северу и Обь-Иртышскому междуречью. Это связано с общим увеличением в этих направлениях естественной зарегулированности стока болотами и озерами, появлением вечной мерзлоты в северных районах, а также изменением внутригодового распределения стока (источника и сезона) ввиду смены режима температуры, осадков и изменения гидрогеологического строения территории.

ВЫВОДЫ

Реки и приречные территории играют ключевую роль в жизни и хозяйственной деятельности человека. Однако их активное использование может приводить к нарушению природных процес-

сов и возникновению опасных явлений. Современные методы обработки космических снимков и использования ГИС-технологий позволяют детально анализировать и количественно оценивать процессы размыва берегов рек, а также получать большие объемы данных и проводить статистически значимый анализ. Проведенное исследование показывает, что размывы берегов на реках Западной Сибири варьируют в зависимости от размера реки, ее географического расположения и условий формирования стока воды и русла. Для русел крупнейших рек, таких как Обь и Иртыш, характерны сложные динамические процессы, зависящие от множества факторов, включая водоносность, влияние коренных берегов, распределение стока по рукавам и тип русла. Для остальных равнинных рек Западной Сибири наблюдаются значительные изменения скоростей размыва в зависимости от их географических и гидрологических особенностей. Важно учитывать все эти различия при планировании и управлении водными ресурсами, чтобы минимизировать негативные последствия опасных русловых процессов и сохранить природные экосистемы рек и их пойм.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (№ 23-17-00065 – обобщение данных по размывам берегов на реках Обь-Иртышского бассейна в пределах лесной зоны, № 23-77-01006 – новые данные и общий анализ размывов берегов на равнинных реках Западной Сибири).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вершинин Д.А., Земцов В.А., Инешева Н.Г. и др. Проблемы русловых процессов рек Западной Сибири и результаты исследования в этой области // Тридцать третье пленар. межвуз. совещ. по пробл. эрозионных, русловых и устьевых процессов. 2018. С. 30–38.
- Завадский А.С., Чалов С.Р., Чернов А.В. и др. Морфодинамика русел и баланс наносов рек бассейна Селенги (Монголия – Россия) // Эрозия почв и русловые процессы. 2019. Т. 21. С. 149–170.
- Жуков С.Е., Исыпов В.А. Анализ горизонтальных русловых деформаций средней Оби на основе стационарных наблюдений // Геоморфология и палеогеография. 2022. Т. 53. № 4. С. 85–97. DOI: 10.31857/S043542812204006X.
- Куракова А.А. Гидролого-морфодинамический анализ русел и опасные проявления русловых процессов на равнинных реках Обь-Иртышского бассейна (лесная зона): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2022. 95 с.
- Куракова А.А., Чалов С.Р. Морфология русла и размывы берегов нижней Оби (в пределах ХМАО – Югры) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 6. С. 41–50.
- Чалов С.Р., Голубцов Г.Б., Завадский А.С., Куракова А.А. Условия формирования и особенности морфодинамики разветвленного русла среднего Иртыша // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. Т. 79. № 4. С. 119–132. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.4.10.
- Чалов С.Р., Плескевич Е.М., Баула В.А. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
- Чалов С.Р., Чалова А.С., Школьный Д.И. Количественная оценка плановых переформирований реки Камчатки // Известия РАН. Серия геогр. 2021. Т. 85. № 2. С. 218–230. DOI: 10.31857/S2587556621020035.
- Школьный Д.И. Оценка характерных скоростей отступления берегов рек России по данным спутникового мониторинга // Маккавеевские чтения – 2020. М., 2020. С. 71–83.
- Baki A.B.M., Gan T.Y. Riverbank migration and island dynamics of the braided Jamuna River of the Ganges – Brahmaputra basin using multi-temporal Landsat images, *Quaternary International*, 2012, vol. 263, p. 148–161, DOI: 10.1016/j.quaint.2012.03.016.
- Best J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers, *Nature Geoscience*, 2019, vol. 12, no. 1, p. 7–21, DOI: 10.1038/s41561-018-0262-x.
- Brunier G., Anthony E.J., Goichot M. et al. Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: The marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilisation, *Geomorpho-*

- logy, 2014, vol. 224, p. 177–191, DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.07.009.
- Chadwick A.J., Greenberg E., Ganti V. Remote Sensing of Riverbank Migration Using Particle Image Velocimetry, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2023, vol. 128, no. 7, DOI: 10.1029/2023JF007177.
- Dey A., Bhattacharya R.K. Monitoring of River Center Line and Width – A Study on River Brahmaputra, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2014, vol. 42, no. 2, p. 475–482, DOI: 10.1007/s12524-013-0277-0.
- Greenberg E., Chadwick A.J., Ganti V. A Generalized Area-Based Framework to Quantify River Mobility From Remotely Sensed Imagery, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2023, vol. 128, no. 9, DOI: 10.1029/2023JF007189.
- Hang N.T.T., Nga T.N.Q., Thi K.T. et al. Spatial and temporal morphological changes in the lower Mekong River under the influence of sediment load reduction in the upstream, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1170, no. 1, p. 012028, DOI: 10.1088/1755-1315/1170/1/012028.
- Langhorst T., Pavelsky T. Global Observations of Riverbank Erosion and Accretion From Landsat Imagery, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2023, vol. 128, no. 2, DOI: 10.1029/2022JF006774.
- Mason J., Mohrig D. Differential bank migration and the maintenance of channel width in meandering river bends, *Geology*, 2019, vol. 47, no. 12, p. 1136–1140, DOI: 10.1130/G46651.1.
- Rowland J.C., Shelef E., Pope P.A. et al. A morphology independent methodology for quantifying planview river change and characteristics from remotely sensed imagery, *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 184, p. 212–228, DOI: 10.1016/j.RSE.2016.07.005.
- Sylvester Z., Durkin P., Covault J.A. High curvatures drive river meandering, *Geology*, 2019, vol. 47, no. 3, p. 263–266, DOI: 10.1130/G45608.1.

Поступила в редакцию 21.01.2025

После доработки 13.03.2025

Принята к публикации 20.05.2025

STREAM-BANK EROSION ON THE RIVERS OF WESTERN SIBERIA

A.A. Kurakova¹, E.D. Pavlyukevich², D.V. Bolshakov³

^{1,2} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes

² Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Laboratory of Regional Hydrology

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Geochemistry of Natural Waters

¹ Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: a.a.kurakova@mail.ru

² Junior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ekaterina.kornilova.hydro@gmail.com

³ Junior Scientific Researcher; e-mail: bolshakovdv@my.msu.ru

In recent decades, climate change and human activities increasingly impact rivers, which could provoke or enhance the dangerous riverbed processes, e.g. riverbank erosion. The availability of satellite images with global coverage provides ample opportunities for the study of horizontal channel deformations and their quantitative assessment. This became the basis for an active development of remote sensing methods that could be widely used for all the variety of river sizes and their channel types. The article deals with the general analysis of dangerous fluvial processes (riverbank erosion) on the lowland rivers of Western Siberia using modern methods of their investigation. Satellite images of CORONA, Landsat and Sentinel were used for the analysis, which make it possible to detail changes in banks with high accuracy by applying both traditional (manual) and semi-automated GIS tools-based methods of image interpretation and digitizing. The results showed that the rate of stream-bank erosion varies depending on the natural conditions of riverbed formation, the hydrological conditions and the river size. The rate of stream-bank erosion on the Ob and Irtysh rivers varies primarily due to the local factors, such as the dispersion of runoff in the branches, the influence of indigenous banks, the spread of channel types and morphologically homogeneous areas, the parameters of their shapes, etc. The highest erosion rates (2–3 m/year or more) among the large and medium-size rivers were recorded for the Tom and Chulym rivers. But in general, the rivers of Western Siberia are characterized by relatively low stream-bank erosion rates, which is due to the natural features of the region.

Keywords: fluvial processes, river channel migration, stream-bank erosion, remote sensing methods, GIS, Western Siberia

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (no. 23-17-00065 for the data of riverbank erosion on rivers in the forest zone of the Ob-Irtysh basin, no. 23-77-01006 for the new data and a general analysis of riverbank erosion for the lowland rivers of Western Siberia).

REFERENCES

- Baki A.B.M., Gan T.Y. Riverbank migration and island dynamics of the braided Jamuna River of the Ganges – Brahmaputra basin using multi-temporal Landsat images, *Quaternary International*, 2012, vol. 263, p. 148–161, DOI: 10.1016/j.quaint.2012.03.016.
- Best J. Anthropogenic stresses on the world's big rivers, *Nature Geoscience*, 2019, vol. 12, no. 1, p. 7–21, DOI: 10.1038/s41561-018-0262-x.
- Brunier G., Anthony E.J., Goichot M. et al. Recent morphological changes in the Mekong and Bassac river channels, Mekong delta: The marked impact of river-bed mining and implications for delta destabilisation, *Geomorphology*, 2014, vol. 224, p. 177–191, DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.07.009.
- Chadwick A.J., Greenberg E., Ganti V. Remote Sensing of Riverbank Migration Using Particle Image Velocimetry, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2023, vol. 128, no. 7, DOI: 10.1029/2023JF007177.
- Chalov R.S., Pleskevich E.M., Baula V.A. *Ruslovyie processy i vodnye puti na rekah Ob'skogo bassejna* [Fluvial processes and waterways on the rivers of the Ob basin], Novosibirsk, RIPEL plyus Publ., 2001, 300 p. (In Russian)
- Chalov S.R., Chalova A.S., Shkol'nyi D.I. Kolichestvennaya ocenka planovykh pereformirovaniy reki Kamchatki [Quantitative assessment of planform changes of the Kamchatka river], *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk, Seriya Geograficheskaya*, 2021, vol. 85(2), p. 218–230. (In Russian)
- Dey A., Bhattacharya R.K. Monitoring of River Center Line and Width – A Study on River Brahmaputra, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2014, vol. 42, no. 2, p. 475–482, DOI: 10.1007/s12524-013-0277-0.
- Greenberg E., Chadwick A.J., Ganti V. A Generalized Area-Based Framework to Quantify River Mobility From Remotely Sensed Imagery, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2023, vol. 128(9), DOI: 10.1029/2023JF007189.
- Hang N.T.T., Nga T.N.Q., Thi K.T. et al. Spatial and temporal morphological changes in the lower Mekong River under the influence of sediment load reduction in the upstream, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1170(1), p. 012028, DOI: 10.1088/1755-1315/1170/1/012028.
- Korkin S.E., Isypov V.A. Analiz gorizonta'nykh ruslovykh deformatsiy srednej Obi na osnove stacionarnykh nablyudenij [Analysis of horizontal channel deformations of the middle Ob on the basis of stationary observations], *Geomorfologiya i paleogeografiya*, 2022, vol. 53(4), p. 85–97, DOI: 10.31857/S043542812204006X. (In Russian)
- Kurakova A.A. *Gidrologo-morfodinamicheskii analiz rusel i opasnye proyavleniya ruslovykh protsessov na ravninykh rekakh Ob'-Irtyskogo basseina (lesnaya zona)* [Hydrological and morphodynamic analysis of riverbeds and dangerous fluvial processes on lowland rivers of the Ob-Irtys basin (forest zone)], Ph.D. thesis in Geography, Moscow, 2022, 249 p. (In Russian)
- Langhorst T., Pavelsky T. Global Observations of Riverbank Erosion and Accretion From Landsat Imagery, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2023, vol. 128(2), DOI: 10.1029/2022JF006774.
- Mason J., Mohrig D. Differential bank migration and the maintenance of channel width in meandering river bends, *Geology*, 2019, vol. 47(12), p. 1136–1140, DOI: 10.1130/G46651.1.
- Rowland J.C., Shelef E., Pope P.A. et al. A morphology independent methodology for quantifying planview river change and characteristics from remotely sensed imagery, *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 184, p. 212–228, DOI: 10.1016/J.RSE.2016.07.005.
- Shkol'nyi D.I. [Assessment of the erosion rates of Russian river banks according to satellite monitoring data], *Makkaveevskie chteniya – 2020* [Readings from Makkaveev – 2020], 2020, p. 71–83. (In Russian)
- Sylvester Z., Durkin P., Covault J.A. High curvatures drive river meandering, *Geology*, 2019, vol. 47(3), p. 263–266, DOI: 10.1130/G45608.1.
- Vershinin D.A., Zemtsov V.A., Inesheva N.G. et al. [Problems of riverbed processes in Western Siberia and the results of research in this area], *Tridcat' tret'e plenar. mezhvuz. soveshch. po probl. erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh processov* [33rd meeting on erosion, channel and river mouth processes], 2018, p. 30–38. (In Russian)
- Zavadskii A.S., Chalov S., Chernov A.V. et al. Morfodinamika rusel i balans nanosov rek bassejna Selengi (Mongoliya – Rossiya) [Morphodynamics of riverbeds and sediment balance of rivers of the Selenga basin (Mongolia – Russia)], *Eroziya pochv i ruslovyie processy*, 2019, vol. 21, p. 149–170. (In Russian)

Received 21.01.2025

Revised 13.03.2025

Accepted 20.05.2025

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СКЛОНОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ БАЛАНСА НАНОСОВ В ЭРОЗИОННО-РУСЛОВОЙ СИСТЕМЕ АНТРОПОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННОГО БАСЕЙНА МАЛОЙ РЕКИ

Ж.А. Буряк¹, А.Д. Спесивцева²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт экологии, биотехнологии и природопользования,
Научно-исследовательская лаборатория «Баланс С»

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Институт наук о Земле,
кафедра прикладной геологии и горного дела

¹ Вед. науч. сотр., канд. геогр. наук.; e-mail: buryakzh@gmail.com

² Лаборант; e-mail: 1561869@bsuedu.ru

В статье на примере бассейна малой реки (верховье р. Ворсклы площадью 1,85 тыс. км², Белгородская область) рассматривается пространственно-временная изменчивость склонового стока наносов и оценивается ее влияние на величину расхода взвешенных наносов на замыкающем гидропосту. По данным гидрологического поста с. Козинка – р. Ворскла (116 км от истока) проанализированы временные ряды среднегодовых расходов взвешенных наносов с 1960 по 2021 г. Для расхода наносов установлена высокая неоднородность – за рассматриваемый период он снизился в 6,7 раза (по средним значениям с 0,27 до 0,04 кг/с). Установлено, что в балансе взвешенных наносов преобладает склоновая (бассейновая) составляющая, которая на аграрных водосборах преимущественно представлена смытым с пашни почвенным материалом. Содержание взвешенных наносов в речном стоке находит больший отклик к изменению интенсивности эрозии от снеготаяния, чем ливневой. Однако критическое снижение слоя талого стока, вызванное климатическими изменениями последних десятилетий, привело к снижению вклада эрозии при снеготаянии в годовые почвенные потери и, как следствие, к сокращению расхода взвешенных наносов в створе гидропоста. Количественная оценка темпов эрозии от ливневых осадков по модели WaTEM/SEDEM показала, что основным источником наносов являются распаханная территория – ежегодно с пашни выносятся 228,8 тыс. т почвенного материала. При этом в речную сеть поступает 76 тыс. т, т. е. 66% мобилизованного ливневым стоком почвенного материала аккумулируется в пределах водосбора. Рассмотрена динамика зарегулированности речного стока прудами. К настоящему времени с 62% площади водосбора твердый сток перехватывается прудами. За последние 40 лет площадь перехвата твердого стока увеличилась на 30%, а объем поступающих наносов в незарегулированную речную сеть сократился на 47%. Пруды и вышележащая овражно-балочная сеть задерживают 61,4 тыс. т наносов, что составляет 81% от объема склоновой эрозии бассейна. Таким образом, климатически обусловленное уменьшение талого стока с водосбора в сочетании со снижением максимальных расходов воды в половодье и водохозяйственными мероприятиями по регулированию речного стока нашли отклик в резком падении расхода взвешенных наносов с 1980-х гг. и их дальнейшем постепенном снижении.

Ключевые слова: водная эрозия, перехват стока, расход взвешенных наносов, коэффициент доставки наносов, WaTEM/SEDEM

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.5

ВВЕДЕНИЕ

Бассейновые территориальные структуры определяются как единые природные и антропогенные системы, поскольку в их пределах происходит естественное движение вещества, энергии и информации от водораздела до речного устья. Опыт управления природопользованием на уровне бассейнов малых рек показывает эффективность такого подхода для решения задач проектирования и реализации почвенно-водозащитных мероприятий на обрабатываемых землях в рамках концепции бассейнового природопользования [Lisetskii, 2022].

В последнее время рассмотрение как самого процесса водной эрозии почв, так и экологических последствий проявления эрозионных процессов (дегумификация почв, нарушение земель, деградация малых рек и др.) стимулировали интеграцию результатов моделирования среднегодовых темпов склоновой эрозии с оценками доставки наносов, вынесенных за пределы агроландшафтов водосборного бассейна [Batista et al., 2021]. Такой подход реализован в модели *WaTEM/SEDEM*, сочетающей расчетные темпы смыва по *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* с моделированием механиз-

ма доставки наносов с водосбора. Верификация данной модели полевыми исследованиями (почвенно-морфологическим [Zhidkin et al., 2023] и радиоцезиевым [Голосов и др., 2022] методами) показала удовлетворительные результаты в моделировании среднегодовых темпов водной эрозии. Помимо точности среднесрочных оценок потерь почвы, модель хорошо отражает пространственное расположение зон с разной интенсивностью смыва, а также учитывает перемещение почвенного вещества при механической эрозии [Голосов и др., 2022].

Для антропогенно преобразованных бассейнов лесостепной и степной зон Евразии площадью до 100 км² бассейновая (эрозионная) составляющая стока взвешенных наносов рек по отношению к русловой составляет порядка 80% [Мозжерин, 2012]. В таких бассейнах сток наносов определяется прежде всего морфологией склонов водосбора и видом землепользования (степенью распаханности и лесистости).

Соотношение между доставляемыми к устью наносами и суммарным объемом мобилизованного рыхлого материала выражается через коэффициент доставки наносов (*sediment delivery ratio*, *SDR*). *SDR* обратно пропорционален площади водосбора: чем она больше, тем меньше относительное количество материала, выносимое через устье. По результатам обобщения полевых оценок *SDR* для малых водосборов (до 10 км²), доля выносимого материала колеблется от 12 до 95% и значительно зависит от морфологии водосбора [Безухов и др., 2019]. С увеличением площади бассейна *SDR* снижается. Для бассейнов Волги и Дона лесостепной зоны площадью до 2 тыс. км он составляет в среднем 22%, а при увеличении площади до 5 тыс. км² и выше – снижается до 7% [Эрозионно-русловые..., 2017, с. 485]. Внутри крупных речных бассейнов звенья различных порядков будут поставлять наносы с различной интенсивностью, что обеспечивает высокую внутрибассейновую вариабельность *SDR*.

Цель данного исследования – на примере водосбора малой реки (верхнее течение р. Ворсклы) оценить пространственно-временную изменчивость склонового стока наносов и установить ключевые факторы, определяющие интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов, отраженных в *SDR* и величине расхода взвешенных наносов в речном устье.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Краткая характеристика бассейна р. Ворсклы.

Река Ворскла входит в речную систему Днепра и является его левым притоком. Общая протяженность до устья составляет 464 км. В исследовании рассматривается верхнее течение реки длиной 116 км от истока до гидрологического поста с. Козинка с

площадью бассейна 1,85 тыс. км². Ворскла является трансграничной рекой. Речная долина и большая часть исследуемого водосбора (92%) находится в России (Белгородская область), 8% – в Украине (рис. 1). В пределах Белгородской области водосбор расположен в Борисовском, Грайворонском и Яковлевском муниципальных районах. Рассматриваемая часть речной системы Ворсклы по площади водосбора (до 2 тыс. км²) позволяет отнести ее к категории малых рек. Густота современной речной сети составляет 0,22 км/км², длина отдельных притоков не превышает 30 км. Густота овражно-балочной сети в бассейне составляет 0,85 км/км². Разница абсолютных высот между истоком реки и створом гидропоста составляет 75 м, что определяет средний уклон реки 0,65‰. Бассейн расположен на юго-западе Среднерусской возвышенности и относится к подзоне южной лесостепи. Согласно климатической норме ВМО 1991–2020 гг., в год выпадает 598 мм осадков, среднегодовая температура воздуха составляет 7,3°. Почвенный покров представлен преимущественно черноземами, типичными и выщелоченными, а также комплексом черноземов оподзоленных и темно-серых лесных почв.

Особенностью бассейна является геоморфологическая асимметрия его речной долины, обусловленная тектоникой, что определяет различный характер интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на макросклонах водосбора [Лисецкий и др., 2018]. Территория водосбора активно распахиывается, агрогенная нагрузка на почвы за последние 60 лет существенно не изменилась [Корнилова и др., 2023]. По статистическим данным муниципалитетов, в середине 1960-х гг. доля пашни составляла 67% и со временем планомерно снижалась. В современной структуре землепользования бассейна она составляет 58%, занимая площадь 1,07 тыс. км². Пологий и слаборасчлененный рельеф левого макросклона создает благоприятные условия для земледелия: распаханность здесь достигает 68% при средней крутизне обрабатываемых склонов 1,5°. При этом лесистость этой части бассейна предельно низкая – с учетом лесных полос она составляет всего 5%. На правом макросклоне, где исторически произрастали леса, до сих пор сохранились реликтовые массивы, которые обеспечивают достаточно высокий показатель лесистости – 26%. Здесь распахиываются черноземы оподзоленные и темно-серые лесные почвы, имеющие относительно низкую противоэрозионную устойчивость. А в сочетании с сильно расчлененным рельефом, устанавливается повышенный риск водной эрозии почв на пашне, занимающей 42% площади этой части бассейна. Согласно оценкам темпов современной эрозии в речных бассейнах европейской части России

[Yermolaev et al., 2023], суммарные среднегодовые эрозионные потери почвы с пашни в сетке малых водосборов Ворсклы варьируют от 2,5 т/га в год на левом макросклоне до 5,5 т/га в год на правом. При

этом результаты среднемасштабного моделирования показывают, что потери от ливневой эрозии в 16 раз превышают потери от эрозии талого стока [Речные бассейны..., 2025].

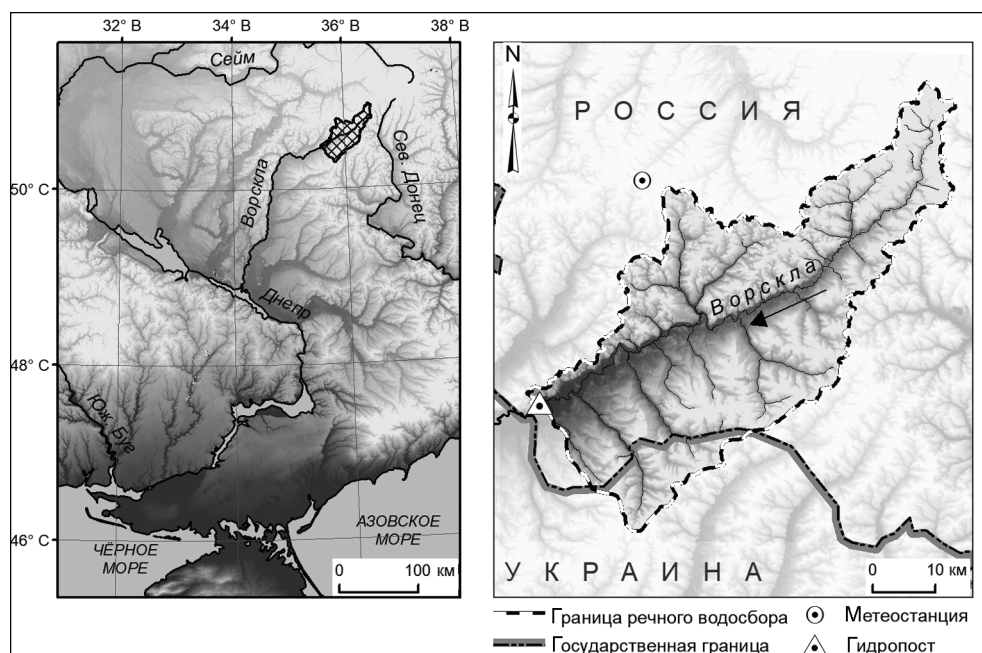


Рис. 1. Местоположение объекта исследования

Fig. 1. The location of the study area

Методы исследования. Данные о гидрологическом режиме реки получены по материалам Росгидромета (Центрально-Черноземное УГМС) по гидрологическому посту I разряда Козинка – р. Ворскла. Анализ временных рядов с 1960 по 2021 г. проводили для максимального расхода воды в период половодья (Q_{\max} , м³/с), когда формируется основной сток наносов, и среднегодового расхода взвешенных наносов (R , кг/с). Оценку однородности рядов многолетних гидрологических характеристик проводили для двух 31-летних интервалов по статистическим критериям Стьюдента (для средних значений) и Фишера (для дисперсий) с 5% уровнем значимости в соответствии с рекомендациями СТО ГГИ 58.08.41-2017. Климатические данные суточных наблюдений анализировали по ближайшей метеостанции Готня (34202), расположенной в 40 км к северо-востоку от гидропоста. Наблюдения за осадками здесь ведутся непрерывно с 1936 г. (за исключением 1941–1944 гг.). Данные брали из открытой базы ВНИИГМИ-МЦД [Булыгина и др., 2025].

Эрозионный потенциал ливневых осадков (ЭПО) рассчитывали по установленной [Канатьева и др., 2010] эмпирической зависимости между ЭПО и суммой осадков теплого периода более 10 мм, которые традиционно считаются потенциально эро-

зионно опасными. Она использовалась для расчета почвенных потерь последних десятилетий для ЕТР [Maltsev, Yermolaev, 2020] и имеет вид:

$$\text{ЭПО} = 3,19 \cdot e^{0,006 \times P10}, \quad (1)$$

где ЭПО – эрозионный потенциал ливневых осадков, МДж·мм·м⁻²·час⁻¹·год⁻¹; P10 – среднемноголетняя сумма слоя суточных осадков более 10 мм в теплое время года, мм (теплое время года определяется по моменту времени, когда среднесуточная температура воздуха выше 0°C).

Оценку темпов ливневой эрозии почв и объемов поступающих в речную сеть наносов выполняли по модели *WaTEM/SEDEM* v.2004 [Rompay van et al., 2001] с предварительной подготовкой пространственных данных ГИС-приложениях *ArcGIS* (модуль *SpatialAnalyst*) и *Whitebox GAT*. В основе модели лежит универсальное уравнение почвенных потерь *RUSLE*, дополненное расчетным блоком транспорта и аккумуляции наносов с учетом характерных параметров шероховатости для разных классов поверхностей в пределах водосбора. Таким образом, модель позволяет оценить баланс выносимых как с пашни, так и со всего водосбора наносов, с учетом структуры его угодий и противоэрозионной устойчивости почв.

Для расчета LS -фактора (длина и крутизна склона) [McCool et al., 1989] использовали глобальную цифровую модель рельефа *FABDEM V1-2* разрешением 30×30 м. Эрозионный индекс дождей осадков для территории исследования был принят $0,032 \text{ МДж} \cdot \text{мм}/(\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{год})$. Значения эродируемости разных типов почв брали из верифицированных данных для условий лесостепи Среднерусской возвышенности [Фомичева и др., 2024]: $35 \text{ кг в час}/(\text{МДж} \cdot \text{мм})$ для черноземов типичных, 38 – для черноземов оподзоленных, 52 – для темно-серых лесных. Почвозащитная роль возделываемых культур за ротацию севооборота относительно эродируемости чистого пара задана для всех посевных площадей единым значением $0,34$, полученным по результатам обобщения актуальных статистических данных о составе посевов Белгородской области [Buryak et al., 2022]. Структура землепользования бассейна была отвекторизована по материалам космической съемки высокого разрешения с ресурса *Google Earth*. Расчет почвенных потерь выполнен в двух вариантах. Первый – только для территории пашни по маске полей, что позволило оценить темпы агрогенной эрозии, рассчитать объем аккумулируемого и выносимого с пашни материала. Второй вариант расчета охватывал всю территорию водосбора с учетом пашни и конфигурации зон перехвата твердого стока на пути к речному руслу. Причем

второй вариант применялся как для всего водосбора, так и с учетом динамики площади перехвата твердого стока создаваемыми прудами. Картографирование динамики создания прудов выполняли по среднемасштабным картам масштаба $1:100\,000$ (1980–1990), материалам территориального землеустройства начала 1990-х гг., а также разновременным спутниковым снимкам с начала 2000-х гг. ресурса *Google Earth*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Многолетняя динамика гидрологического режима р. Ворсклы. Взаимодействие движущихся водных масс и переносимых ими наносов является сложным нелинейным процессом. Несовпадение между расходом наносов и транспортирующей способностью потока приводит к неравновесности русловой системы и запускает процессы ее переформирования.

Многолетняя динамика гидрологических характеристик р. Ворсклы представлена на рис. 2. и в табл. 1. Анализ однородности гидрологических характеристик р. Ворсклы с 1960 по 2021 г. показал, что для периодов 1960–1990 и 1991–2021 гг. максимальный расход воды весеннего половодья Q_{\max} и среднегодовой расход взвешенных наносов R достоверно оцениваются как неоднородные.

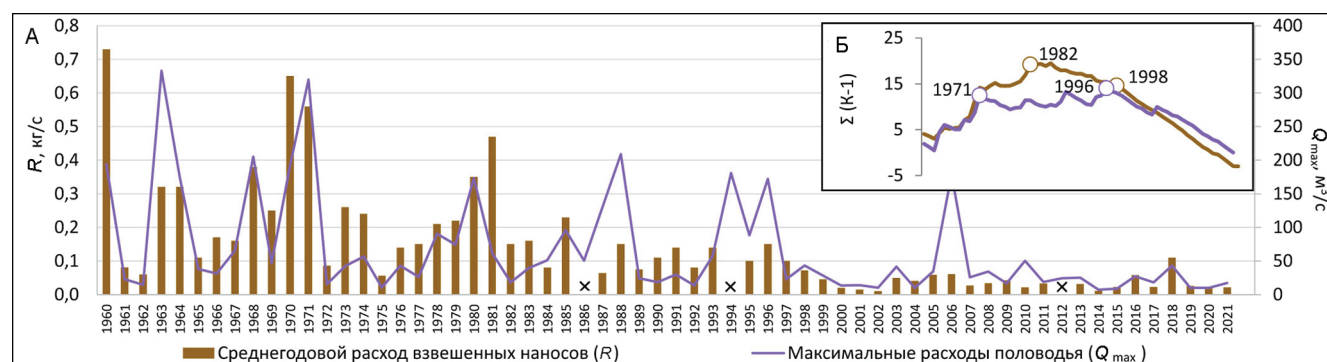


Рис. 2. Среднегодовые расходы взвешенных наносов (R , кг/с) и максимальные расходы воды в период половодья (Q_{\max} , м³/с) р. Ворсклы (гидропост с. Козинка) с 1960 по 2021 г.: А – временной ряд абсолютных значений; Б – разностная интегральная кривая, где $\Sigma(K-1)$ – накопленная сумма отклонений от среднего

Fig. 2. Average annual discharge of suspended sediment (R , kg/s) and maximum flood water discharge (Q_{\max} , m³/s) in the Vorskla River (Kozinka gauging station) from 1960 to 2021: A – time series of absolute values; Б – difference integral curve, where $\Sigma(K-1)$ is the accumulated sum of deviations from the average

Опираясь на график разностных интегральных кривых (см. рис. 2Б), можно выделить три периода формирования разного режима стока (см. табл. 1). Причем для максимального расхода воды половодья и среднегодового расхода взвешенных наносов границы периодов не синхронные, но с конца 1990-х гг. оба показывают общую тенденцию к

снижению относительно среднегодовых значений. До 1971 г. оба показателя показывают рост относительно среднегодового значения, с 1971 г., на фоне роста и последующего снижения расхода наносов, максимальный сток воды половодья показывает общее незначительное снижение с чередующимися пиками (100 – $200 \text{ м}^3/\text{с}$) (см. рис. 2А). Для величин

ны стока взвешенных наносов наблюдается значительная статистически значимая нестационарность ряда. Для периода 1960–1982 гг. характерны максимальные значения R , которые в следующем периоде 1983–1998 гг. снижаются в 2,3 раза. В третьем периоде (1999–2021 гг.) тенденция к снижению ускоряется: средние значения R снижаются еще в 3 раза. В итоге расход взвешенных наносов снизился в 6,5 раз, а максимальный сток половодья – в 3,9 раза.

Для водосбора малой реки количественный вклад русловой эрозии в суммарный сток наносов оценить затруднительно, в отличие от крупных речных систем, где объем поступления наносов за счет русловых деформаций возможно рассчитать дешифрированием общедоступных данных дистанционного зондирования [Иванов, Чалов, 2021]. Естественные

процессы размыва и абразии берегов Ворсклы выражены слабо, а их проявление, ввиду малой ширины русла, практически невозможно отследить по материалами спутниковой съемки. Существенное влияние на русловую составляющую стока оказывает антропогенный фактор руслопереформирования. Проведение инженерно-строительных изысканий и дноуглубительных работ обеспечивает поступление наносов в речной сток. По картографическим источникам зафиксированы работы по спрямлению русла реки: в период с 1980 по 1990 г. насчитывается 10 трансформированных участков, с начала 1990-х гг. до настоящего времени – 7 участков. В 2022 г. проводились масштабные работы по расчистке русла Ворсклы от донных отложений в рамках областной программы «Наши реки».

Таблица 1

Периоды изменения величин максимальных расходов воды во время половодья и взвешенных среднегодовых расходов наносов в р. Ворскле с 1960 по 2021 г.

Максимальный расход воды в период половодья (Q_{\max})			
	1960–1971 гг.	1972–1996 гг.	1997–2021 гг.
Среднее, м ³ /с	136,4	71,0	31,1
Стандартное отклонение	115,4	58,4	34,4
Коэффициент вариации, %	84,5	82,2	110,8
Среднегодовой расход взвешенных наносов (R)			
	1960–1982 гг.	1983–1998 гг.	1999–2021 гг.
Среднее, кг/с	0,27	0,12	0,04
Стандартное отклонение	0,19	0,05	0,03
Коэффициент вариации, %	70,0	39,2	77,0
Коэффициент корреляции r -Спирмена R с Q_{\max}	0,72	0,32*	0,43

Примечание. *Значение статистически незначимо ($p > 0,05$).

Вышеописанные мероприятия, хоть и являются источником избыточного поступления наносов в речной сток, однако не способны системно повлиять на зафиксированную неоднородность твердого стока в бассейне. Существенно большую роль в динамике твердого стока малой реки играют эрозионно-аккумулятивные процессы, протекающие на водосборной территории. Далее рассмотрим возможные причины наблюдаемой трансформации расхода взвешенных наносов в створе, обусловленные склоновой составляющей баланса наносов.

Влияние климатических факторов на изменчивость твердого стока. Сток взвешенных наносов имеет два источника происхождения – размыв берегов в результате русловых процессов и поступление с жидкими осадками смытого с территории

водосбора почвенного материала в результате водно-эрозионных процессов.

Самым изменчивым во времени и стохастическим фактором эрозии почв являются осадки, интенсивность и характер которых определяет величины почвенных потерь. Ниже рассмотрим зависимость расхода взвешенных наносов от эрозионного потенциала осадков отдельно для ливневой эрозии и эрозии талого стока.

Ливневая эрозия. Эрозионный потенциал ливневых осадков рассчитывается как произведение кинетической энергии дождевых капель, выпавших за дождь на единицу площади, на максимальную 30-минутную интенсивность дождя. Величины ЭПО подчиняются общим закономерностям климатических изменений. Установлено, что за последние

55 лет для условий лесостепи ЕТР наблюдается рост частоты эрозионно-опасных ливней [Chizhikova et al., 2022]. Для целей эрозионного моделирования используют среднемноголетнее значение ЭПО.

Нами была оценена изменчивость ЭПО по зависимости (1) по данным о суточных осадках теплого периода слоем более 10 мм. Также нами были учте-

ны экстремальные эрозионные события, где суточный слой осадков превышал 40 мм (рис. 3). Временной ряд ЭПО является статистически однородным с отдельными чередующимися максимумами, без выраженного тренда к росту или снижению. Однако последние три десятилетия наблюдается рост частоты ливней со слоем осадков >40 мм.

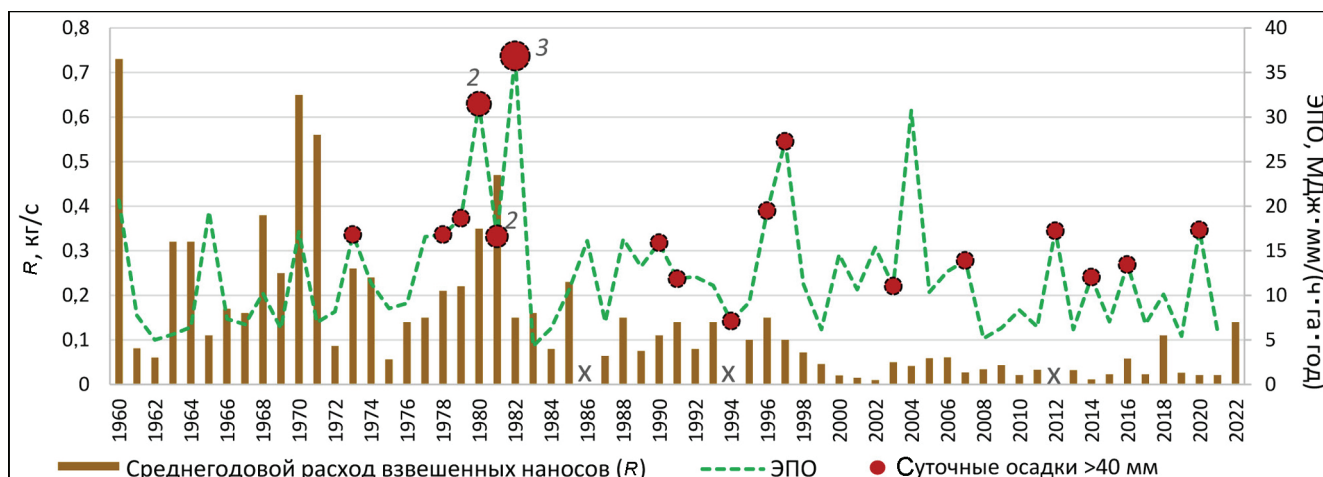


Рис. 3. Изменчивость эрозионного потенциала ливневых осадков и частота экстремальных ливней (непронумерованные точки соответствуют событию один раз в год)

Fig. 3. Variability of rainfall erosive potential and frequency of extreme rainfall events (unnumbered points correspond to a once-a-year event)

Величина расхода взвешенных наносов не связана ни с ЭПО, ни с наступлением экстремальных эрозионных событий – колебания ЭПО не находят статистически значимого ($p > 0,05$) отклика в величине R . Очевидно, что фактически данные факторы способствуют интенсивному смыву с водосбора, особенно с пашни. При интенсивном ливневом смыве наносы с водосбора доставляются в речные долины и аккумулируются в пойме либо пререотлагаются в русле, а их вынос происходит при высоких половодьях с одновременным размывом берегов и дна русел рек. Однако отклика в замыкающем створе реки данные процессы не находят. Вероятной причиной может являться снижение максимального стока воды в период весеннего половодья (см. рис. 2).

Эрозия при снеготаянии. Эрозия почв в результате снеготаяния, в отличие от ливневой эрозии, – событие, происходящее в весенний период один раз в год. Но несмотря на это при достаточных снегозапасах и прочих сопутствующих условиях в ЦЧР до 80–90% годового стока и смыва почвы формируется в результате весеннего снеготаяния. Лимитирующими факторами формирования талого стока являются глубина промерзания почвы, снегозапасы и влажность верхнего (до 30 см) слоя почвы. Эк-

периментально установлено [Барабанов, Петелько, 2023], что если глубина промерзания почвы менее 50 см, то сток не формируется вне зависимости от остальных факторов.

Для Белгородской области на фоне общего повышения среднегодовой температуры воздуха с 1960-х гг. прошлого века изменения в наибольшей степени проявились с января по март, что отразило известный факт «потепления по зимнему типу» [Lebedeva et al., 2019]. Сравнение средней температуры воздуха в регионе с января по март по нормам ВМО 1961–1990 и 1991–2020 гг. дает прирост на +7,2°C. При повышении температур воздуха и частых зимних оттепелях к наступлению периода снеготаяния глубина промерзания почвы может оказаться недостаточной для образования слоя стока.

Нами были проанализированы данные о температуре почвы на глубине 40 см в период снеготаяния (для Белгородской – вторая декада марта) по метеостанции Богородицкое-Фенино (в 100 км к северо-западу от территории исследования) за 35 лет с 1970 по 2004 г. Так, наблюдается выраженная тенденция к повышению температуры почвы: с начала 1980-х гг. уже на глубине 40 см отмечается скачек ниже нуля, и в последующем тренд роста сохра-

няется. Эти данные согласуются с долгосрочными наблюдениями на Новосильской ЗАГЛОС, которые показывают начало тенденции на снижение весеннего склонового стока с 1950-х гг. прошлого века, причем последние 25 лет сток практически отсутствует [Барабанов, Петелько, 2023]. Для рек юга Русской равнины с 80–90-х гг. прошлого века отмечается существенное сокращение слоя весеннего стока и максимального расхода воды в период половодья, что привело к установлению нового стационарного режима весеннего стока к началу XX в. [Гусаров, Шарифуллин, 2019; Кумани и др., 2021]. Резкое снижение половодного стока характерно и для объекта исследования – данные гидропоста р. Ворсклы, описанные выше, показывают снижение максимального расхода воды за 60 лет в 3,9 раза.

Описанные тенденции нашли отражение и в динамике расхода взвешенных наносов в исследуемом бассейне. Для рассматриваемых периодов формирования R (см. табл. 1) только для первого (до 1982 г.) сток наносов с пашни находил отклик в высоких среднегодовых значениях расхода взвешенных наносов в створе гидропоста, предположительно, за счет вклада весенней эрозии. Только в этом периоде наблюдается максимальная сила связи между наносами и расходом воды половодья, поскольку в период снеготаяния вместе со слоем талого стока в русло попадало значительное количество продуктов почвенной эрозии. Это связано, прежде всего, с тем, что формирование эрозионно-опасного талого стока – процесс сплошной для большей территории водосбора, когда эрозии подвержена вся пашня, а в овражно-балочной сети еще не успел сформироваться густой растительный покров, перехватывающий твердый сток. Резкое падение половодного стока может указывать на отсутствие поверхностного стока на пашне, а значит и собственно талого смыва.

Критическое сокращение слоя талого стока и уменьшение вклада эрозии от снеготаяния в суммарные годовые эрозионные потери с середины 80-х гг. XX в. привели к сокращению расхода взвешенных наносов в створе гидропоста. В последние 40 лет стокоформирующая роль перешла на жидкие осадки весенне-летнего периода, и склоновый твердый сток формируется главным образом за счет ливневой эрозии почв, темпы которой оценены далее.

Особенности перераспределения склонового стока в бассейне р. Ворсклы. Основным источником твердых наносов в бассейне являются распаханые угодья. Результаты эрозионного моделирования (рис. 4, табл. 2) показали, что ежегодный вынос почвенного материала с пашни (с учетом объема аккумулируемого на ней же материала) составляют

228,8 тыс. т. Среднегодовые темпы ливневой эрозии с 1 га пашни составляют 4,5 т/га в среднем по водосбору (без учета аккумуляции). Полученные величины согласуются с осредненными оценками эрозии регионального уровня (3,5 т/га в год) [Buryak et al., 2022], а также сопоставимы с расчетами по аналогичной модели [Козлов и др., 2019] на участке к 120 км к северу от бассейна Ворсклы (4,2 т/га в год), находящимся в схожих геоморфологических условиях. На 53% площади пашни темпы смыва превышают 2,5 т/га в год, а на 13% превышают 10 т/га в год, что определяет высокий эрозионный потенциал агроландшафтов бассейна.

Согласно оценке суммарных эрозионных потерь со всей площади водосбора, 97% образующихся наносов обеспечивают распаханые территории, что ожидаемо, при такой высокой агрогенной освоенности в сочетании со сложным рельефом. Результаты моделирования эрозионно-аккумулятивных процессов на пашне показали, что при объеме мобилизованного ливневым стоком почвенного материала с пашни в 484,2 тыс. т в ее же пределах аккумулируется 53% наносов (табл. 3), что согласуется с обобщенными оценками доли намывных почв на пашни в 45% [Эрозионно-руслые..., 2017, с. 223]. Зоны аккумуляции занимают 7,4% от общей площади пашни. Это связано со специфическим рельефом водосбора: на пашне повсеместно развита ложбинная сеть, при этом на левом макросклоне бассейна распространены продольно-вогнутые склоны, в нижней части которых происходит аккумуляция почвенного материала (см. рис. 4).

Наносы с пашни поступают в разветвленную овражно-балочную сеть, а далее, влекомые временными водными потоками – в речную сеть. На то, какой объем наносов достигнет речного русла, влияет рельеф и структура землепользования, а именно стокозадерживающая и нанософильтрующая способность отдельных видов землепользования и естественных ландшафтов. Согласно расчетам для всего водосбора, речной сети достигает 76,0 тыс. т наносов, а 86% их аккумулируется в пределах водосбора. Перехватчиками выступают геоморфологические «ловушки» на пашне, прибалочные лесные полосы, древесно-кустарниковые массивы в овражно-балочной и долинной сети, застроенные территории.

Дальнейший механизм транспортировки наносов в речном русле связан с гидравлическими процессами, а главный лимитирующий фактор при этом – степень зарегулированности речного стока прудами. Поэтому для корректного сопоставления данных стационарных наблюдений за расходом взвешенных наносов в устье бассейна необходимо учитывать области перехвата твердого стока.

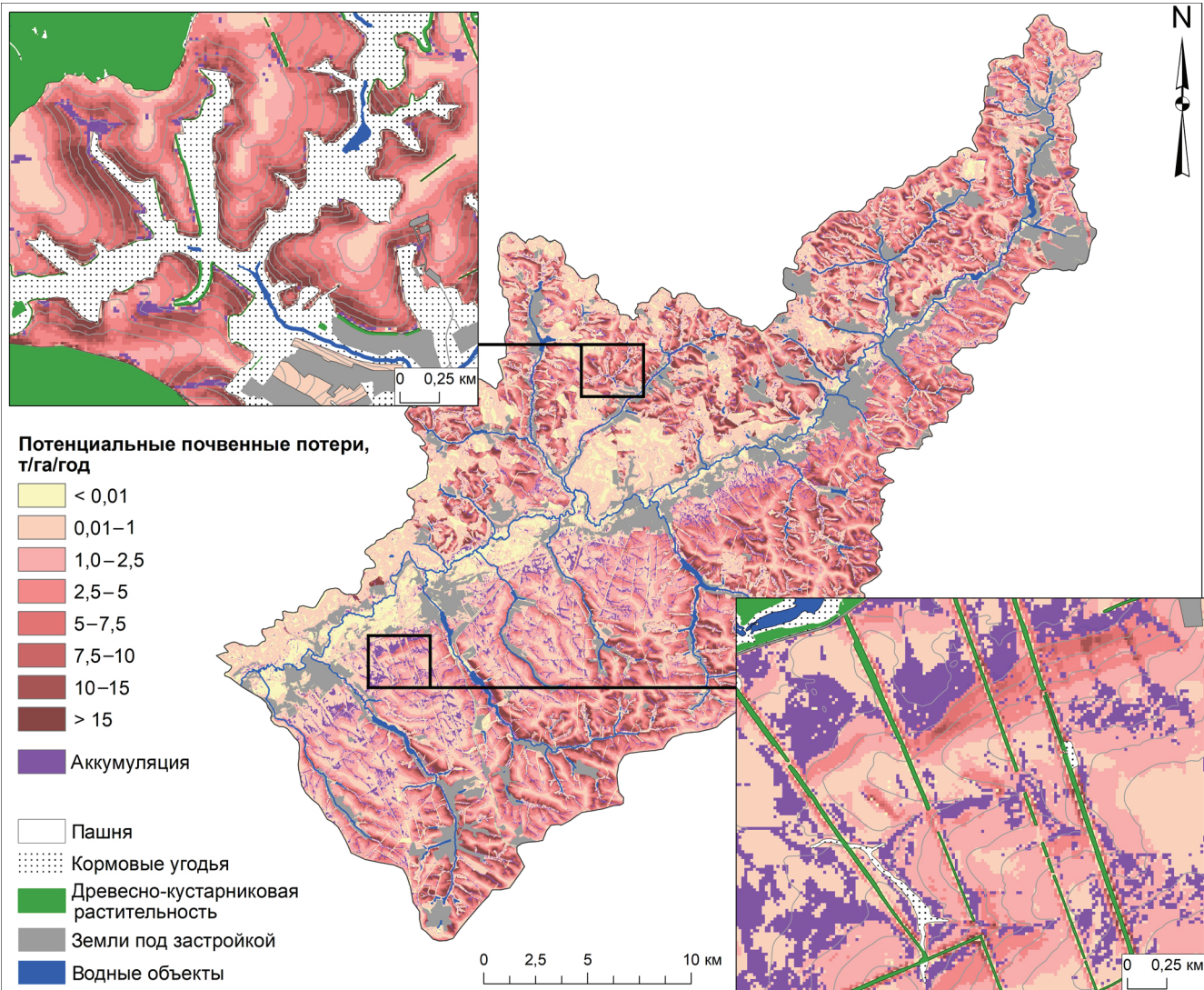


Рис. 4. Темпы водной эрозии в бассейне р. Ворсклы по модели *WaTEM/SEDEM*

Fig. 4. Rates of water erosion in the Vorskla River basin according to the *WaTEM/SEDEM* model

Таблица 2

Распределение площадей пашни бассейна р. Ворсклы по расчетным темпам ливневой эрозии

Параметр	Среднегодовые потенциальные эрозионные потери, т/га в год				Аккумуляция, т/га в год
	<2,5	2,6–5,0	5,1–10,0	>10,0	
Площадь пашни, км²	429,1	229,5	195,1	138,3	79,1
Доля пашни, %	40,1	21,4	18,2	12,9	7,4

Таблица 3

Расчетные значения объемов, выносимых водной эрозией с территории бассейна наносов (без учета транспортировки в речном русле)

Территория	Площадь, км²	Объемы перемещаемых наносов, тыс. т в год		
		Эрозия	Аккумуляция	Вынос в речную сеть
Пашня	1071,1	484,2	255,4	228,8
Водосбор (включая пашню)	1861,2	544,8	468,8	76,0

Изменения в зарегулированности твердого стока с водосбора. Сток речной сети бассейна Ворсклы сильно зарегулирован прудами. К настоящему времени в исследуемой части бассейна находится 183 пруда с гидротехническими сооружениями (рис. 5). До 1981 г. было создано 86 прудов. В последующем темпы создания прудов снижались: с 1981 по 1990 г. – 54 пруда, с 1991 по

2010 г. – 35 прудов, с 2011 по 2020 г. – 8 прудов. Причем пруды размещены преимущественно на притоках Ворсклы, а в главном русле организовано всего два пруда в верховьях. Первый пруд-накопитель при Яковлевском ГОКе создан в промежутке 1990–1995 гг. в 10 км от истока, в 2011 г. в 7 км ниже по течению организовано Крапивненское водохранилище.

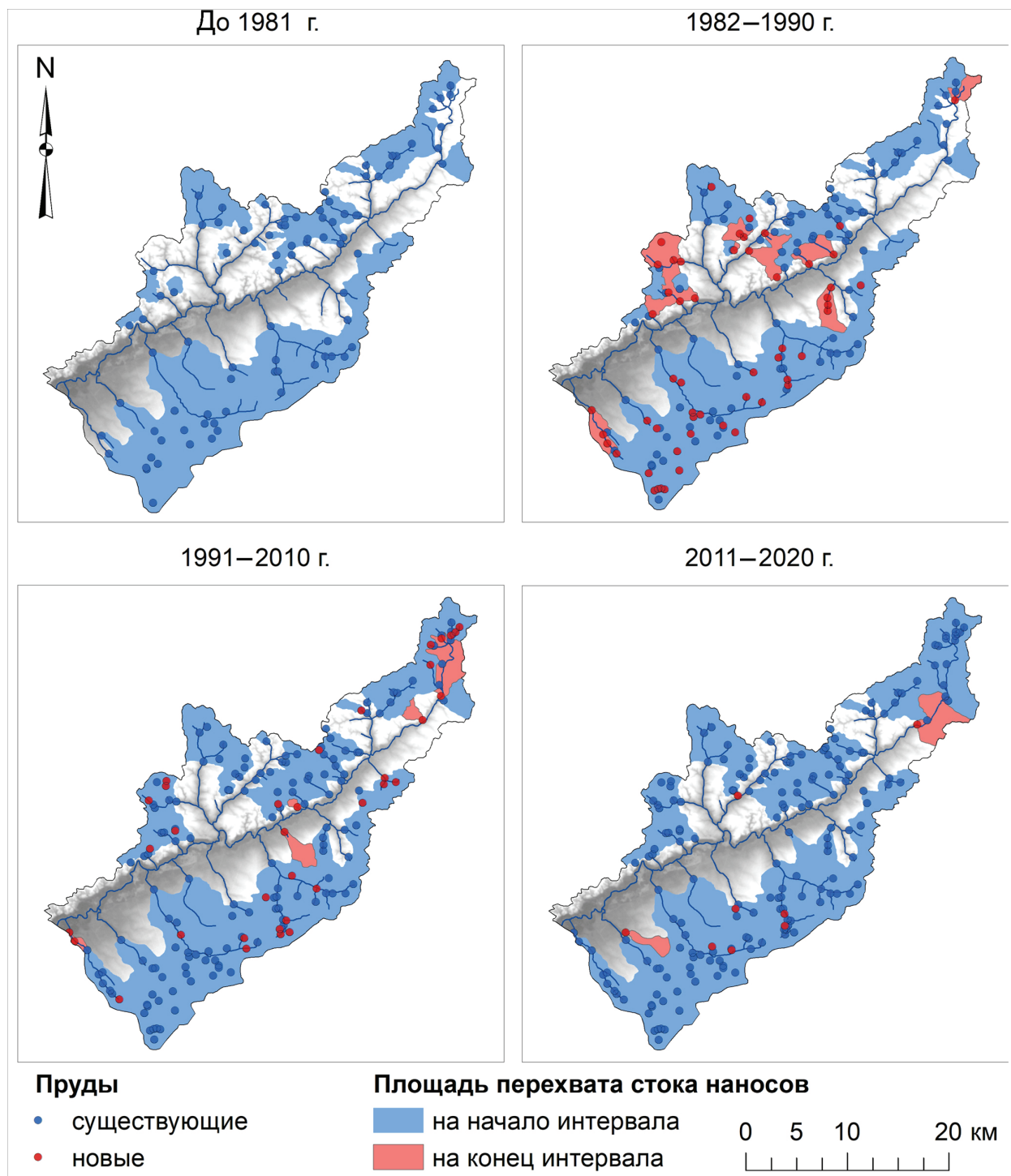


Рис. 5. Динамика создания прудов и расширение области перехвата твердого стока бассейна р. Ворсклы с 1980 по 2020 г.

Fig. 5. Dynamics of ponds creation and expansion of intercepting sediment runoff area in the Vorskla River basin from 1980 to 2020

Таким образом, бо́льшая протяженность главной реки остается «открытой» для поступления наносов с водосбора, а пруды на притоках определяют площадь перехвата твердого стока (табл. 4).

К настоящему времени с 62% площади водосбора твердый сток практически полностью перехватывается прудами. За последние 40 лет площадь перехвата увеличилась в 1,3, при росте количества прудов в 2,1 раза. Такая диспропорция объясняется тем, что новые пруды, как правило, создавали выше уже существующих, регулируя сток в балочной сети с непостоянными водотоками (см. рис. 5). Сейчас пруды являются барьером для 61,4 тыс. т наносов, которые переотлагаются в вышележащей овраж-

но-балочной сети или аккумулируются в донных отложениях самих прудов. Это составляет 81% от объема склоновой эрозии бассейна. Рассчитанный по фактическим данным расхода наносов коэффициент доставки наносов до 1981 г. ($SDR = 0,043$) (см. табл. 4) приблизительно согласуется с расчетными данными, опирающимися на морфометрию водосбора ($SDR = 0,065$) [Безухов и др., 2019]. Уменьшение водосборной области закономерно приводит к снижению твердого стока в устье, а величина SDR при этом должна оставаться относительно стабильной. Однако практически полное отсутствие талого стока привело к резкому падению расходов взвешенных наносов, что сократило SDR в 4 раза до 0,011.

Таблица 4

Изменение характеристик склоновой составляющей стока наносов в бассейне р. Ворсклы

Показатель	До 1981 г.	1982–1990 гг.	1991–2010 гг.	2011–2020 гг.
Пруды, шт.	86	140	175	183
Прирост прудов, шт.	–	+54	+35	+8
Площадь перехвата, км ²	892	1039	1100	1150
Прирост площади перехвата, км	–	+147	+61	+50
Доля площади перехвата твердого стока, %	48	56	59	62
Почвенные потери, тыс. т в год	200,5	152,2	134,3	122,7
Объем поступающих наносов в речную сеть, тыс. т в год	27,5	18,7	16,2	14,6
Объем наносов в створе, тыс. т в год (расчетный)*	15,50	9,25	7,75	6,81
Объем наносов в створе, тыс. т в год (измеренный)**	8,57	4,02	2,01	1,37
SDR	0,043	0,026	0,015	0,011

Примечания. *На основе расчета доставки наносов с пашни по модели WaTEM/SEDEM в створе гидропоста. **На основе инструментальных измерений Росгидромета в створе гидропоста.

Создание прудов и рост площади зон перехвата твердого стока отразились и на величинах бассейновой эрозии (моделируемых). За рассматриваемый период в 40 лет, благодаря стокорегулирующим мероприятиям, площадь перехвата твердого стока увеличилась на 258 км² (в 1,3 раза), а поступление наносов с водосбора в речную сеть сократилось в два раза (см. табл. 4). Создаваемые пруды-перехватчики располагались преимущественно на правом макросклоне бассейна, который характеризуется более высоким, в сравнении с левым, эрозионным потенциалом рельефа и слабой противозэрозионной устойчивостью почв. Следовательно, компенсация удельных эрозионных потерь на таких территориях выше. Вместе с тем расход взвешенных наносов в замыкающем створе (фактически измеренный) с начала 1980-х гг., когда заметно снизилась роль талого стока в сочетании с уменьшением расходов воды в половодье, к настоящему времени сократился в три

раза. Смоделированные значения годового объема наносов на основе доставки с пашни превышают измеренные на гидропосту. Из этих данных следует, что расчет поступления наносов с площади водосбора в постоянные водотоки завышает реальный сток наносов, что связано, скорее всего, с недоучетом переотложения наносов в днищах балок и пойме. Также свой вклад может вносить и собственно завышение расчетных величин темпов смыва на пашне. Примечательно, что разница смоделированных и измеренных значений увеличивается с ростом площади перехвата стока. Так соотношение расчетных величин с фактическим стоком наносов для периодов до 1981 и 1981–1990 гг. находится примерно в соотношении 1:2, тогда как для периодов 1991–2010 и 2011–2020 гг. как 1:3,9 и 1:5,0 соответственно (см. табл. 4). Учитывая, что расчеты талого смыва не проводились, а ошибки расчетов ливневого смыва и доставки наносов в русла за раз-

ные интервалы времени сопоставимы, то различия в соотношениях в основном связаны с вкладом талого смыва в сток наносов реки до 1990 г. и отсутствием этого вклада в последние три десятилетия.

ВЫВОДЫ

Для малой реки Ворсклы за последние 60 лет наблюдается неоднородность расхода взвешенных наносов, за рассматриваемый период он снизился в 6,5 раз. Проведенный анализ возможных причин этих изменений позволил сделать следующие выводы:

1. Роль русловой составляющей в стоке взвешенных наносов рассматриваемого участка р. Ворсклы незначительная. Естественные процессы размыва и абразии берегов выражены слабо, особенно на фоне значительного снижения максимальных расходов воды в период весеннего половодья. Периодически проводимые инженерно-строительные изыскания и дноуглубительные работы не способны системно повлиять на зафиксированную неоднородность твердого стока. В балансе наносов преобладает склоновая (бассейновая) составляющая – продукты эрозионной работы временных водных потоков на водосборе.

2. Содержание взвешенных наносов в речном стоке в большей степени связано с изменением интенсивности эрозии от снеготаяния, чем ливневой. Однако критическое снижение слоя талого стока, вызванное климатическими изменениями последних десятилетий, привело к снижению вклада эрозии при снеготаянии в годовые почвенные потери и, как следствие, к сокращению расхода взвешенных наносов в створе гидропоста. В последние 40 лет стокоформирующая роль перешла на жидкие осадки весенне-летнего периода, и склоновый твердый сток формируется главным образом за счет ливневой эрозии почв.

3. Несмотря на высокие темпы ливневого смыва почв с пашни (4,5 т/га в год), они не находят отклика в величине расхода взвешенных наносов в русле. Моделирование транспорта наносов со склонов показало, что 86% мобилизованного ливневым стоком почвенного материала аккумулируется в пределах водосбора. Согласно моделированию, при современной картине зарегулированности стока в речную сеть поступает порядка 76,0 тыс. т почвенного вещества в год, а с учетом переотложения в русле замыкающего створа достигает 6,8 тыс. т. Однако стоит учитывать, что смоделированные данные годового объема наносов в створе гидропоста в пять раз завышены, в сравнении с фактически измеренными, что говорит о недостатке блока модели, касающегося механизма транспорта наносов в днищах балок и пойме.

4. Водохозяйственные мероприятия по регулированию речного стока бассейна прудами обеспечили дополнительный перехват взвешенных наносов. За последние 40 лет площадь перехвата увеличилась на 30%, а объем поступающих наносов в незарегулированную речную сеть сократился на 47%. Коэффициент доставки наносов бассейна снизился в 4 раза.

Таким образом, климатически обусловленное снижение талого стока с водосбора в сочетании с водохозяйственными мероприятиями по регулированию речного стока прудами отразились в резком снижении расхода взвешенных наносов в замыкающем створе. При этом пространственная организация землепользования компенсирует высокие значения смыва почв от ливневой эрозии, что лишний раз подчеркивает важность стокорегулирующих мероприятий на водосборе.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № FZWG-2025-0006 (анализ гидрологических характеристик), а также за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (моделирование эрозионных процессов, оценка динамики прудов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барабанов А.Т., Петелько А.И. Факторы склонового весеннего стока на серых лесных почвах в Центральной лесостепи // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 4. С. 18–27. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.2.
- Безухов Д.А., Голосов В.Н., Панин А.В. Оценка коэффициента доставки наносов малых водосборов в лесостепных и степных районах Восточно-Европейской равнины // Известия РАН. Сер. геогр. 2019. № 4. С. 73–84. DOI: 10.31857/S2587-55662019473-84.
- Голосов В.Н., Жидкин А.П., Петелько А.И. и др. Полевая верификация эрозионных моделей на основе исследований малого водосбора в бассейне р. Воробжи (Курская область) // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1321–1338. DOI: 10.31857/S0032180X22100045.
- Гусаров А.В., Шарифуллин А.Г. Современная эрозия и сток взвешенных наносов на степном юго-востоке Русской равнины (бассейн р. Самары) // Известия РАН. Сер. геогр. 2019. № 1. С. 37–51. DOI: 10.31857/S2587-55662019137-51.
- Иванов В.А., Чалов С.Р. Оценка баланса наносов рек Обь и Енисей // Геоморфология. 2021. Вып. 52. № 3. С. 79–89. DOI: 10.31857/S0435428121030056.
- Канатьева Н.П., Краснов С.Ф., Литвин Л.Ф. Современные изменения климатических факторов эрозии в Северном Приволжье // Эрозия почв и русловые про-

- цессы. Вып. 17 / под ред. Р.С. Чалова. М.: МГУ, 2010. С. 14–28.
- Козлов Д.Н., Жидкин А.П., Лозбенев Н.И. Цифровое картографирование эрозионных структур почвенного покрова на основе имитационной модели смыва (северная лесостепь Среднерусской возвышенности) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 100. С. 5–35. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-5-35.
- Корнилова Е.А., Лисецкий Ф.Н., Родионова М.Е. Гидроэкологические особенности реки Ворсклы (российский участок) в контексте природно-хозяйственных изменений // Региональные геосистемы. 2023. Т. 47. № 4. С. 550–568. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568.
- Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45. № 4. С. 617–631. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631.
- Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Маринина О.А. Геоморфологическая асимметрия разнопорядковых речных бассейнов (на примере Белгородской области) // Ученые записки Казанского ун-та. Сер. Естеств. науки. 2018. Т. 160. Кн. 3. С. 500–513.
- Мозжерин В.В. Расчленение стока взвешенных наносов рек Северной Евразии на русловую и бассейновую составляющие и его геоморфологическая интерпретация // Региональные исследования природно-территориальных комплексов; под ред. В.В. Сироткина, Р.Р. Денмухаметова. Казань: Мед-док, 2012. С. 93–100.
- Фомичева Д.В., Жидкин А.П., Комиссаров М.А. Полимасштабные оценки варьирования эродируемости почв в условиях высокой неоднородности почвенного покрова Северной лесостепи среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2024. № 2. С. 345–358. DOI: 10.31857/S0032180X24020116.
- Эрозионно-русловые системы / под ред. Р.С. Чалова, А.Ю. Сидорчука, В.Н. Голосова. М.: ИНФРА-М, 2017. 697 с.
- Batista P.V., Laceby J.P., Davies J. et al. A framework for testing large-scale distributed soil erosion and sediment delivery models: Dealing with uncertainty in models and the observational data, *Environmental Modelling & Software*, 2021, vol. 137, art. 104961, DOI: 10.1016/j.envsoft.2021.104961.
- Buryak Z.A., Narozhnyaya A.G., Gusarov A.V. et al. Solutions for the spatial organization of cropland with increased erosion risk at the regional level: A case study of Belgorod Oblast, European Russia, *Land*, 2022, vol. 11, no. 9, art. 1492, DOI: 10.3390/land11091492.
- Chizhikova N., Yermolaev O., Golosov V. et al. Changes in the regime of erosive precipitation on the European Part of Russia for the period 1966–2020, *Geosciences*, 2022, vol. 12, art. 279, DOI: 10.3390/geosciences12070279.
- Lebedeva M.G., Lupo A.R., Chendev Y.G. et al. Changes in the atmospheric circulation conditions and regional climatic characteristics in two remote regions since the mid-20th century, *Atmosphere*, 2019, vol. 10, no. 1, art. 11, DOI: 10.3390/atmos10010011.
- Lisetskii F. Water resources of rivers and erosion-accumulation processes, *Biosc. Biotech. Res. Comm.*, 2022, vol. 15, no. 4, p. 1–3, DOI: 10.21786/bbrc/15.4.1.
- Maltsev K., Yermolaev O. Assessment of soil loss by water erosion in small river basins in Russia, *Catena*, 2020, vol. 195, art. 104726, DOI: 10.1016/j.catena.2020.104726.
- McCool D.K., Foster G.R., Mutchler C.K. et al. Revised slope length factor for the universal soil loss equation, *Transactions of the ASAE*, 1989, vol. 32, no. 5, p. 1571–1576, DOI: 10.13031/2013.31192.
- Rompay van A., Verstraeten G., Oost van K. et al. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, vol. 26, no. 11, p. 1221–1236, DOI: 10.1002/esp.275.
- Yermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A. et al. Geography and geoecology of Russia in the mosaic of river basins, *Geography and Natural Resources*, 2023, vol. 44, no. 3, p. 208–214, DOI: 10.1134/S1875372823030046.
- Zhidkin A., Gennadiyev A., Fomicheva D. et al. Soil erosion models verification in a small catchment for different time windows with changing cropland boundary, *Geoderma*, 2023, vol. 430, art. 116322, DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116322.
- Электронные ресурсы**
- Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н. и др. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. URL: <http://meteo.ru/data/basic-parameters/> (дата обращения 03.02.2025).
- Речные бассейны Европейской России. URL: <https://bassapr.kpfu.ru/mapbender/application/bassepr> (дата обращения 03.02.2025).

Поступила в редакцию 20.05.2024

После доработки 25.11.2024

Принята к публикации 20.05.2025

VARIABILITY OF THE SLOPE COMPONENT OF SEDIMENT BALANCE FOR THE EROSION-CHANNEL SYSTEM IN ANTHROPOGENICALLY TRANSFORMED BASIN OF A SMALL RIVER

Zh.A. Buryak¹, A.D. Spesivtseva²

¹ Kazan (Volga Region) Federal University, Institute of Ecology, Biotechnology and Nature Management, Research Laboratory "Balance C"

² Belgorod State National Research University, Institute of Earth Sciences, Department of Applied Geology and Mining

¹ Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: buryakzh@gmail.com

² Assistant; e-mail: 1561869@bsuedu.ru

The paper presents the study of spatiotemporal variability of surface sediment flow and the assessment of its influence on suspended sediment yield in the outlet section of a small river basin, i.e. the upper part of the Vorskla River (Belgorod Oblast), with an area of 1,85 thousand km². Time series of average annual suspended sediment yield from 1960 till 2021 were analyzed according to the data for the Kozinka – Vorskla gauging station (116 km from the river source). High heterogeneity of the sediment yield was found, during the period under review it decreased by 6,7 times (according to average values, from 0,27 to 0,04 kg/s). It was found that the surface (basin) component predominates in the sediment balance, which is predominately soil matter eroded from the arable lands of the agriculturally developed catchment areas. The content of suspended sediment in river runoff has a greater response to changes in the intensity of snowmelt erosion than the rainfall one. However, a critical decrease in the snowmelt runoff layer caused by the climate changes of recent decades has led to a decrease in the contribution of snowmelt erosion to annual soil losses. As a result, suspended sediment yield in the outlet section of the river has decreased. A quantitative assessment of rainfall erosion rates using the WaTEM/SEDEM model showed that the main source of sediment is plowed areas; annually 228,8 thousand tons of soil matter are removed from the arable lands. At the same time, 76 thousand tons enter the river network, i. e. 66% of soil material mobilized by rainfall runoff accumulates within the catchment area. The dynamics of river flow regulation by ponds is considered. To date, sediment yield from 62% of the catchment area is intercepted by ponds. Over the past 40 years, the interception area of solid runoff has increased by 30%, and the volume of sediments entering the unregulated river network has decreased by 47%. The ponds and the upper-lying gully network hold 61,4 thousand tons of sediments, which is 81% of the surface erosion in the basin. Thus, the climate-related decrease in snowmelt runoff from the catchment area, combined with the reduction of water yield during floods and the water management measures to regulate river flow by ponds, has resulted in a sharp reduction of suspended sediment discharge since the 1980-s and their further gradual decline.

Keywords: water erosion, runoff interception, suspended sediment yield, sediment delivery coefficient, WaTEM/SEDEM

Acknowledgements. The study was financially supported by the RF Ministry of Science and Higher Education under the State Assignment FZWG-2025-0006 (analysis of hydrologic parameters), and by the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030" of the Kazan Federal University (modeling of erosion processes and pond dynamics assessment).

REFERENCES

- Barabanov A.T., Petelko A.I. Faktory sklonovogo vesennego stoka na serykh lesnykh pochvakh v Tsentral'noi lesostepi [Factors of slope spring runoff on gray forest soils in the central forest-steppe], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, vol. 78, no. 4, p. 18–27, DOI: 10.55959/10.55959/msu0579-9414.5.78.4.2. (In Russian)
- Batista P.V., Laceby J.P., Davies J. et al. A framework for testing large-scale distributed soil erosion and sediment delivery models: Dealing with uncertainty in models and the observational data, *Environmental Modelling & Software*, 2021, vol. 137, art. 104961, DOI: 10.1016/j.envsoft.2021.104961.
- Bezukhov D.A., Golosov V.N., Panin A.V. Otsenka koeffitsienta dostavki nanosov malykh vodosborov v lesostepnykh i stepnykh raionakh Vostochno-Evropeiskoi ravniny [Evaluation of the sediment delivery ratio of small watersheds in forest-steppe and steppe regions of the Russian plain], *Izv. Rossiiskoi akademii nauk, Ser. geograficheskaya*, 2019, no. 4, p. 73–84, DOI: 10.31857/S2587-55662019473-84. (In Russian)
- Buryak Z.A., Narozhnyaya A.G., Gusarov A.V., Beylich A.A. Solutions for the spatial organization of cropland with increased erosion risk at the regional level: A case study of Belgorod Oblast, European Russia, *Land*, 2022, vol. 11, no. 9, art. 1492, DOI: 10.3390/land11091492.
- Chizhikova N., Yermolaev O., Golosov V. et al. Changes in the regime of erosive precipitation on the European Part of Russia for the period 1966–2020, *Geosciences*, 2022, vol. 12, art. 279, DOI: 10.3390/geosciences12070279.
- Eroziionno-ruslovyye sistemy* [Fluvial systems], R.S. Chalov, A.Yu. Sidorchuk, V.N. Golosov (eds.), Moscow, INFRA-M Publ., 2017, 697 p. (In Russian)

- Fomicheva D.V., Zhidkin A.P., Komissarov M.A. Multiscale estimates of soil erodibility variation under conditions of high soil cover heterogeneity in the northern forest-steppe of the Central Russian Upland, *Eurasian Soil Science*, 2024, vol. 57, no. 2, p. 325–336, DOI: 10.1134/S1064229323602895.
- Golosov V.N., Zhidkin A.P., Petelko A.I. et al. Field verification of erosion models based on the studies of a small catchment in the Vorobzha River Basin (Kursk oblast, Russia), *Eurasian Soil Science*, 2022, vol. 55, no. 10, p. 1508–1523, DOI: 10.1134/s1064229322100040.
- Gusarov A.V., Sharifullin A.G. Sovremennaya eroziya i stok vzveshennykh nanosov na stepnom yugo-vostoke Russkoi ravniny (bassein r. Samara) [Contemporary erosion and suspended sediment yield within river basins in the steppe of the southeastern part of the Russian Plain: A case study of the Samara River basin], *Izv. Rossiiskoi akademii nauk, Ser. geograficheskaya*, 2019, no. 1, p. 37–51, DOI: 10.31857/S2587-55662019137-51. (In Russian)
- Ivanov V.A., Chalov S.R. Otsenka balanso nanosov rek Ob' i Enisei [Sediment budget assessment of the Ob and the Yenisei rivers], *Geomorfologiya*, 2021, vol. 52, no. 3, p. 79–89, DOI: 10.31857/S0435428121030056. (In Russian)
- Kanatueva N.P., Krasnov S.F., Litvin L.F. [Recent changes of climate factors of erosion in Northern Povolzie], *Eroziya pochv i ruslovyie protsessy* [Soil Erosion and Channel Processes], R.S. Chalov (ed.), Moscow, MSU Publ., 2010, vol. 17, p. 14–27. (In Russian)
- Kornilova E.A., Lisetskii F.N., Rodionova M.E. Gidroekologicheskie osobennosti reki Vorskly (rossiiskii uchastok) v kontekste prirodno-khozyaistvennykh izmenenii [Hydroecological features of the Vorskla River (Russian section) in the context of natural and economic changes], *Regional'nye geosistemy*, 2023, vol. 47, no. 4, p. 550–568, DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-550-568. (In Russian)
- Kozlov D.N., Zhidkin A.P., Lozbenov N.I. Tsifrovoe kartografirovaniye erozionnykh struktur pochvennogo pokrova na osnove imitatsionnoi modeli smyva (severnaya lesostep' Srednerusskoi vozvyshennosti) [Digital mapping of soil cover eroded patterns on the basis of soil erosion simulation model (northern forest-steppe of the Central Russian Upland)], *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*, 2019, vol. 100, p. 5–35, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-5-35. (In Russian)
- Kumani M.V., Shulgina D.V., Kiselev V.V. Mnogoletnyaya dinamika osnovnykh elementov stoka rek v predelakh Tsentral'nogo Chernozem'ya [Long-term dynamics of the main elements of river flow within the Central Chernozem region], *Regional'nye geosistemy*, 2021, vol. 45, no. 4, p. 617–631, DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-617-631. (In Russian)
- Lebedeva M.G., Lupo A.R., Chendev Y.G. et al. Changes in the atmospheric circulation conditions and regional climatic characteristics in two remote regions since the mid-20th century, *Atmosphere*, 2019, vol. 10, no. 1, art. 11, DOI: 10.3390/atmos10010011.
- Lisetskii F. Water resources of rivers and erosion-accumulation processes, *Biosc. Biotech. Res. Comm.*, 2022, vol. 15, no. 4, p. 1–3, DOI: 10.21786/bbrc/15.4.1.
- Lisetskii F.N., Buryak Zh.A., Marinina O.A. Geomorfologicheskaya asimetriya raznoporyadkovykh rechnykh basseinov (na primere Belgorodskoi oblasti) [Geomorphological asymmetry of river basins belonging to different orders (based on the Belgorod region)], *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta, Seriya Estestvennyye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 3, p. 500–513. (In Russian)
- Maltsev K., Yermolaev O. Assessment of soil loss by water erosion in small river basins in Russia, *Catena*, 2020, vol. 195, art. 104726, DOI: 10.1016/j.catena.2020.104726.
- McCool D.K., Foster G.R., Mutchler C.K. et al. Revised slope length factor for the universal soil loss equation, *Transactions of the ASAE*, 1989, vol. 32, no. 5, p. 1571–1576, DOI: 10.13031/2013.31192.
- Moszhherin V.V. [Division of suspended sediment runoff from rivers of Northern Eurasia into channel and basin components and its geomorphological interpretation], *Regional'nye issledovaniya prirodno-territorial'nykh kompleksov* [Regional studies of natural-territorial complexes], V.V. Sirotkin, R.R. Denmukhametov (eds.), Kazan, Med-doc Pybl., 2012, p. 93–100. (In Russian)
- Rompay van A., Verstraeten G., Oost van K. et al. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, vol. 26, no. 11, p. 1221–1236, DOI: 10.1002/esp.275.
- Yermolaev O.P., Mukharamova S.S., Maltsev K.A. et al. Geography and geoecology of Russia in the mosaic of river basins, *Geography and Natural Resources*, 2023, vol. 44, no. 3, p. 208–214, DOI: 10.1134/S1875372823030046.
- Zhidkin A., Gennadiyev A., Fomicheva D. et al. Soil erosion models verification in a small catchment for different time windows with changing cropland boundary, *Geoderma*, 2023, vol. 430, art. 116322, DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.116322.

Web sources

- Bulygina O.N., Veselov V.M., Razuvaev V.N. et al. Opisan-
iye massiva srochnykh dannykh ob osnovnykh meteoro-
logicheskikh parametrah na stantsiyakh Rossii [Descrip-
tion of the array of urgent data on the main meteorological
parameters at stations in Russia], URL: [http://meteo.ru/
data/basic-parameters/](http://meteo.ru/data/basic-parameters/) (access date 03.02.2025).
- Rechnyye basseiny Yevropeyskoy Rossii [River basins of
European Russia], URL: [https://bassapr.kpfu.ru/map-
bender/application/bassepr](https://bassapr.kpfu.ru/map-bender/application/bassepr) (access date 03.02.2025).

Received 20.05.2024

Revised 25.11.2024

Accepted 20.05.2025

ТЕМПЫ НАКОПЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ЭРОЗИИ ПОЧВ В ДНИЩЕ БАЛКИ С РАСПАХАННЫМ ВОДОСБОРОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИОЦЕЗИЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

М.М. Иванов¹, Н.Н. Иванова², П.И. Фоминых³, Н.Н. Луговой⁴

^{1–4} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева*

^{1, 3, 4} *Институт географии РАН*

¹ *Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: ivanovm@bk.ru*

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

³ *Инженер-исследователь; e-mail: foma41polina@gmail.com*

⁴ *Ст. науч. сотр.; e-mail: lugovoy-n@ya.ru*

Накопление наносов в верхних звеньях флювиальной сети является одним из главных свидетельств развития ускоренной эрозии на склонах в период сельскохозяйственного использования водосбора. Изучение вертикального распределения техногенного ¹³⁷Cs в районах чернобыльского загрязнения дает возможность оценить интенсивность аккумуляции за период после его выпадения. В работе представлен опыт оценки изменений темпов осадконакопления в днище малой балки с полностью распаханым водосбором на юге Тульской области. Динамика отложения продуктов эрозии почв за периоды 1986–2010 и 1986–2023 гг. была выявлена при помощи проведения повторного послойного отбора образцов почвы в днище и определения глубины залегания чернобыльского пика концентрации ¹³⁷Cs. Было также проведено ручное бурение в днище долины для определения мощности агрогенных осадков, начавших накапливаться с конца XVII в. Результаты исследования показали, что в постчернобыльский этап происходила более интенсивная аккумуляция в сравнении со всем периодом хозяйственного освоения. Процесс осадконакопления характеризуется значительной пространственно-временной неоднородностью. Рост темпов аккумуляции наблюдается в верховьях долины и на участках сужения днища: с 0,4–0,7 до 1,6–3 см в год. В нижней и приустьевой части не отмечено увеличения мощности аккумулятивной толщи, здесь преобладает перемыв и вынос за пределы водосбора отложенного ранее материала. В среднем после Чернобыльской аварии в балке аккумулировалось 39,9–42,3 т наносов ежегодно, что более чем 2 раза превышает средние показатели за весь период хозяйственного освоения – 19,3 т в год. В будущем при сохранении наблюдаемой тенденции будет происходить увеличение уклона днища, что может привести к активизации имеющихся и появлению новых донных врезов. Полученный опыт показал, что повторные радиоцезиевые исследования могут быть важным инструментом для оценки долгосрочных изменений эрозионно-аккумулятивных процессов и баланса наносов в пределах водосборов с высокой антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: сток наносов, ¹³⁷Cs, повторный отбор образцов, чернобыльское загрязнение, Тульская область, Среднерусская возвышенность

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.6

ВВЕДЕНИЕ

Вмешательство человека в природную среду при земледельческом освоении территорий приводит к нарушению естественного растительного покрова и развитию ускоренной эрозии на обрабатываемых склонах [Ермолаев, 2002; Лисецкий и др., 2011; Zuazo, Pleguezuelo, 2009]. В результате смыл с поверхности пашни становится доминирующей статьей в балансе бассейновой составляющей стока наносов [Дедков и др., 2008]. Однако мобилизованный на распаханых склонах материал должен проделать сложный путь по флювиальной сети от ареалов интенсивной эрозии до русла реки, прежде чем стать частью ее твердого стока. В процессе

транспорта велика вероятность того, что большая часть наносов, не достигнув русловой сети, будет на продолжительное время переотложена в пределах малого водосбора. Доля такой аккумуляции может преобладать в общей структуре баланса наносов [Sidorchuk, 2018].

Сформированные на склонах водосборов и в днищах малых долин аккумулятивные тела являются главным свидетельством процессов потери и выноса почвы за пределы эродируемых участков [Ларионов, 1993]. Исследование темпов накопления материала на аккумулятивных позициях в непосредственной близости от источника наносов позволяет косвенно оценить интенсивность потерь

почвы. Оценка интенсивности аккумуляции за разные временные интервалы дает возможность выявить тенденции в темпах поступления продуктов эрозии.

Такая задача требует применения надежных хронологических маркеров, которые позволяют производить датирование аккумулятивных толщ. Одним из таких маркеров выступает техногенный радионуклид ^{137}Cs . Геохимические особенности его поведения в окружающей среде, сравнительная простота гамма-спектрометрического определения и ограниченное число источников поступления в атмосферу сделали ^{137}Cs наиболее широко распространенным трассером при изучении эрозионно-аккумулятивных процессов [Ritchie, Ritchie, 2001]. В случае последовательного осадконакопления и отсутствия нарушений в вертикальном распределении радионуклида вследствие размыва или перемешивания отложений максимум содержания ^{137}Cs может быть отнесен к конкретному времени наиболее интенсивных атмосферных выпадений [Pennington et al., 1973; Kansanen et al., 1991; Kurikami et al., 2014].

На территории Восточно-Европейской равнины выделяются два таких максимума, относящихся к глобальным выпадениям в результате интенсивных ядерных испытаний в открытой атмосфере до начала 1960-х гг. [Болтнева и др., 1977] и к Чернобыльской аварии 1986 г. [Izrael et al., 1996; Golosov et al., 2013]. Поскольку период полураспада изотопа составляет 30,2 года, в настоящее время содержание ^{137}Cs бомбового происхождения сократилось более чем в 4 раза. Учитывая сравнительно невысокие уровни глобальных выпадений, точное определение содержания радионуклидов из данного источника становится все более трудной задачей, а в условиях интенсивного чернобыльского загрязнения разделение бомбового и чернобыльского ^{137}Cs практически невозможно. Вследствие высоких концентраций ^{137}Cs чернобыльских выпадений возможность его использования в качестве хрономаркера сохранится еще достаточно долго, что в том числе позволит проводить повторную оценку темпов аккумуляции на одних и тех же ключевых участках через продолжительные отрезки времени.

Целью данной работы является апробация методики количественной оценки изменений темпов накопления наносов в днище балки с полностью распаханном водосбором в зоне интенсивного Чернобыльского загрязнения. Предложенный набор методов позволил определить объемы и темпы аккумуляции агрогенных наносов за все время земледельческого освоения малого водосбора и за периоды 1986–2010 и 1986–2023 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования был выбран малый водосбор в южной части Тульской области в зоне интенсивного радиоактивного загрязнения (рис. 1А). Водосбор располагается в пределах наиболее высокой части Среднерусской возвышенности – Плавского плато. Амплитуда высот в границах исследованной территории составляет 44 м – от 203 до 247 м, площадь водосбора – около 559 000 м². Большую часть малого бассейна (около 516 000 м²) занимают субгоризонтальные поверхности между-речий и пологие распахиваемые склоны крутизной до 6°. На долю долинного комплекса приходится около 43 000 м² (см. рис. 1Б).

Водосбор вытянут с юго-запада на северо-восток, и через его осевую часть проходит ежегодно перепахиваемая склоновая ложбина, переходящая в своей нижней части в сухую долину (балку) с задернованными и сравнительно крутыми бортами. Плановое положение границы пашни в месте подхода тальвега ложбины к вершине балки изменяется год от года в основном в зависимости от влажности почвы во время проведения весенних сельхозработ.

Согласно имеющимся историческим материалам, склоны водосбора распахивались как минимум с конца XVII в., и продолжительность агрогенного периода, когда могла проявляться ускоренная эрозия, насчитывает более 300 лет. Верхняя часть водосбора отделена дорогой, которая отмечена уже на плане Генерального межевания Чернского уезда, созданном в 1776–1780 гг. Выше по склону к дороге примыкает двурядная лесополоса, предположительно заложенная в 1950-х гг. на специально сформированных валах. На распаханном склоне выше лесополосы ложбина, идущая от вершины балки, морфологически слабо выражена, однако она концентрирует склоновый сток. На границе пашни у вала лесополосы формируется конус выноса. Идущая поперек падения склона лесополоса, особенно с учетом посадки деревьев на валах, является важным рубежом стока. До ее создания на пути транспортировки наносов из верхней части водосбора не было препятствий.

Борта малой долины на большей части своего протяжения отделены от пахотного склона напашью – невысоким валом, возникшим в результате отвальной вспашки и аккумуляции продуктов смыва с распаханых склонов. «Перелив» наносов через напашь и дальнейшее переотложение на задернованных бортах балки возможны только в местах концентрации склонового стока. Основная часть наносов транспортируется по ложбинной сети.

Ширина долины по бровкам плавно увеличивается от вершины и достигает 90 м в устьевой части. Борта полностью задернованы и имеют

крутизну до 15°. Зоны переотложения поступающих с пашни наносов на бортах балки четко маркируются более густым травянистым покровом с значительным участием сорной растительности в его составе. Днище неровное с преимущественно выпуклым поперечным профилем, в месте сочленения с бортами балки прослеживаются морфологически выраженные тальвеги. Между исследу-

дованными створами уклон дна изменяется в диапазоне 0,04–0,09. Ширина днища колеблется от нескольких метров в верховьях до 20 м в устьевой части. Положение и количество тальвегов меняется по течению долины. В приустьевой части днища наблюдается интенсивное врезание донных оврагов с высотой стенок вершинного перепада до 1,2–1,4 м.

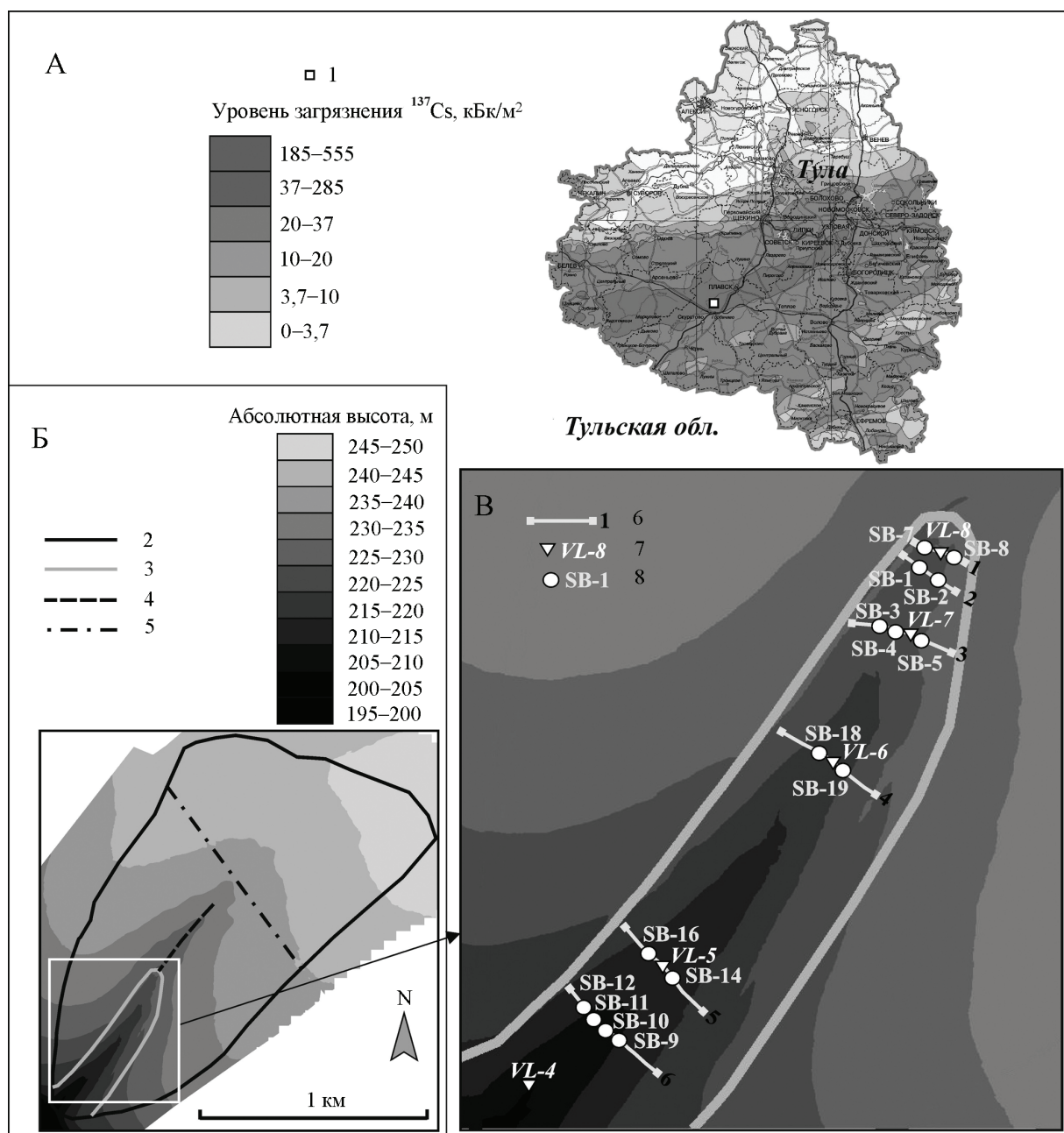


Рис. 1. Район исследований: А – карта радиоактивного загрязнения Тульской области [Атлас..., 2009]: 1 – расположение исследованного водосбора; Б – цифровая модель рельефа исследованного водосбора: 2 – граница водосбора; 3 – нижняя граница пашни; 4 – морфологически выраженный тальвег склоновой ложбины; 5 – дорога с лесополосой; В – расположение точек отбора образцов и бурения в днище долины: 6 – поперечные профили; 7 – почвенные разрезы; 8 – почвенные скважины

Fig. 1. Research area: А – map of radioactive contamination of the Tula region [Atlas..., 2009]: 1 – location of the catchment under study; Б – digital elevation model of the catchment: 2 – catchment boundary; 3 – lower cultivated field boundary; 4 – morphologically pronounced talweg of a slope hollow; 5 – road with shelterbelt; В – location of sampling and observation point: 6 – cross-sections of the dry valley (balka); 7 – soil sections; 8 – soil wells

В 2010 г. в днище описываемой балки уже проводились работы по изучению вертикального распределения ^{137}Cs чернобыльского происхождения на аккумулятивных позициях. Частично результаты исследований были опубликованы ранее [Иванов и др., 2016]. В нескольких створах в днище были заложены серии почвенных разрезов для послойного отбора образцов с заданной геометрией (см. рис. 1В). В каждом створе по крайней мере один разрез располагался в центральной части днища или тальвеге. Площадь отбора образцов составляла 10×10 см с шагом глубины 10 см. Общая глубина отбора задавалась произвольно и не превышала 60 см, что, однако, оказалось недостаточным, чтобы полностью отобрать толщу, загрязненную ^{137}Cs , и оценить мощность постчернобыльской аккумуляции в верховьях балки (разрез VL-7). Чтобы избежать подобной ситуации, в 2023 г. послойный отбор образцов был произведен с предварительным дозиметрическим обследованием стенки разреза, по результатам которого приблизительно оценивалась мощность загрязненной толщи. Отбор образцов осуществлялся с шагом по глубине 3 см в точках VL-8, VL-6, VL-5, VL-4 и 5 см в точке VL-7.

В лабораторных условиях образцы высушивались при температуре 105°C , затем перетирались и просеивались через сито с диаметром отверстий 2 мм. В подготовленных образцах содержание ^{137}Cs определяли с использованием гамма-спектрометрического комплекса СКС-07П(09П)_Г_Р производства компании ООО «ГринСтар» с относительной погрешностью определения удельной активности 5–10% в 2010 г., и гамма-спектрометра ORTEC (GEM30P40) с относительной погрешностью не более $\pm 7\%$ в 2023 г. Все значения гамма-активности были приведены с поправкой на радиоактивный распад к маю 1986 г. Полученные значения были использованы для построения графиков вертикального распределения удельной активности ^{137}Cs в заданных точках и оценке суммарных запасов радионуклида.

Плановые и высотные отметки бортов и днища малой долины, скважин и разрезов были определены при помощи ГНСС/GNSS PrinCe i50 (рис. 2А, Б). Для всей площади водосбора была произведена аэрофотосъемка территории участка с помощью БПЛА (DJI Mavic 2). Путем обработки полученных фотографий была получена ЦММ участка высокого разрешения. Для определения мощности толщи агрогенных наносов в 2023 г. было проведено ручное бурение с помощью почвенного бура производства компании Eijkelkamp. Скважины закладывали по шести поперечным профилям в днище балки таким образом, чтобы одна из скважин повторяла положение исследованного в 2010 г. почвенного

разреза (см. рис. 1В, профили 1, 3–5; рис. 2В–2З). Определение мощности агрогенной толщи проводили по положению кровли подстилающих пород, представленных лессовидными суглинками.

Суммарная аккумуляция наносов за разные временные периоды была рассчитана по формуле:

$$Q = S \cdot l \cdot \rho,$$

где Q – масса аккумулярованных наносов, т; S – средняя площадь поперечного сечения аккумулятивного тела в заданной части днища, м^2 ; l – длина участка днища, м; ρ – средняя плотность наносов, $\text{т}/\text{м}^3$.

Площадь поперечного сечения толщи агрогенных наносов определяли на основании глубины залегания кровли подстилающих пород непосредственно в днище и принимали нулевой в зоне тылового шва при переходе на борт долины. Поперечное сечение аккумулятивных тел, сформированных в постчернобыльское время, определялось как площадь треугольника с высотой, равной глубине залегания образца, датированного моментом выпадения ^{137}Cs в 1986 г., и основанием, равным ширине днища долины в конкретном створе. Такое допущение приводит к некоторому упрощению реальной геометрии аккумулятивного тела и, вероятно, занижает оценку его размеров. Длину расчетного участка определяли по карте, исходя из положения конкретных поперечных профилей. Средняя плотность оценивалась по отобраным образцам и составила $1100 \text{ кг}/\text{м}^3$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В верховьях долины наблюдается интенсивное накопление продуктов эрозии. Исследование 2010 г. показало, что за 24 года в точке VL-8 было аккумуляровано от 30 до 40 см наносов. Через 13 лет, в 2023 г., пик был заглублен на 20 см до 60–63 см (рис. 3А, Б). Средние темпы аккумуляции за рассматриваемые периоды оставались относительно стабильными: 1,3–1,7 см/год в 1986–2010 гг., 1,6–1,7 см/год в 1986–2023 гг. При сужении днища долины (см. рис. 2Б) фиксируется рост темпов аккумуляции. Даже неполный профиль вертикального распределения радионуклидов в 2010 г. (см. рис. 3В) указывает на то, что средний темп составлял не менее 2,6 см/год. Повторное обследование 2023 г. выявило, что с 1986 г. накопилась толща мощностью более 1 м (см. рис. 3Г), что соответствует средним темпам осадконакопления 2,8–3 см/год.

Ниже по долине глубина залегания пиковых значений активности ^{137}Cs в 2010 г. снижалась до 30–40 см в точке VL-6 (рис. 4А) и до 20–30 см в точках VL-5 и VL-4 (см. рис. 4В, Д). За период с 2010 по 2023 г. увеличение мощности аккумулятивной толщи до 51–54 см было обнаружено только в точке VL-6 (см. рис. 4Б). Средние темпы на-

копления материала (при данной точности оценки) остались теми же или сократились с 1,3–1,7 см/год в 1986–2010 гг. до 1,4–1,5 см/год в 1986–2023 гг. В точке VL-5 достоверное изменение мощности аккумулятивной толщи зафиксировать не удалось:

слой отложений, датированный 1986 г., в 2023 г. был обнаружен на глубине 27–30 см (см. рис. 4Г). Вполне вероятно, что в этой части днища в период 2010–2023 гг. не происходило поступления и перераспределения материала.

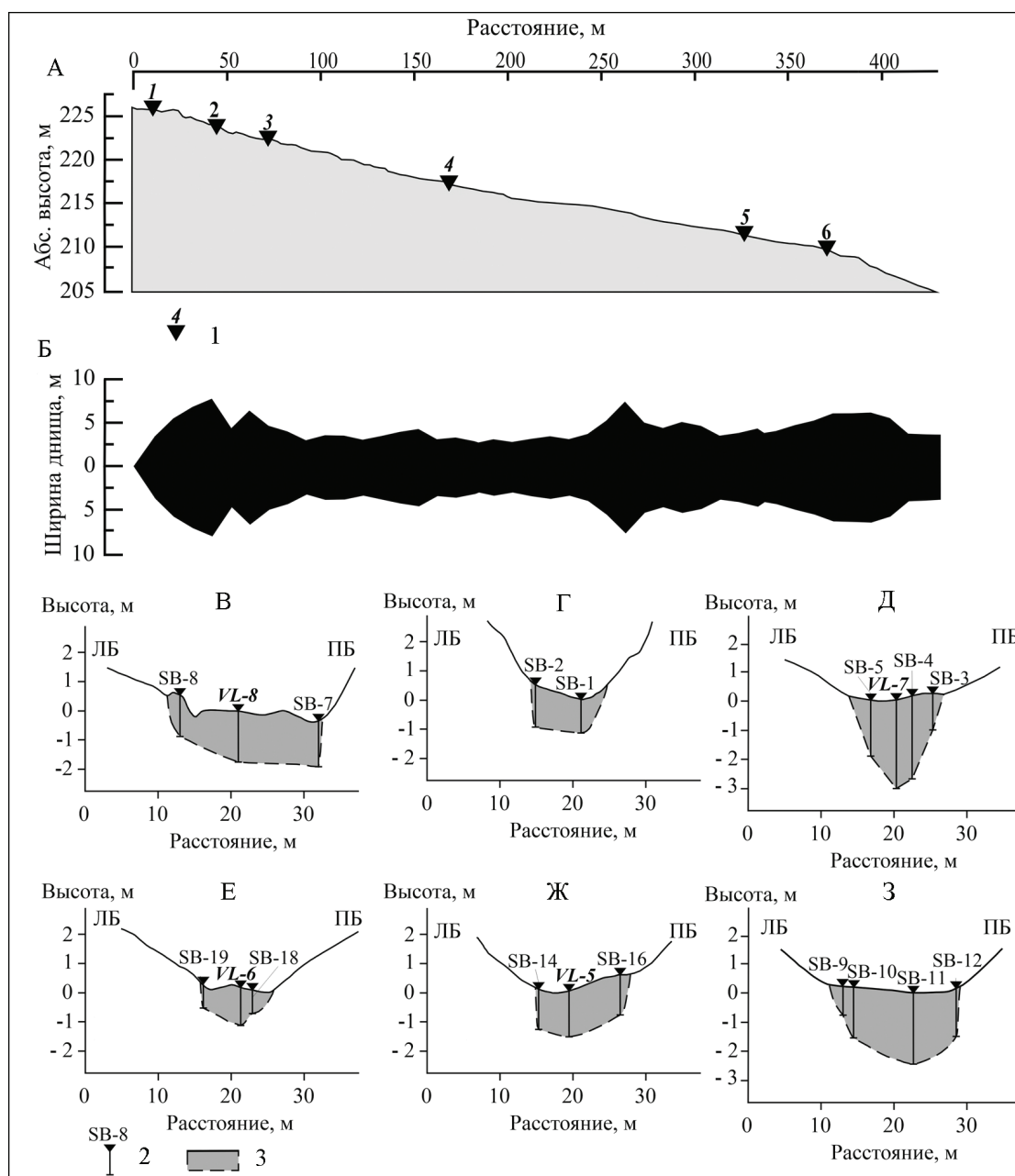


Рис. 2. Исследованный малый водосбор (балка): А – продольный профиль днища исследованной балки: 1 – расположение исследованных поперечных профилей; Б – изменение ширины днища по длине долины; В–З – поперечные профили через днище балки: 2 – почвенные скважины; 3 – агрогенные наносы

Fig. 2. The studied small catchment (ravine): А – longitudinal profile of the bottom of the studied ravine: 1 – location of the studied transverse profiles; Б – change in the width of the bottom along the length of the valley; В–З – transverse profiles through the bottom of the ravine: 2 – soil wells; 3 – agrogenic sediments

В случае последовательного отложения продуктов смыва с распаханых склонов в днище балки в вертикальном распределении ^{137}Cs в аккумулятивной толще отмечается постепенное снижение

удельной активности изотопа к поверхности. При постоянной глубине вспашки и смыве верхнего слоя почвы происходит ежегодное уменьшение концентрации радиоцезия в пахотном горизонте

за счет подпахивания нижележащего «чистого» материала. В приустьевой части днища в разрезе VL-4 в вертикальном распределении ^{137}Cs отсутствует корреляция концентрации радионуклида с глубиной, что указывает на нарушение последовательной аккумуляции (см. рис. 4Е). Нет четко выраженного максимума удельной активности, наблюдавшегося в 2010 г. (см. рис. 4Д), что не позволяет достоверно оценить мощность накопившихся отложений. Поскольку здесь происходит интенсивное врезание, можно предположить, что толща, исследованная в 2010 г., была размита в результате эрозии в днище, а после произошла повторная аккумуляция материала, поступившего

с участка выше по течению. При этом основным источником этого материала, вероятнее всего, послужил также локальный размыв днища, поскольку отсутствие аккумуляции после 2010 г. в расположенном выше по долине разрезе VL-5 указывает на то, что поступающие со склонов водосбора наносы в рассматриваемый период могли просто не достигать устья балки. Тем не менее даже с учетом произошедшего размыва и выноса отложений накопившегося материала оказалось достаточно, чтобы компенсировать потери. Допуская, что отобранный в 2023 г. материал отложился не позднее 2010 г., можно считать, что темпы аккумуляции составляли не менее 3,5 см/год.

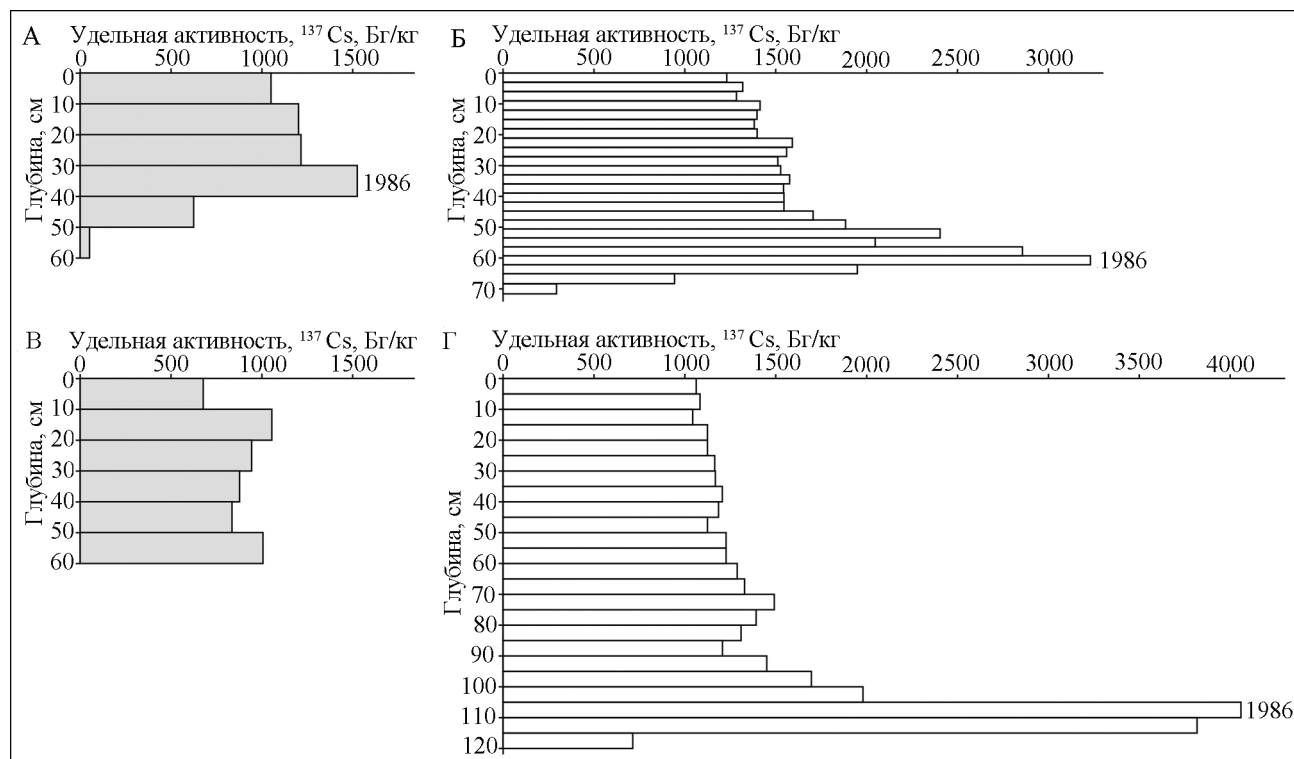


Рис. 3. Вертикальное распределение ^{137}Cs в аккумулярованных толщах в верховьях балки:

А – VL-8 в 2010 г.; Б – VL-8 в 2023 г.; В – VL-7 в 2010 г.; Г – VL-7 в 2023 г.

Fig. 3. Vertical distribution of ^{137}Cs in accumulated strata in the upper reaches of the ravine:

А – VL-8 in 2010; Б – VL-8 in 2023; В – VL-7 in 2010; Г – VL-7 in 2023

Исследование стратоземов с использованием глобального и черновобельского ^{137}Cs в качестве хрономаркеров показало, что для юго-западного сектора лесостепной зоны характерно сокращение темпов аккумуляции в послечернобыльское время по сравнению со второй половиной XX в. в связи со снижением потерь почвы на обрабатываемых склонах вследствие сокращения талого стока и изменения севооборотов [Golosov et al., 2017]. В дальнейшем эти выводы были подтверждены также для территории Татарстана [Шарифуллин и др., 2018] и Удмуртии [Гусаров и др., 2019].

Проведенное исследование позволило выявить динамику процесса аккумуляции в днище, указывающую на увеличение неравномерности распределения поступающего стока наносов за 13 лет. Отложение наносов преимущественно в верховьях балки может быть связано с сокращающейся интенсивностью склонового стока в весеннее время [Барабанов, Петелько, 2023] при отсутствии роста ливневых стокоформирующих осадков [Иванов и др., 2022]. Такая ситуация могла привести не только к сокращению темпов смыва, но и к снижению транспортирующей способности временных

водотоков уже в днище балки. Из-за малой площади днища балки переотложение даже меньшего объема эродированного материала обуславливает высокие темпы аккумуляции. Таким образом, данные, полученные по единичным точкам наблюдения, могут быть нерепрезентативными для выявления тенденций развития эрозии даже в пределах сравнительно компактных водосборов.

Маркелов [2004] отмечал, что «интенсивная аккумуляция в верховьях балок и долин приводит к увеличению уклонов днища и создает предпосылки для врезания». Исследование водосбора Гусиные лапки, располагающегося также в бассейне р. Плавы вблизи от объекта исследования, показали, что

отдельные эпизоды интенсивной аккумуляции могут существенно менять морфологию днища путем формирования выпуклых изгибов продольного профиля, сопровождаемых интенсивными донными врезами [Panin et al., 2001]. Неоднократное изменение уклонов приводит к чередованию во времени и пространстве участков врезания и аккумуляции. Неравномерное развитие процессов смыва, размыва и аккумуляции в эрозионных формах отмечено и в других регионах РФ [Рыжов, 2015]. Неравномерность накопления наносов создает условия для трансформации формы продольного профиля днища долины в виде увеличения перепада высот между верховьем и низовьем.

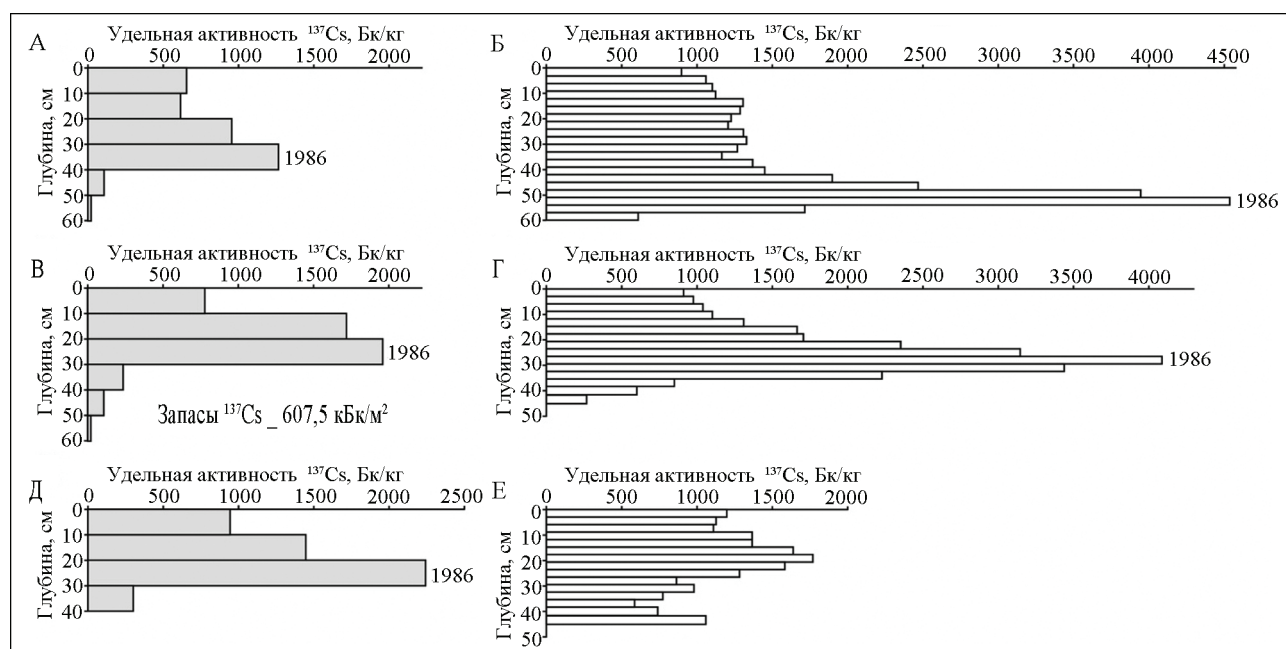


Рис. 4. Вертикальное распределение ^{137}Cs в аккумулятивных толщах в средней и нижней частях днища балки: А – VL-6 в 2010 г.; Б – VL-6 в 2023 г.; В – VL-5 в 2010 г.; Г – VL-5 в 2023 г.; Д – VL-4 в 2010 г.; Е – VL-4 в 2023 г.

Fig. 4. Vertical distributions of ^{137}Cs in accumulated sediments in the middle and lower reaches of the explored dry valley (balka): А – VL-6 in 2010; Б – VL-6 in 2023; В – VL-5 in 2010; Г – VL-5 in 2023; Д – VL-4 in 2010; Е – VL-4 in 2023

В последние десятилетия заполнение долины происходит в среднем более интенсивно, чем за весь предшествующий период хозяйственного освоения. Практически на всех участках днища балки, где в послечернобыльский период шла последовательная аккумуляция материала, средние темпы седиментации оказываются существенно выше, чем за предыдущие почти три столетия (табл.). Однако необходимо с большой осторожностью делать выводы на основании прямого сравнения этих показателей. Пространственная картина развития эрозионно-аккумулятивных процессов в днище скорее всего испытывала существенные изменения даже в пределах более коротких временных отрезков, как было показано выше на примере разреза VL-4.

На всем участке днища балки от 1-го до 5-го створа (см. рис. 1В) за 37 лет накопилось около четверти от всей агрогенной толщи: 1475–1566,8 из 6375,3 т. В среднем после Чернобыльской аварии аккумуляровалось 39,9–42,3 т наносов ежегодно, что более чем в 2 раза превышает средние показатели за весь период хозяйственного освоения (19,3 т в год) и до Чернобыльской аварии (16,2–16,6 т в год). Такое различие указывает на нелинейный характер развития рельефа днища балки. Учитывая текущее сокращение талого стока и способы ведения сельского хозяйства, можно предположить, что при других климатических условиях и распашке вдоль склона количество поступающих в балку наносов превышало современное. Следовательно, в прошлом эффективность транс-

портировки материала по днищу балки и вынос за ее пределы должны были быть значительно выше, чем в конце XX и первой четверти XXI в. В бассейне р. Плавы, притоком которой является Локна, именно бесприточные малые суходольные долины с относительно высокими уклонами днищ являются основными поставщиками бассейновых наносов [Безухов и др., 2014]. Возможно, вследствие более высокой, чем современная, степени транзитности балок-притоков р. Локны, постоянный сток воды, зафиксированный на плане Генерального межевания (конец XVIII в.), полностью прекратился уже к 1840-м гг., поскольку на датируемой этим периодом Военно-топографической карте Тульской губернии долина р. Локны показана как суходольная. Таким образом, полученные данные указывают на то, что режим протекания эрозионно-аккумулятивных процессов испытал как минимум одну серьезную трансформацию, а вероятнее всего, она не была единственной. Получение более детальных свидетельств об имев-

ших место подобных изменениях требует привлечения дополнительных хронологических маркеров для датировки уже аккумулярованных толщ. Большой потенциал имеет исследование накопления в почве сферических магнитных частиц [Jones, Olson, 1990; Gennadiev et al., 2013], что может повысить детальность оценки осадконакопления начиная со второй половины XIX в., когда малые речные системы испытывали серьезные изменения. Общее сокращение русловой сети в бассейне р. Плавы более чем на треть имело место в период с 1830-х до 1940-х гг., когда большинство водотоков первого и второго порядка были полностью заполнены наносами, мобилизованными с возделываемых склонов [Golosov, Panin, 2006]. Продолжение повторных работ на уже исследованных участках и выбор новых объектов для мониторинга создадут возможность для изучения современных и будущих средне- и долгосрочных тенденций развития эрозионных процессов и баланса наносов.

Таблица

Средние темпы аккумуляции наносов в днище балки за разные временные интервалы на участках с последовательной аккумуляцией

Разрез	Временной период		
	1690–1986 гг.	1690–2023 гг.	1986–2023 гг.
VL-8	0,4	0,5	1,6–1,7
VL-7	0,7	0,9	2,8–3
VL-6	0,3	0,9	1,4–1,5
VL-5	0,4	0,5	0,7–0,8

ВЫВОДЫ

Аккумуляция продуктов ускоренной эрозии в балочной сети является важной составляющей баланса наносов сельскохозяйственных водосборов, способной динамично меняться в течение относительно непродолжительного периода и требующей разработки методик количественной оценки за разные интервалы времени.

Методика повторного послойного отбора и определения содержания ¹³⁷Cs чернобыльского происхождения оказалась эффективной для оценки динамики накопления наносов на участках со

стабильной тенденцией к аккумуляции. В случае вторичного врезания и нарушения вертикального распределения радионуклидов возможность точного определения мощности аккумуляции пропадает. Однако возникает надежное свидетельство изменений в развитии эрозионно-аккумулятивных процессов.

Перспективы исследований распределения ¹³⁷Cs в отложениях днищ балочной сети и, в частности, на участках последовательной аккумуляции связаны с привлечением дополнительных хронологических маркеров и проведением повторного отбора образцов на регулярной основе в будущем.

Благодарность. Работа выполнена в рамках проекта РНФ 23-77-10045 https://rscf.ru/prjcard_int?23-77-10045&ysclid=m9icjxgw9j405262876.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. М.: Фонд «Инфосфера – НИА – Природа»; Минск: Белкартография, 2009. 140 с.

Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. М.: Фонд «Инфосфера – НИА – Природа»; Минск: Белкартография, 2009. 140 с.

- Барабанов А.Т., Петелько А.И. Факторы склонового весеннего стока на серых лесных почвах в центральной лесостепи // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2023. № 4. С. 18–27. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.2.
- Безухов Д.А., Беляев В.Р., Иванова Н.Н. Количественная оценка интенсивности и направленности эрозионно-аккумулятивных процессов на обрабатываемых склонах в пределах бассейна р. Плавы (Тульская область) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: Геогр. 2014. № 6. С. 16–23.
- Болтнева Л.И., Израэль Ю.А., Ионов В.А. и др. Глобальное загрязнение цезием-137 и стронцием-90 и дозы внешнего облучения на территории СССР // Атомная энергия. 1977. Т. 42(5). С. 355–360.
- Гусаров А.В., Рысин И.И., Шарифуллин А.Г. и др. Оценка современного тренда эрозионно-аккумулятивных процессов в малом распаханном водосборе с использованием цезия-137 в качестве хрономаркера (юг Удмуртской Республики) // Геоморфология и палеогеография. 2019. № 2. С. 37–56.
- Дедков А.П., Гусаров А.В., Мозжерин В.В. Две системы эрозии в речных бассейнах равнин Земли и их взаимная трансформация // Геоморфология, 2008. № 4. С. 3–16.
- Ермолаев О.П. Эрозия в бассейновых геосистемах. Казань: Унипресс, 2002. 264 с.
- Иванов М.М., Иванова Н.Н., Голосов В.Н. и др. Оценка накопления сорбированного изотопа ^{137}Cs в верхних звеньях флювиальной сети в зоне чернобыльского загрязнения // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 156–163. DOI: 10.1134/S1875372816040107.
- Иванов М.М., Цыпленков А.С., Голосов В.Н. Современные тенденции развития эрозионно-аккумулятивных процессов и геоморфологическая связанность потоков наносов в бассейне р. Упы // Эрозия почв и русловые процессы. Тр. науч.-исслед. лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева. 2022. Т. 22. С. 66–97.
- Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв: основные закономерности и количественные оценки. М.: Изд-во МГУ, 1993. 198 с.
- Лисецкий Ф.Н., Светличный А.А., Черный С.Г. Современные проблемы эрозиоведения / под ред. А.А. Светличного. Белгород: Константа, 2012. 456 с.
- Маркелов М.В. Современные эрозионно-аккумулятивные процессы в верхних звеньях гидрографической сети лесной и лесостепной зон: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2004. 198 с.
- Рыжов Ю.В. Формирование оврагов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: ГЕО, 2015. 180 с.
- Шарифуллин А.Г., Гусаров А.В., Голосов В.Н. Современный тренд эрозионно-аккумулятивных процессов в малом распаханном водосборе, Республика Татарстан // Геоморфология и палеогеография. 2018. № 3. С. 93–108. DOI: 10.7868/S0435428118030082.
- Gennadiev A.N., Koshovskii T.S., Zhidkin A.P. et al. Lateral migration of soil solid-phase material within a landscape-geochemical arena detected using the magnetic tracer method, *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46(10), p. 983–993, DOI: 10.1134/S1064229313100037.
- Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V. Application of Chernobyl-derived ^{137}Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia, *Hydrological processes*, 2013, vol. 27(6), p. 781–794, DOI: 10.1002/hyp.9470.
- Golosov V., Panin A. Century-scale stream network dynamics in the Russian Plain in response to climate and land use change, *Catena*, 2006, vol. 66(1–2), p. 74–92, DOI: 10.1016/j.catena.2005.07.011.
- Golosov V.N., Ivanova N.N., Gusarov A.V. et al. Assessment of the Trend of Degradation of Arable Soils on the Basis of Data on the Rate of Stratozem Development Obtained with the Use of ^{137}Cs as a Chronomarker, *Eurasian Soil Science*, 2017, vol. 50, no. 10, p. 1195–1208, DOI: 10.1134/S1064229317100039.
- Izrael Y.A., De Cort M., Jones A.R. et al. The atlas of cesium-137 contamination of Europe after the Chernobyl accident, *Proceedings of the first international conference "The radiological consequences of the Chernobyl accident"*, Luxembourg, 1996, p. 1–10.
- Jones R.L., Olson K.R. Fly ash use as a time marker in sedimentation studies, *Soil Science Society of America Journal*, 1990, vol. 54(3), p. 855–859, DOI: 10.2136/sssaj1990.03615995005400030040x.
- Kansanen P.H., Jaakkola T., Kulmala S. et al. Sedimentation and distribution of gamma-emitting radionuclides in bottom sediments of southern Lake Päijänne, Finland, after the Chernobyl accident, *Hydrobiologia*, 1991, vol. 222, p. 121–140, DOI: 10.1007/BF00006100.
- Kurikami H., Kitamura A., Yokuda S.T. et al. Sediment and ^{137}Cs behaviors in the Ogaki Dam Reservoir during a heavy rainfall event, *Journal of environmental radioactivity*, 2014, vol. 137, p. 10–17, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2014.06.013.
- Panin A.V., Walling D.E., Golosov V.N. The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of Chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia, *Geomorphology*, 2001, vol. 40(3–4), p. 185–204, DOI: 10.1016/S0169-555X(01)00043-5.
- Pennington W., Tutin T.G., Cambray R.S. et al. Observations on lake sediments using fallout ^{137}Cs as a tracer, *Nature*, 1973, vol. 242(5396), p. 324–326, DOI: 10.1038/242324a0.
- Ritchie J.C., Ritchie C.A. Bibliography of publications of ^{137}Cs studies related to erosion and sediment deposition, *USDA – ARS Hydrology and Remote Sensing Laboratory Occasional Paper HRSL-2007-01*, USDA – Agricultural Research Service, Beltsville, MD, USA, 2007, p. 11–15.
- Sidorchuk A.Y. The fluvial system on the East European plain: sediment source and sink, *Geography, Environment, Sustainability*, 2018, vol. 11(3), p. 5–20, DOI: 10.24057/2071-9388-2018-11-3-05-20.
- Zuazo V.H.D., Pleguezuelo C.R.R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review, *Sustainable agriculture*, 2009, p. 785–811, DOI: 10.1007/978-90-481-2666-8_48.

Поступила в редакцию 04.04.2025

После доработки 11.05.2025

Принята к публикации 20.05.2025

ACCUMULATION OF ACCELERATED EROSION PRODUCTS IN THE BOTTOM OF A SMALL DRY VALLEY (BALKA) WITH CULTIVATED CATCHMENT USING THE RADIOCESIUM STUDIES

M.M. Ivanov¹, N.N. Ivanova², P.I. Fominykh³, N.N. Lugovoy⁴

¹⁻³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes
^{1, 3, 4} Institute of Geography RAS

¹ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ivanovm@bk.ru

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

³ Engineer-Researcher; e-mail: foma41polina@gmail.com

⁴ Senior Scientific Researcher; e-mail: lugovoy-n@ya.ru

Accumulation of sediments in the upper sections of a fluvial network is among the main evidences of accelerated erosion on the slopes during the period of agricultural use of the catchment area. The study of the vertical distribution of technogenic ¹³⁷Cs within the Chernobyl-induced pollution areas makes it possible to estimate the intensity of accumulation over the period after its fallout. The paper presents an attempt of assessing changes in sedimentation rates in the bottom of a small dry valley (balka) with totally plowed catchment area in the southern Tula region. The dynamics of deposition of soil erosion products was identified for the periods 1986–2010 and 1986–2023 by repeated layer-by-layer sampling in the bottom and determining the depth of the Chernobyl-induced peak of ¹³⁷Cs concentration. Manual drilling was also carried out in the valley floor to determine the thickness of agrogenic sediments that began to accumulate since the end of the 17th century. The results of the study showed that in the post-Chernobyl stage the accumulation was more intensive in comparison with the entire period of agricultural use. The sedimentation process is characterized by significant spatial and temporal heterogeneity. An increase in the rate of accumulation is observed in the upper reaches of the valley and in the bottom narrowings (from 0.4–0.7 to 1.6–3 cm per year). No increase in the depth of the accumulated stratum was recorded in the lower and estuary parts; there is a predominance of overflowing and removal of previously deposited material away from the catchment area. On the average, 39.9–42.3 tons of sediment accumulated in the balka annually after the Chernobyl accident, which is more than twice the average for the entire period of economic development (19.3 tons per year). In the future, while maintaining the observed trend, the slope of the bottom will become steeper, thus activating the existing bottom cuts and producing new ones. The experience gained has shown that repeated radiocesium studies could be an important tool for assessing long-term changes in erosion-accumulative processes and sediment balance within catchments with high anthropogenic load.

Keywords: sediment load, ¹³⁷Cs, repeated sampling, Chernobyl contamination, Tula region, Central Russian Upland

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (project 23-77-10045 https://rscf.ru/prjcard_int?23-77-10045&ysclid=m9icjxgw9j405262876).

REFERENCES

- Atlas sovremennyh i prognoznyh aspektov posledstvij aviarii na Chernobyl'skoj AES na postradavshih territoriyah Rossii i Belarusi (ASPA Rossiya-Belarus')* [Atlas of actual and forecasted effects of the Chernobyl NPS accident within the affected areas of Russia and Belarus], Yu.A. Izrael', I.M. Bogdevich (eds.), Moscow, Infosphere-NIA-Priroda Foundation Publ., Minsk, Belkartografiya, Publ., 2009. (In Russian)
- Barabanov A.T. Petel'ko A.I. Faktory sklonovogo vesennego stoka na seryh lesnyh pochvah v central'noj lesostepi [Factors of slope spring runoff on gray forest soils in the central forest-steppe], *Vest. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, no. 4, p. 18–27, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.2. (In Russian)
- Bezuhov D.A., Beljaev V.R., Ivanova N.N. Kolichestvennaja ocenka intensivnosti i napravlenosti erozionno-akkumuljativnyh processov na obrabatyvaemyh sklonah v predelah bassejna r. Plava (Tul'skaja oblast') [Quantitative assessment of intensity and trend of erosion and accumulation processes on cultivated slopes within the Plava River basin (the Tula oblast)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2014, no. 6, p. 16–23. (In Russian)
- Boltneva L.I., Izrael' Ju.A., Ionov V.A., Nazarov I.M. Global'noe zagraznenie ceziem-137 i stronciem-90 i dozy vneshnego obluchenija na territorii SSSR [Global contamination with caesium-137 and strontium-90 and external radiation doses within the USSR territory], *Atomnaya energiya*, 1977, vol. 42(5), p. 355–360. (In Russian)
- Dedkov A.P., Gusarov A.V., Mozzherin V.V. Dve sistemy erozii v rechnyh bassejnah ravnin Zemli i ih vzaimnaja transformacija [Two erosion systems in river basins of the Earth's plains and their mutual transformation], *Geomorphologiya*, 2008, no. 4, p. 3–16. (In Russian)

- Ermolaev O.P. *Erosia v basseinovykh geosistemakh* [Erosion in basin geosystems], Unipress Publ., 2002, 264 p. (In Russian)
- Gennadiyev A.N., Koshovskii T.S., Zhidkin A.P., Kovach R.G. Lateral migration of soil solid-phase material within a landscape-geochemical arena detected using the magnetic tracer method, *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46(10), p. 983–993, DOI: 10.1134/S1064229313100037.
- Golosov V., Panin A. Century-scale stream network dynamics in the Russian Plain in response to climate and land use change, *Catena*, 2006, vol. 66(1–2), p. 74–92, DOI: 10.1016/j.catena.2005.07.011.
- Golosov V.N., Belyaev V.R., Markelov M.V. Application of Chernobyl-derived ^{137}Cs fallout for sediment redistribution studies: lessons from European Russia, *Hydrological processes*, 2013, no. 27(6), p. 781–794, DOI: 10.1002/hyp.9470.
- Golosov V.N., Ivanova N.N., Gusarov A.V., Sharifullin A.G. Assessment of the Trend of Arable Soils Degradation on the Basis of Data on the Rate of Stratozem Development Obtained with ^{137}Cs as a Chronomarker, *Eurasian Soil Science*, 2017, vol. 50, no. 10, p. 1195–1208, DOI: 10.1134/S1064229317100039.
- Gusarov A.V., Rysin I.I., Sharifullin A.G., Golosov V.N. Ocenka sovremennogo trenda jerozionno-akkumulativnykh processov v malom raspahannom vodosbore c ispol'zovaniem cezija-137 v kachestve hronomarkera (jug Udmurtskoj Respubliki) [Assessment of modern trend in erosion and accumulation processes within a small agricultural catchment using Cs-137 as a chronomarker (south of Udmurtiya Republic)], *Geomorfologiya*, 2019, no. 2, p. 37–56. (In Russian)
- Ivanov M.M., Ivanova N.N., Golosov V.N., Shamshurina E.N. Ocenka nakopleniya sorbirovannogo izotopa ^{137}Cs v verkhnykh zven'jakh fluvial'noj seti v zone chernobyl'skogo zagrizneniya [Assessing the accumulation of sorbed ^{137}Cs isotope within the upper components of fluvial network in the zone of Chernobyl contamination], *Geography and Natural Resources*, 2016, vol. 37, no. 4, p. 355–361, DOI: 10.1134/S1875372816040107.
- Ivanov M.M., Tsyplenkov A.S., Golosov V.N. [Modern trends in development of erosion and accumulation processes and geomorphic connectivity in the Upa River basin], *Erozija pochv i ruslovyje processy* [Soil erosion and channel processes], Proc. of the research laboratory of soil erosion and riverbed processes named after N.I. Makaveev, 2022, vol. 22, p. 66–97. (In Russian)
- Izrael Y.A., De Cort M., Jones A.R. et al. The atlas of cesium-137 contamination of Europe after the Chernobyl accident, *Proceedings of the first international conference "The radiological consequences of the Chernobyl accident"*, Luxembourg, 1996, p. 1–10.
- Kansanen P.H., Jaakkola T., Kulmala S. et al. Sedimentation and distribution of gamma-emitting radionuclides in bottom sediments of southern Lake Päijänne, Finland, after the Chernobyl accident, *Hydrobiologia*, 1991, vol. 222, p. 121–140, DOI: 10.1007/BF00006100.
- Kurikami H., Kitamura A., Yokuda S.T. et al. Sediment and ^{137}Cs behaviors in the Ogaki Dam Reservoir during a heavy rainfall event, *Journal of environmental radioactivity*, 2014, vol. 137, p. 10–17, DOI: 10.1016/j.jenvrad.2014.06.013.
- Larionov G.A. *Erozija i defljacija pochv: osnovnye zakonomernosti i kolichestvennye ocenki* [Erosion and deflation of soil: basic patterns and quantitative estimates], Moscow, Izd-vo MGU Publ., 1993, 198 p. (In Russian)
- Lisetskyi F.N., Svetlichnyj A.A., Chernyj S.G. *Sovremennye problemy eroziovedeniya* [Modern problems of erosion studies], A.A. Svetlichnyj (ed.), Belgorod, Constanta Publ., 2012, 456 p. (In Russian).
- Markelov M.V. *Sovremennye erozionno-akkumulativnyye processy v verkhnykh zven'jakh gidrograficheskoy seti lesnoj i lesostepnoj zon* [Modern erosion and accumulation processes in the upper reaches of hydrographic network within forest and forest-step zones], Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, 2004, 198 p. (In Russian)
- Panin A.V., Walling D.E., Golosov V.N. The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of Chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia, *Geomorphology*, 2001, no. 40(3–4), p. 185–204, DOI: 10.1016/S0169-555X(01)00043-5.
- Pennington W., Tutin T.G., Cambray R.S., Fisher E.M. Observations on lake sediments using fallout ^{137}Cs as a tracer, *Nature*, 1973, vol. 242(5396), p. 324–326, DOI: 10.1038/242324a0.
- Ritchie J.C., Ritchie C.A. Bibliography of publications of ^{137}Cs -Cesium studies related to erosion and sediment deposition, *USDA – ARS Hydrology and Remote Sensing Laboratory Occasional Paper HRSR-2007-01*, USDA – Agricultural Research Service, Beltsville, MD, USA, 2007, p. 11–15.
- Ryzhov Ju.V. *Formirovanie ovragov na jube Vostochnoj Sibiri* [Formation of gullies in the south of East Siberia], Novosibirsk, GEO Publ., 2015, 180 p. (In Russian)
- Sharifullin A.G., Gusarov A.V., Golosov V.N. Sovremennyy trend jerozionno-akkumulativnykh processov v malom raspahannom vodosbore, Respublika Tatarstan [Modern trend in erosion and accumulation processes within a small agricultural catchment, Republic Tatarstan], *Geomorfologiya i paleogeografiya*, 2018, no. 3, p. 93–108, DOI: 10.7868/S0435428118030082.
- Sidorchuk A.Y. The fluvial system on the East European plain: sediment source and sink, *Geography, Environment, Sustainability*, 2018, vol. 11(3), p. 5–20, DOI: 10.24057/2071-9388-2018-11-3-05-20.
- Zuazo V.H.D., Pleguezuelo C.R.R. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: a review, *Sustainable agriculture*, 2009, p. 785–811, DOI: 10.1007/978-90-481-2666-8_48.

Received 04.04.2025

Revised 11.05.2025

Accepted 20.05.2025

ДИНАМИКА ВИДОВОГО СОСТАВА ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ НА ЮГЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В XX в.

Н.Б. Леонова¹, А.А. Чмыхов²

^{1,2} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
географический факультет, кафедра биогеографии

¹ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: nbleonova2@gmail.com

² Аспирант; e-mail: chmyhov1998@gmail.com

Проведен анализ изменения состава и распространения чужеродных видов сосудистых растений в растительном покрове междуречья Устья и Кокшеньги (средняя тайга Архангельской обл.) в XX – начале XXI в. на основе сравнения данных собственных исследований (1992–2024) и данных флоры А.И. Перфильева (1934–1936). Выявлено, что в настоящее время список чужеродных растений насчитывает 56 видов, принадлежащих к 22 семействам и пяти жизненным формам. Преобладают представители семейств сложноцветные, бобовые, розовые; среди жизненных форм наиболее широко представлены однолетние и многолетние травы. По природным ареалам более половины чужеродных видов являются выходцами из южных и западных районов Европы, Средиземноморья, Малой Азии и Кавказа. Основными путями заноса чужеродных видов для изученной среднетаежной территории является прежде всего преднамеренная интродукция и последующее распространение растений из культуры, а также непреднамеренное распространение по железнодорожным магистралям, автодорогам и в результате перевозки сельскохозяйственных грузов. За почти столетний период произошло значительное увеличение таксономического разнообразия чужеродных видов; общее число видов увеличилось почти в полтора раза, число семейств – на 36%. В 3 раза возросло число пришельцев из Северной Америки, а также появились растения из Восточной и Южной Азии. По способам проникновения и распространения большее значение стали приобретать транспортные пути, особенно железнодорожные. Более 30% чужеродных видов растений в настоящее время распространились в природных сообществах – во вторичных лесах, на суходольных лугах и зарастающих залежах, что в 2 раза больше, чем в начале XX в. Остальные зарегистрированные виды произрастают в нарушенных сообществах, по обочинам дорог, окраинам полей, на старой селитбе. В настоящее время в растительном покрове территории выявлено 16 видов чужеродных растений, которые входят в списки инвазивных видов согласно Черным книгам Средней России и соседних регионов, таким образом, они представляют реальную угрозу биоразнообразию естественных сообществ.

Ключевые слова: флористические списки, средняя тайга Архангельской области, природные ареалы, интродукция, инвазия, пути распространения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.7

ВВЕДЕНИЕ

Большое число исследований в отечественной и зарубежной литературе посвящено проблеме чужеродных видов растений, поскольку угроза внедрения чужеродных видов в природные экосистемы с каждым годом нарастает и становится повсеместной [Richardson et al., 2006; Lami et al., 2022; Kovács-Hostyánszki et al., 2022; Список инвазивных..., 2024]. Под чужеродными видами в отечественной литературе принято понимать «совокупность видов растений, несвойственных местной флоре, занос которых на данную территорию не связан с естественным ходом флорогенеза, а является результатом прямой или косвенной деятельности человека» [Баранова и др., 2018, с. 6]. Широко распространенный в настоящее время термин *ин-*

вазионные растения, подразумевает «чужеродные растения, вторгшиеся на какую-либо территорию и натурализовавшиеся в естественных, полустественных и антропогенных местообитаниях и оказывающие негативное воздействие на аборигенные виды и сообщества» [Баранова и др., 2018, с. 11]. В совокупности с глобальными геоэкологическими проблемами инвазия чужеродных растений способствует резкому сокращению биоразнообразия, наносит серьезный урон сельскому хозяйству [Виноградова и др., 2011; Pathak et al., 2021; Perez et al., 2022]; представляет опасность для здоровья человека и домашних животных, как, например, борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskii* Manden).

В этой связи актуальными являются исследования динамики ареалов чужеродных видов расте-

ний, основанные на конкретных флористических данных, однако далеко не всегда исследователи располагают сравнимыми флористическими списками для одной территории за разные периоды времени. Благодаря составленной известным российским ботаником И.А. Перфильевым в первой трети XX в. трехтомной сводке «Флора Северного края» (1934–1936), в которой указаны места распространения видов сосудистых растений по Архангельской и Вологодской областям, можно проанализировать изменения во флористическом составе, сравнив их с данными современных исследований авторов статьи. При этом необходимо отметить, что, несмотря на довольно хорошую изученность растительного покрова юга Архангельской области [Флора..., 2003; Шмидт, 2005; Мяло и др., 2012], работ по изучению распространения здесь чужеродных видов растений практически нет.

Целью исследования является выявление изменения состава чужеродных видов растений в экосистемах Устьянского района Архангельской области за почти 100-летний период. В задачи исследования входило сравнение таксономического разнообразия за два периода, выявление основных регионов-доноров чужеродных растений в разные периоды времени, основных путей проникновения этих видов и темпы их распространения в природных растительных сообществах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория исследования располагается в междуречье притоков р. Ваги – рек Устья и Кокшеньги – в пределах Устьянского плато, сложенного мергелями, доломитами, известняками пермского возраста, перекрытыми относительно маломощными четвертичными отложениями пестрого литологического состава: ледниковыми валунными суглинками, озерно-ледниковыми суглинками и супесями, флювиогляциальными песками. С участками неглубокого залегания карбонатных пород связано распространение дерново-карбонатных почв, в то время как зональными здесь являются подзолистые почвы. Близость карбонатных пород, плодородные почвы и повышенная минерализация грунтовых вод сказываются на специфике флористического состава и проникновении многих неморальных видов растений в подзону средней тайги. Климат территории умеренно-континентальный с продолжительной холодной зимой и умеренно теплым летом. Достаточное количество осадков (520–600 мм в год) при невысокой теплообеспеченности (сумма активных температур 1400°) ведет к повышенному коэффициенту увлажнения и заболачиванию плоских участков водоразделов [Горбунова и др., 2014; Хорошев, 2015; Авессаломова, 2016].

В растительном покрове преобладают различные типы таежных лесов, образованных елью финской (*Picea fennica* (Regel) Kom) и сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), вторичные леса образованы преимущественно березой повислой (*Betula pendula* Roth) и пушистой (*B. pubescens* Ehrh.), ольхой серой (*Alnus incana* (L.) Moench), реже осинной (*Populus tremula* L.), распространены болота, большей частью облесенные, а также луговые сообщества в поймах рек. Разнообразие литолого-геоморфологических условий территории сказывается на разнообразии растительных сообществ, и, соответственно, является предпосылкой проникновения чужеродных видов растений в различные экотопы.

Долины крупных рек, протекающих по территории в субмеридиональном (р. Кокшеньга) и субширотном (р. Устья) направлениях благодаря разнообразию экологических условий, благоприятным климатическим и эдафическим условиям, являются проводниками элементов южных и сибирских элементов флоры [Леонова и др., 2021].

Внедрению несвойственных территории растений способствует и высокая степень антропогенной освоенности. Благодаря широкому распространению плодородных дерново-карбонатных почв южная часть Архангельской области является регионом давнего сельскохозяйственного освоения, где, начиная с XVI–XVII вв., большие площади земель распахивались под посевы зерновых. Длительная история сельскохозяйственного землепользования в крае отразилась на формировании облика агроландшафта данной территории: обширные поля на пологоувалистых водоразделах, разделяемые хорошо развитой сетью небольших рек и ручьев с участками лесных массивов и лугов по долинам, ложбинам стока и неудобьям. Довольно большое число сел и деревень в недавнем прошлом располагалось на вершинах водоразделов и в долинах крупных рек. В 1990-е гг. Устьянский агроландшафт претерпел серьезные изменения – поля забрасывались, залежи стали зарастать лесом, многие деревни перестали существовать [Горяинова и др., 2012; Леонова и др., 2015].

В центральной и северной частях Устьянского района большое влияние на природные растительные сообщества оказывают рубки леса. Наиболее серьезной трансформации в результате рубок в течение многих десятилетий подвергаются лесные сообщества вблизи железной дороги Архангельск – Коноша – Котлас, что привело к масштабному изменению структуры зональных сообществ и преобладанию вторичных мелколиственных лесов [Горяинова, Леонова, 2008; Еремеева, Леонова, 2022].

Материалы исследования. Для изучения видов сосудистых растений, собранных и описанных в начале XX в., использована монография И.А. Пер-

фильева «Флора Северного края» в трех томах, вышедшая в 1934–1936 гг. Для анализа современной флоры – данные сводки «Флора и фауна средней тайги Архангельской области (междуречье Устья и Кокшеньги)» [2003], изданная сотрудниками кафедры биогеографии МГУ с опубликованными дополнениями последних лет [Леорова и др., 2021]. Также использованы полевые материалы авторов последних лет во время обследования вторичных лесов, суходольных лугов, залежей, старых заброшенных деревень, обочин грунтовых и лесных дорог, собранные в 2020–2024 гг., и материалы магистерской диссертации А.А. Чмыхова [2022].

Для проверки и подтверждения анализируемых данных использована сводка В.М. Шмидта «Флора Архангельской области» [2005]. Для корректного сравнения при составлении флористического списка на начало XX в. из монографии И.А. Перфильева выбирались только те виды растений, которые были отмечены автором для территории Вельского уезда Вологодской губернии. По административному делению первой четверти XX в. этот уезд соответствовал исследуемой территории современного Устьянского района Архангельской области. Номенклатура видов сосудистых растений, указанных И.А. Перфильевым, приведена в соответствие с современной [Плантариум, 2024; Plants..., 2025].

Основные методы исследования базируются на методах сравнительной флористики [Юрцев, 1991]. Для сравнения флористических списков использованы общепринятые характеристики: таксономический состав, принадлежность к группам жизненных форм, эколого-ценотических групп и типам природных ареалов, для чего были использованы данные научных публикаций и баз данных [Плантариум, 2024; Plants..., 2025]. Согласно цели исследования сравниваются два периода: первой трети XX в. (1935) и современный (2024), однако в таблицах и на рис. 1, 4 привлечены данные и за 1990 г., как промежуточные для создания более полной картины появления чужеродных видов растений в экосистемах изучаемой территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На данный момент в экосистемах Устьянского района произрастает 56 видов чужеродных растений, занесенных из разных регионов Евразии и Северной Америки. По состоянию на 1935 г. произрастал 31 вид чужеродных растений. За последующие 55 лет добавилось еще 19 видов, а один вид – *Lupinus angustifolius* L., распространившийся из посевов кормовых культур, более не отмечался в списках. За следующие 30 лет (1990–2024) добавилось еще 7 видов чужеродных растений (см. рис. 1, табл. 1).

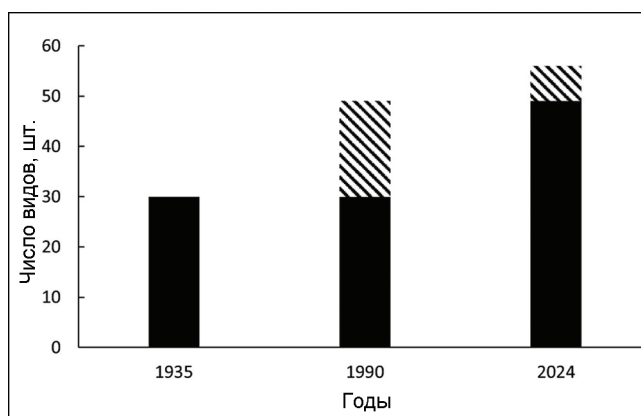


Рис. 1. Число чужеродных видов растений на изучаемой территории в разные периоды наблюдений. Штриховкой показано количество вновь зарегистрированных видов растений в этот период

Fig. 1. The number of alien plant species in the study area during different observation periods. The number of newly registered plant species for each period is shown by shading

К настоящему времени 16 видов чужеродных растений относятся к натурализовавшимся, активно внедряющимся в естественные сообщества растениям, признанным в настоящее время инвазивными на европейской территории России согласно опубликованному Черным книгам [Список инвазивных..., 2024]. К ним относятся североамериканские *Erigeron canadensis*, *Lupinus polyphyllus*, *Lepidium densiflorum*, *Epilobium adenocaulon*, *E. pseudorubescens*; южноевропейские и кавказские (*Heracleum sosnovskii*) и др. (см. табл. 1).

Анализ таксономического состава чужеродных видов растений показал наибольшее распространение представителей трех семейств: Сложноцветные, Бобовые и Розовые, на их долю суммарно приходилось 52% в 1935 г. и 45% в 2020-е гг. С течением времени отмечен значительный рост таксономического разнообразия: от 14 в 1935 г. до 22 семейств в 2020-е гг. (табл. 2).

В спектре жизненных форм (рис. 2) представлены листопадные деревья, кустарники, многолетние травы, двулетние и однолетние травы и один водный травянистый многолетник. Примечательно, что в 1935 г. на первом месте по количеству видов стоят однолетники и двулетники, а в начале XXI в. – многолетние травы. Очевидно, это говорит о преобладании в первые годы заселения экосистем территории чужеродными растениями из состава сельскохозяйственных культур и их сорняков.

По природным ареалам среди заносных видов юга Архангельской области можно выделить несколько групп: 1) средиземноморские; 2) центрально- и южноевропейские; 3) южносибирские и центральноазиатские; 4) восточноазиатские; 5) североамериканские (рис. 3). В настоящее время наибольший вклад

в состав заносных видов дают европейские (28%) и североамериканские (28%) виды при значительном участии средиземноморских видов (23%) (см. рис. 3А). В 1935 г. (см. рис. 3Б) максимальный вклад приходился на долю европейских и средиземноморских видов – 65% в сумме, а североамериканские растения участвовали в меньшей степени – всего 16%

(это широко известные *Elodea canadensis*, *Matricaria discoidea*, *Helianthus tuberosus* и др.). Таким образом, с середины XX в. приток заносных видов увеличивается главным образом за счет североамериканских, а также появляются восточноазиатские (*Rosa rugosa*, *Calystegia pubescens*) и южноазиатские растения (*Impatiens glandulifera*).

Таблица 1

**Чужеродные виды сосудистых растений в растительном покрове Устьянского района
Архангельской области в разные периоды наблюдений**

Латинское название	Природный ареал*	Годы регистрации на территории			Пути заноса
		1935	1990	2020	
<i>Acer negundo</i> L.	Северная Америка		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Aconitum napellus</i> L.	Западная Европа	+	+	+	Интродукция
<i>Amelanchier spicata</i> Decne.	Северная Америка		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Anethum graveolens</i> Ucria	Средиземноморье, Малая Азия	+	+	+	Интродукция
<i>Anthyllis macrocephala</i> Wender.	Южная Европа	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Arctium tomentosum</i> Mill.	Южная и Западная Европа, Малая и Средняя Азия	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Artemisia dracunculus</i> L.	Ирано-Туранская область	+	+	+	Интродукция
<i>Artemisia sieversiana</i> Ehrh. ex Willd.	Сибирь, юг Дальнего Востока	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	Центральная и Южная Европа	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Calystegia inflata</i> G. Don	Северная Америка		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Calystegia pubescens</i> Lindl.	Восточная Азия		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	Центральная Азия, юг Сибири	+	+	+	Интродукция
<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	Кавказ		+	+	Интродукция
<i>Cichorium intybus</i> L.	Средиземноморье	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Echium vulgare</i> L.	Центральная и Южная Европа, Малая и Средняя Азия	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	Северная Америка	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Epilobium ciliatum</i> subsp. <i>ciliatum</i> (E. <i>adenocaulon</i> Haussk.)	Северная Америка		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Epilobium pseudorubescens</i> A.K. Skvortsov	Северная Америка		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Erigeron canadensis</i> L.	Северная Америка	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Euphorbia cyparissias</i> L.	Южная и Центральная Европа		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Fragaria moschata</i> Duchesne ex Weston	Центральная Европа, Предкавказье	+	+	+	Интродукция
<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall	Северная Америка			+	Интродукция
<i>Galega orientalis</i> Lam.	Средиземноморье		+	+	Интродукция
<i>Geranium sibiricum</i> L.	Южная Европа, Малая Азия, Сибирь и ДВ		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Helianthus tuberosus</i> L.	Северная Америка	+	+	+	Интродукция

Латинское название	Природный ареал*	Годы регистрации на территории			Пути заноса
		1935	1990	2020	
<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.	Восточная Азия			+	Интродукция
<i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden.	Кавказ		+	+	Интродукция
<i>Impatiens glandulifera</i> Roule	Западные Гималаи		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Lepidium densiflorum</i> Schrad.	Северная Америка		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Lotus corniculatus</i> L.	Средиземноморье	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Lupinus angustifolius</i> L.	Средиземноморье	+			Интродукция
<i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl.	Северная Америка		+	+	Интродукция
<i>Malus domestica</i> (Suckow) Borkh.	Средняя Азия, Афганистан			+	Интродукция
<i>Matricaria discoidea</i> DC.	Северная Америка	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Medicago</i> × <i>varia</i> Martyn	Кавказ, Средняя Азия, Иран			+	Интродукция
<i>Melilotus albus</i> Medic.	Центральная и Южная Европа, Средиземноморье, Южная Азия	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Lam.	Центральная и Южная Европа, Малая Азия, юг Сибири	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Papaver somniferum</i> L.	Средиземноморье	+	+	+	Интродукция
<i>Pastinaca sativa</i> L.	Центральная и Южная Европа, юг Западной Сибири	+	+	+	Интродукция
<i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth.	Северная Америка			+	Интродукция
<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim.	Северная Америка		+	+	Интродукция
<i>Populus alba</i> L.	Центральная и Южная Европа, Средиземноморье,	+	+	+	Интродукция
<i>Populus tristis</i> Fisch.	Северная Америка	+	+	+	Интродукция
<i>Potentilla multifida</i> L.	Горы Урала, Сибири Дальнего Востока.		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Quercus robur</i> L.	Центральная и Южная Европа	+	+	+	Интродукция
<i>Raphanus raphanistrum</i> subsp. <i>Sativus</i> (L.) Domin	Центральная и Южная Европа, Средиземноморье, Передняя и Средняя Азия	+	+	+	Интродукция
<i>Rosa rugosa</i> Thunb.	Восточная Азия		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Sambucus racemosa</i> L.	Центральная и Южная Европа, Кавказ	+	+	+	Интродукция
<i>Saponaria officinalis</i> L.	Центральная и Южная Европа		+	+	Интродукция
<i>Silene dichotoma</i> Ehrh.	Восток Средиземноморья, Восточная Европа, юг Западной Сибири	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Sisymbrium wolgensse</i> M. Bieb. ex E. Fourn.	Нижняя Волга и Нижний Дон		+	+	Непреднамеренный занос

Окончание таблицы 1

Латинское название	Природный ареал*	Годы регистрации на территории			Пути заноса
		1935	1990	2020	
<i>Solidago canadensis</i> L.	Северная Америка		+	+	Непреднамеренный занос
<i>Symphytum asperum</i> Lepech.	Малая Азия, Кавказ, Иран	+	+	+	Интродукция
<i>Syringa josikaea</i> J. Jacq. ex Rchb.	Карпаты	+	+	+	Интродукция
<i>Syringa vulgaris</i> L.	Балканы	+	+	+	Интродукция
<i>Tragopogon pratensis</i> L.	Центральная Европа, Средиземноморье, Малая Азия, Казахстан	+	+	+	Непреднамеренный занос
<i>Vicia sativa</i> L.	Средиземноморье	+	+	+	Интродукция

Примечание. *Природный ареал растений дан в соответствии с базой данных POWO [Plants..., 2025]. Жирным шрифтом выделены виды, указанные в Черной книге Средней России как инвазивные [Список инвазивных..., 2024].

Таблица 2

Динамика числа видов чужеродных растений по семействам

Семейство	1935 г.	1990 г.	2024 г.
Сложноцветные	8	9	9
Бобовые	7	9	9
Розовые	1	6	7
Крестоцветные	2	4	4
Зонтичные	2	3	3
Ивовые	2	2	2
Бурачниковые	2	2	2
Прочие семейства	7	15	20
Число семейств	14	20	22

Основные пути заноса чужеродных видов связаны, прежде всего, с преднамеренной интродукцией растений в культуру (см. табл. 2). Непреднамеренное распространение растений за пределы их природного ареала обусловлено транспортными путями (железнодорожными, автомобильными, водными), перевозкой грузов, в том числе с семенами сельскохозяйственных культур, засоренных семенами иных видов растений, с передвижением людей [Список инвазивных..., 2024; Морозова, Тишков, 2021]. На основе анализа аннотированных флористических списков изученной территории за разные периоды времени были выделены прежде всего чужеродные виды, связанные с интродукцией в качестве садовых (*Sambucus racemosa*, *Syringa vulgaris*), огородных (*Pastinaca sativa*), сельскохозяйственных (*Heracleum sosnowskii*) культур. Впоследствии эти виды стали произрастать шире, без участия человека, по обо-

чинам дорог, на старой селитбе, в заброшенных поселениях, зачастую выходя и в природные сообщества разных сукцессионных стадий (*Lupinus polyphyllus*). Выяснилось, что растения, намеренно вывезенные для возделывания за пределы естественного ареала, составляют половину всего списка чужеродных видов. В начале XX в. на их долю приходилось 52%, в 1990 г. – 45%; в 2020-е гг. – 50%. Со временем резко увеличилось число видов, занесенных и распространенных вдоль железной дороги (федеральная ветка Северной железной дороги на Котлас). Если в 1935 г. число таких видов составляло лишь 6%, то в 1990–2020 гг. – более 20%. Много сорных растений более южных ареалов распространяется с посевами сельскохозяйственных культур и обитает вдоль обочин полевых дорог, проникая в сообщества залежей и суходольных лугов (*Artemisia sieversiana*, *Berteroa incana* и т. д., рис. 4).

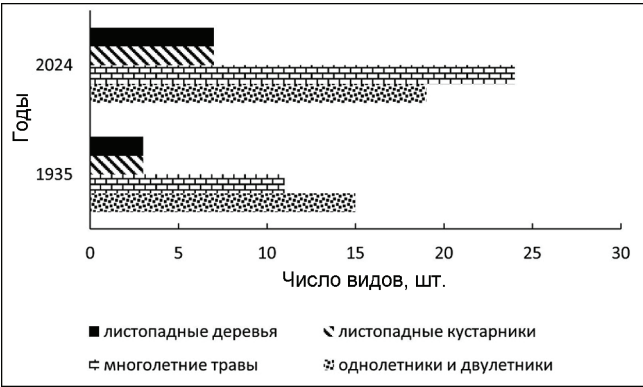


Рис. 2. Соотношение жизненных форм чужеродных видов растений в два срока наблюдений

Fig. 2. The ratio of living forms of alien plant species during two observation periods

Одной из задач исследования было выявление натурализовавшихся видов чужеродных растений, внедрившихся в естественные сообщества и расширяющих свой ареал. В целом в ходе геоботанических работ на исследуемой территории в 2020–2024 гг. было учтено 18 видов растений (32% от списка чужеродных видов), участвующих с разной степенью активности в природных сообществах – на суходольных и пойменных луга, во вторичных лесах. В 1935 г. их было вдвое меньше – 9 видов. В настоящее время из культурных посадок в естественные сообщества перешло 7 видов (12% общего состава); из рудеральных местообитаний, обочин дорог и полей – 11 видов (20%). Остальные чужеродные виды пока встречаются лишь в нарушенных местообитаниях: по обочинам автомобильных и грунтовых дорог, вдоль железной дороги, по окраинам полей, на старой селитбе.

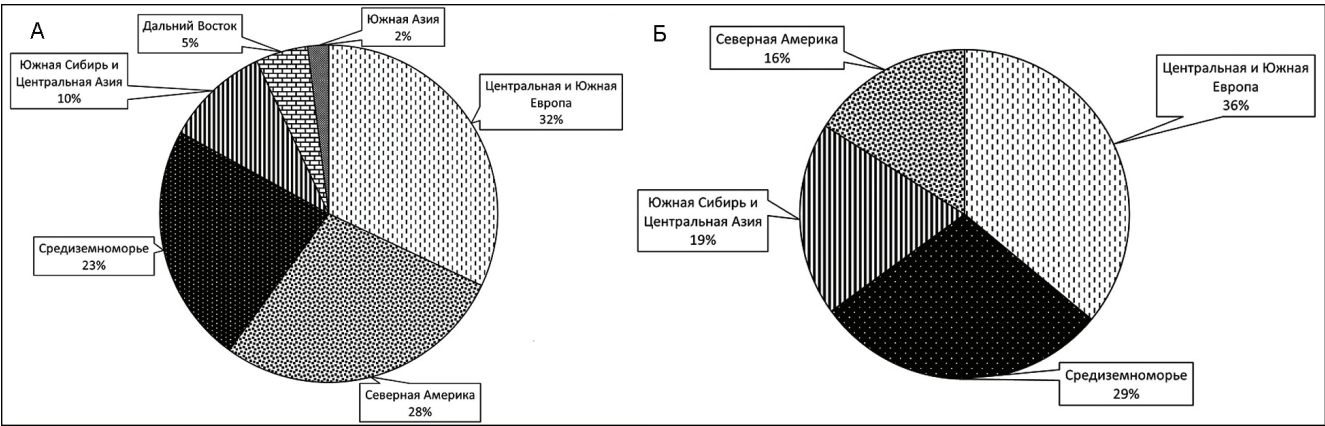


Рис. 3. Соотношение групп чужеродных видов растений по природным ареалам в 2024 г. (А) и в 1935 г. (Б)

Fig. 3. The ratio of groups of alien plant species by natural ranges in 2024 (А) and in 1935 (Б)

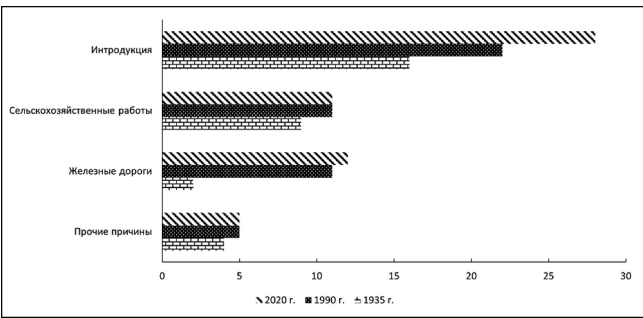


Рис. 4. Число чужеродных видов растений, распространившихся различными путями в разные периоды

Fig. 4. The number of alien plant species that spread in different ways during different periods

ВЫВОДЫ

В ходе проведенного исследования выявлена динамика состава чужеродных сосудистых растений в растительном покрове среднетаежной территории Устьянского района Архангельской области в XX – начале XXI в. С 1935 по 2024 г. список этих видов увеличился на 24 вида и в настоящее время насчитывает 56 видов, принадлежащих к 22 семействам и пяти жизненным формам. За исследуемый период только один вид из состава чужеродных растений более не отмечался, что говорит о высокой устойчивости этих растений в экосистемах территории.

Общими чертами для состава чужеродных видов за весь период наблюдений является преобладание представителей сложноцветных и бобовых, среди жизненных форм – господство однолетних и многолетних трав. По природным ареалам более

половины чужеродных видов являются выходцами из южных и западных районов Европы, Средиземноморья, Малой Азии и Кавказа. Основными путями заноса этих растений для среднетаежной территории является преднамеренная интродукция и последующее распространение растений из культуры, а также перенос диаспор с транспортом, распространение вдоль дорог и в ходе сельскохозяйственных работ.

Изменения в составе чужеродных видов сосудистых растений за почти столетний период показали значительное увеличение таксономического разнообразия, в состав преобладающих семейств вошли представители Rosaceae. Среди жизненных форм

стали преобладать многолетние травы вместо однодвулетних. В 3 раза возросло число пришельцев из Северной Америки, а в круг районов-доноров вошли также Дальний Восток и Южная Азия.

По способам проникновения увеличилась доля видов, проникающих с железнодорожным и другим транспортом. Более 30% чужеродных видов в настоящее время распространились в природных сообществах, что в 2 раза больше, чем в начале XX в.

На территории распространились 16 инвазивных видов растений из списка Черных книг европейских регионов, которые представляют угрозу биоразнообразию естественных сообществ.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность Е.А. Еремеевой, принявшей участие в составлении списков видов сосудистых растений по флоре И.А. Перфильева. Исследование выполнено в рамках темы НИР 121051100137-4: «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды (ГЗ)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авессаломова И.А. Биогеохимическая неоднородность агроландшафтов (на примере среднетаежной подзоны юга Архангельской области) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 3. С. 58–66.
- Баранова О.Г., Щербаков А.В., Сенатор С.А. и др. Основные термины и понятия, используемые при изучении чужеродной и синантропной флоры // Phytodiversity of Eastern Europe. 2018. XII (4). С. 4–22. DOI: 10.24411/2072-8816-2018-10031.
- Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Нотов А.А. Черная книга флоры Тверской области: чужеродные виды растений в экосистемах Тверского региона. М.: Тов-во научн. изд. КМК, 2011. 279 с.
- Горбунова И.А., Емельянова Л.Г., Леонова Н.Б. Учебная почвенно-биогеографическая практика в средней тайге. М.: АПР, 2014. 156 с.
- Горяинова И.Н., Леонова Н.Б. Динамика вторичных лесов средней тайги Архангельской области // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2008. № 5. С. 60–66.
- Горяинова И.Н., Леонова Н.Б., Феодоритов В.М. Процессы зарастания сельскохозяйственных земель в средней тайге Архангельской области // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2012. № 3. С. 41–47.
- Еремеева Е.А., Леонова Н.Б. Динамика видового состава сосудистых растений, находящихся вблизи северных границ ареалов на юге Архангельской области // Проблемы региональной экологии. 2022. № 1. С. 60–66.
- Леонова Н.Б., Кадетов Н.Г., Горяинова И.Н. Виды сосудистых растений близ северо-западных пределов распространения в центральном секторе европейской тайги // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2021. Т. 20. № 2. С. 70–77.
- Леонова Н.Б., Горяинова И.Н., Мухин Г.Д. Фиторазнообразие островных лесов в агроландшафте юга Архангельской области // Вестн. САФУ. Сер. Естественные науки. 2015. № 3. С. 40–51.
- Морозова О.В., Тишков А.А. Чужеродные виды растений Российской Арктики: пространственное разнообразие, коридоры и локальные инвазии // Рос. журн. биологических инвазий. 2021. № 3. С. 50–62.
- Мяло Е.Г., Горяинова И.Н., Леонова Н.Б. Ценолитическое разнообразие среднетаежных лесов европейской части России // Вопросы географии. Моск. отд. РГО. Актуальная биогеография. М.: Кодекс, 2012. Т. 134. С. 133–148.
- Перфильев И.А. Флора Северного края. Ч. 2, 3: Двудольные. Архангельск: Севкрайгиз, 1936. 407 с.
- Флора и фауна средней тайги Архангельской области (междуречье Устья и Кокшеньги). М.: Геогр. факультет МГУ, 2003. 70 с.
- Хорошнев А.В. Ландшафтно-геохимические основания планирования экологического каркаса агроландшафта (на примере среднетаежного ландшафта в Архангельской области) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 6. С. 19–27.
- Чмыхов А.А. Чужеродные виды в растительном покрове средней тайги Архангельской области: магистерская диссертация. МГУ. Географический факультет, 2022. 94 с. (рукопись)
- Шмидт В.М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во СПб ун-та, 2005. 346 с.
- Юрцев Б.А. Изучение биологического разнообразия и сравнительная флористика // Бот. журнал 1991. Т. 76. № 3. С. 305–313.
- Kovács-Hostyánszka A., Szigetia V., Miholcsab Z. et al. Threats and benefits of invasive alien plant species on pollinators, *Basic and Applied Ecology*, 2022, vol. 64, p. 89–102.
- Lami F., Vittiac S., Marinid L. et al. Habitat type and community age as barriers to alien plant invasions in coastal species-habitat networks, *Ecological indicators*, 2022, vol. 133, p. 11–22.
- Pathak H.N., Bhujub D.R., Shrestha B.B. et al. Impacts of invasive alien plants on ecosystem services of Ramsar lake cluster in middle mountain Nepal, *Global eco-*

- logy and conservation, 2021, vol. 27, p. 56–68. DOI: 10.1016/j.gecco.2021.e01597.
- Perez G., Vila M., Gallardo B. Potential impact of four invasive alien plants on the provision of ecosystem services in Europe under present and future climatic scenarios, *Ecosystem services*, 2022, vol. 56, p. 34–47.
- Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions, *Diversity and Distributions*, 2000, vol. 6, p. 93–107, DOI: 10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x.
- Электронные ресурсы
- Список инвазивных растений. Черная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. URL: <https://www.bookblack.ru> (дата обращения 01.12.2024).
- Plants of the World. URL: <https://powo.science.kew.org/> (дата обращения 20.01.2025).
- Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн-атлас и определитель растений. URL: <https://www.plantarium.ru> (дата обращения 10.12.2024).

Поступила в редакцию 19.02.2025

После доработки 15.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025

THE 20TH CENTURY DYNAMICS OF THE SPECIES COMPOSITION OF ALIEN PLANTS IN THE SOUTHERN ARKHANGELSK REGION

N.B. Leonova¹, A.A. Chmykhov²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography*

¹ *Assistant Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: nbleonova2@gmail.com*

² *Postgraduate student; e-mail: chmykhov1998@gmail.com*

The article concerns changes in the composition and distribution of alien vascular plant species in the vegetation cover of the Ustya and Kokshenga rivers interfluvium (middle taiga of the Arkhangelsk region) in the 20th – early 21st centuries. The article compares the data of own studies (1992–2024) and the flora data by A.I. Perfil'ev (1925). It was found that the current list of alien plants includes 56 species belonging to 22 families and five life forms. Representatives of the Asteraceae, Fabaceae, and Rosaceae families predominate; among the life forms, annual and perennial grasses are most widely represented. According to their natural ranges, more than a half of alien species come from the southern and western regions of Europe, the Mediterranean, Asia Minor, and the Caucasus. The main ways of alien species penetration into the middle taiga area are, first of all, intentional introduction and subsequent spread of plants from plantations, as well as unintentional distribution along railways, highways and as a result of the transportation of agricultural products. Changes in the composition of alien species over almost a century have showed a significant increase in taxonomic diversity. The total number of species has become almost one and a half times larger, and the number of families increased by 36%. The number of aliens from North America increased threefold, and plants from East and South Asia have appeared. In terms of penetration and spread, transport routes, especially railways, have acquired greater importance. More than 30% of alien species grow now in natural communities (secondary forests, meadows and overgrown fallow lands), which is twice as much as at the beginning of the 20th century. Other species grow in disturbed communities, along roadsides and field edges, as well as in old settlements. At present 16 species of alien plants identified within the studied area are on the lists of invasive species according to the Black Books of the Central Russia and neighboring regions. Therefore they are of a real threat to the biodiversity of natural communities.

Keywords: floristic lists, middle taiga of the Arkhangelsk region, alien plant species, natural ranges, introduction, invasion, dissemination routes

Acknowledgements. The authors express their sincere gratitude to E.A. Ereemeeva, who took part in compiling the lists of vascular plant species based on I.A. Perfil'ev's flora.

The study was carried out under the research theme no 121051100137-4 “Spatial and temporal organization of ecosystems under the environmental changes”.

REFERENCES

- Avessalomova I.A., Biogeoхимическая неоднородность агроландшафтов (на примере среднетаежной подзоны юга Архангельской области) [Biogeochemical heterogeneity of agrolandscapes (middle-taiga subzone of the southern Arkhangelsk region as an example)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 3, p. 58–66. (In Russian)

- Baranova O.G., Shherbakov A.V., Senator S.A. et al. Osnovnye terminy i ponjatija, ispol'zuemye pri izuchenii chuzherodnoj i sinantropnoj flory [Basic terms and concepts used in the study of alien and synanthropic flora], *Phytodiversity of Eastern Europe*, 2018, XII(4), p. 4–22, DOI: 10.24411/2072-8816-2018-10031. (In Russian)
- Chmykhov A.A. *Chuzherodnye vidy v rastitel'nom pokrove srednej tajgi Arhangel'skoj oblasti* [Alien species in the vegetation cover of the middle taiga of the Arkhangelsk region], Master's thesis, Moscow State University: Geography Department, 2022, 94 p. (manuscript). (In Russian)
- Eremeeva E.A., Leonova N.B. Dinamika vidovogo sostava sosudistyh rastenij, nahodjashhihsja vblizi severnyh granic arealov na juge Arhangel'skoj oblasti [Dynamics of the species composition of vascular plants located near the northern borders of the ranges in the southern Arkhangelsk region], *Problemy regional'noj ekologii*, 2022, no. 1, p. 60–66. (In Russian)
- Flora i fauna srednej tajgi Arhangel'skoj oblasti (mezhdurech'e Ust'i i Kokshen'gi)* [Flora and fauna of the middle taiga of the Arkhangelsk region (interfluve of the Ust'ya and Kokshenga rivers)], Moscow, Geography department of the Moscow State University Publ., 2003, 70 p. (In Russian).
- Gorbunova I.A., Emel'janova L.G., Leonova N.B. *Uchebnaja pochvenno-biogeograficheskaja praktika v srednej tajge* [Educational soil-biogeographic practice in the middle taiga], Moscow, APR Publ., 2014, 156 p. (In Russian)
- Gorjainova I.N., Leonova N.B. Dinamika vtorichnyh lesov srednej tajgi Arhangel'skoj oblasti [Dynamics of secondary forests of the middle taiga of the Arkhangelsk region], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2008, no. 5, p. 60–66. (In Russian)
- Jurcev B.A. Izuchenie biologicheskogo raznoobrazija i sravnitel'naja floristika [Study of biological diversity and comparative floristry], *Bot. zhurn.*, 1991, vol. 76, no. 3, p. 305–313. (In Russian)
- Khoroshev A.V. Landshaftno-geohimicheskie osnovanija planirovanija jekologicheskogo karkasa agrolandshafta (na primere srednetaezhnogo landshafta v Arhangel'skoj oblasti) [Landscape-geochemical basis of designing the ecological framework of agrolandscapes (case study of a middle taiga landscape in the Arkhangelsk oblast)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2015, no. 6, p. 19–27. (In Russian)
- Kovács-Hostyánszki A., Szigetia V., Miholcsab Z. et al. Threats and benefits of invasive alien plant species on pollinators, *Basic and Applied Ecology*, 2022, vol. 64, p. 89–102.
- Lamiab F., Vittiac S., Marinid L. et al. Habitat type and community age as barriers to alien plant invasions in coastal species-habitat networks, *Ecological indicators*, 2022, vol. 133, p. 11–22.
- Leonova N.B., Kadetov N.G., Gorjainova I.N. Vidy sosudistyh rastenij bliz severo-zapadnyh predelov rasprostraneniya v central'nom sektore evropejskoj tajgi [Species of vascular plants near the northwestern distribution limits in the central sector of the European taiga], *Problemy botaniki Juzhnoj Sibiri i Mongolii*, 2021, vol. 20, no. 2, p. 70–77. (In Russian)
- Leonova N.B., Gorjainova I.N., Mukhin G.D. Fitoraznoobrazie ostrovyh lesov v agrolandshafte juga Arhangel'skoj oblasti [Phytodiversity of island forests in the agrolandscape of the southern Arkhangelsk region], *Vestnik SAFU, Serija Estestvennye nauki*, 2015, no. 3, p. 40–51. (In Russian)
- Mjalo E.G., Gorjainova I.N., Leonova N.B. Cenoticheskoe raznoobrazie srednetaezhnyh lesov evropejskoj chasti Rossii [Cenotic diversity of middle taiga forests in the European part of Russia], *Voprosy geografii, Mosk. otd. RGO, Aktual'naja biogeografija* [Actual biogeography], Moscow, Kodeks Publ., 2012, vol. 134, p. 133–148. (In Russian)
- Morozova O.V., Tishkov A.A. Chuzherodnye vidy rastenij Rossijskoj Arktiki: prostranstvennoe raznoobrazie, koridory i lokal'nye invazii [Alien plant species in the Russian Arctic: spatial diversity, corridors and local invasions], *Ros. zhurn. biol. invazij*, 2021, no. 3, p. 50–62. (In Russian)
- Pathaka H.N., Bhujub D.R., Shresthaa B.B. et al. Impacts of invasive alien plants on ecosystem services of Ramsar lake cluster in middle mountain Nepal, *Global ecology and conservation*, 2021, vol. 27, p. 56–68.
- Perez G., Vila M., Gallardo B. Potential impact of four invasive alien plants on the provision of ecosystem services in Europe under present and future climatic scenarios, *Ecosystem services*, 2022, vol. 56, p. 34–47.
- Perfil'ev I.A. *Flora Severnogo kraja, ch. 2, 3, Dvudol'nye* [Flora of the Northern Area, Pt 2, 3, Dicotyledons], Arhangel'sk, Sevkrajgiz Publ., 1936, 407 p. (In Russian)
- Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions, *Diversity and Distributions*, 2000, vol. 6, p. 93–107, DOI: 10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x.
- Shmidt V.M. *Flora Arhangel'skoj oblasti* [Flora of the Arkhangelsk region], St Petersburg, House of St Petersburg Un-ty Publ., 2005, 346 p. (In Russian)
- Vinogradova Ju.K., Majorov S.R., Notov A.A. *Chjornaja kniga flory Tverskoj oblasti: chuzherodnye vidy rastenij v jekosistemah Tverskogo regiona* [Black book of flora of the Tver region: alien plant species in the ecosystems of the Tver region], Moscow, House KMK Publ., 2011, 279 p. (In Russian)
- Web sources**
- Chjornaja kniga flory Srednej Rossii. Chuzherodnye vidy rastenij v ekosistemah Srednej Rossii* [Black Book of the Middle Russia flora: alien plant species in the ecosystems of the Middle Russia], URL: <https://www.bookblack.ru/> (access date 01.12.2024). (In Russian)
- Plantarium. Rasteniya i lishajniki Rossii i sopredel'nyh stran: otkrytyj onlajn atlas opredelitel' rastenij* [Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide], URL: <https://www.plantarium.ru/> (access date 12.10.2022).
- Plants of the World, URL: <https://powo.science.kew.org/> (access date 11.06.2022).

Received 19.02.2025

Revised 15.04.2025

Accepted 20.05.2025

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 550.4

КАСКАДНЫЕ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ (НА ПРИМЕРЕ о. МАТУА, ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КУРИЛЫ)

И.А. Авессаломова¹, А.Н. Иванов²

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

¹ *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: aiageo@yandex.ru*

² *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: a.n.ivanov@mail.ru*

Анализируются возможности использования концепции каскадных ландшафтно-геохимических систем (КЛГС) применительно к островам с активными вулканами. Объектом исследования является о. Матуа с вулканом Сарычева, который считается наиболее активным на Курилах. В структуре КЛГС острова выделено три высотных яруса, различающихся по морфолитогенной основе, характеру экзогенных процессов, растительности и условиям миграции элементов. Установлено, что основными латеральными потоками, связывающими все ярусы, выступает гравигенное перемещение тефры, подземный сток с разгрузкой в нижнем ярусе на контакте морских террас, а также вулканические сели. Характерно почти полное отсутствие поверхностного стока, связанное с высокой водопроницаемостью почвенно-пирокластического чехла, и, как следствие, отсутствие типичных катен, связанных с жидким стоком. Показано, что для вулканической КЛГС характерно импульсное функционирование и разные виды латеральных потоков во время извержения и между ними. В период активизации вулкана преобладают аэральные и гравигенные потоки (выпадение тефры и связанные с этим пирокластические потоки и волны, лавовые потоки, газовые эмиссии, лахары), определяющие включение твердого вещества в механическую миграцию. Они связывают геохимические ландшафты всех ярусов – верхнего, среднего и нижнего – и достигают прилегающей акватории. В периоды между извержениями увеличивается роль современных экзогенных процессов (лавинные, селевые, обвально-осыпные и др.) и подземных вод в зонах их разгрузки, а также закладываются новые латеральные связи внутри островной КЛГС. Характерным структурным элементом КЛГС всех вулканических островов является береговая зона, особенности структурно-функциональной организации которой определяются разнонаправленными потоками вещества с разным химическим составом от вулканического ядра и со стороны океана, что обуславливает гетерогенную и мозаичную ландшафтно-геохимическую структуру.

Ключевые слова: остров, вулкан, геохимическая структура, катены, латеральные потоки

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.8

ВВЕДЕНИЕ

Острова с активными вулканами имеют ограниченное распространение на территории России и с ландшафтно-геохимических позиций изучены недостаточно. Сложность организации и эволюции вулканических ландшафтов требует выбора и совместного использования нескольких методологических подходов, раскрывающих разные стороны их формирования, структуры и функционирования. Одним из них является концепция нуклеарных геосистем, своеобразие которых определяется наличием центрального ядра и окружающей его оболочки [Ретеюм, 1988]. Такой подход базируется

на выделении активного, обладающего эндогенным потенциалом вулканического очага (эруптивный центр) и географических полей, возникающих в сфере его влияния. Оно осуществляется благодаря потокам вещества, возникающим при извержениях (лавовые потоки, выбросы тефры, газовые эмиссии и др.). Изменения вещественного состава и литогеохимической специализации изверженных пород (дациты, андезиты, андезибазальты, базальты) проявляются в соответствии с этапами эволюции эруптивных центров, перестройкой и различной продуктивностью магмогенерирующих систем.

Наиболее сложная пространственная дифференциация ландшафтов наблюдается в двойных вулканах типа Сомма-Везувий (вулкан в вулкане). Для их истории в плейстоцене – голоцене характерно несколько этапов: эруптивная деятельность древнего вулкана → кальдерообразование → возникновение и функционирование молодого вулканического конуса, вложенного в первоначальную разрушенную структуру. Появление этого эруптивного центра сопровождается формированием новых вулканических образований, причем поле его воздействия может частично перекрывать более древние постройки. Соседство и наложение полей разных ядер способствует усложнению ландшафтной организации вулканических районов, ее полиструктурности и метакронности.

Центробежный характер движения вещества при извержениях вулканов (от ядра к периферии) предопределяет важную роль однонаправленных латеральных потоков, объединяющих в единую систему ландшафты, занимающие разные высотные ярусы и меняющиеся в соответствии с гипсометрическими градиентами. Такие цепочки сопряженных природных комплексов образуют каскадные системы, выделенные Р. Чорли и Б. Кеннеди и предполагающие ведущую роль входных и выходных потоков в их организации [Chorley, Kennedy, 1971]. В геохимической интерпретации к этому типу относятся каскадные ландшафтно-геохимические системы (КЛГС), в которых, по М.А. Глазовской [2007], происходит гравитационное перемещение водных и твердых масс от более высоких уровней к более низким. Для их структуры характерно формирование разобщенных зон мобилизации вещества, транзита и аккумуляции. Изучение латерально-миграционной сопряженности каскадных систем, как одного из стержневых направлений современной геохимии ландшафтов, раскрывает роль потоков вещества в их организации [Касимов, 2002]. В соответствии с этой концепцией различаются КЛГС разной сложности – от наиболее просто организованных геохимических сопряжений (катен) до речных бассейнов разных порядков и их объединений в ландшафтно-геохимические арены с единым водосборным бассейном.

В противоположность аренам существуют КЛГС рассеяния концентрической формы, когда при едином источнике поступления вещества водные и гравитационные потоки рассредоточиваются и не имеют общей зоны аккумуляции. Такая ситуация складывается, когда в результате деятельности индивидуальных, изолированных друг от друга КЛГС отмечается перенос вещества в разных направлениях от кратера и формирование своеобразных «ореолов рассеяния». Подобная дифференциация потоков увеличивает гетерогенность разновозрастных гео-

графических полей. В то же время при сравнении КЛГС разных типов принципиальное значение имеет определение мест конечной аккумуляции вещества, переносимого миграционными потоками. Степень замкнутости КЛГС зависит от возможности задержки и накопления масс в различных звеньях геохимических сопряжений, тогда как в открытых КЛГС поток мигрантов достигает морей и океанов. С этой точки зрения к числу открытых КЛГС региональной размерности могут быть отнесены вулканические острова, где потоки вещества достигают береговой полосы и формируют КЛГС «вулканический остров – океан». Ее особенность заключается в том, что на формирование ландшафтной структуры оказывают влияние не только потоки вещества от вулканического ядра, но и со стороны океана. Эта полоса является ландшафтным экотопом на контакте наземных вулканических и подводных ландшафтов.

В КЛГС вулканических островов латеральная миграция элементов осуществляется с однонаправленными гравитационными, водными (с поверхностными и подземными водами) и аэральными потоками. В соответствии с их характером появляются КЛГС разных видов. К одному из них относятся КЛГС, когда связи между зонами мобилизации, транзита и аккумуляции обеспечиваются площадными латеральными потоками («палящие тучи», газовые эмиссии вулкана и др.). Второй вид КЛГС связан с линейными абиотическими потоками (лавовые потоки, лахары, движение снежных масс по лавинным лоткам и др.). Такие векторные КЛГС являются важным механизмом, отвечающим за дальность передачи в пространстве импульса воздействия ядра. В вулканах типа Сомма-Везувий их функционирование обеспечивает связь между молодыми и древними вулканическими постройками. При характеристике строения, функционирования и активности векторных КЛГС необходим учет ведущего процесса, стимулирующего их возникновение; характера вещественного состава системообразующего потока и объем массопереноса; режима воздействия (постоянное сезонное и др.); степень открытости; эффектов катастрофического проявления.

При ландшафтных исследованиях вулканических районов обычно применяется классический структурно-генетический подход с составлением ландшафтных карт. Геохимические исследования вулканов чаще всего связаны с определением химического состава изверженных пород на разных стадиях развития. Известны также исследования, в которых оцениваются отдельные вещественно-энергетические потоки в вулканических системах, связанные преимущественно с миграцией химических элементов в гидротермальных системах и в потоках вулканических газов. В работах россий-

ских ученых в качестве объектов исследования выступают преимущественно активные вулканы Курильских островов и Камчатки [Калачева и др., 2021, 2022; Таран и др., 1995]. В частности, оценен химический состав, потоки растворенных веществ и тепловыделение в кальдере вулкана Головина на о. Кунашир, гидротермальный сток Cl и S из оз. Кипящего (7,8 и 11,6 т/сут. соответственно), а также общий диффузный вынос диоксида углерода с поверхности озера [Kalacheva et al., 2017]. Предложена систематика изотопного состава воды и содержания хлора в вулканических газах островных дуг на примере 26 изученных вулканов в зонах субдукции [Taran, Zelenski, 2014]. Для Курильских островов в целом установлен состав высокотемпературных газов в кратерах разных вулканов, химический состав основных водотоков, дренирующих термальные источники, и их роль в миграционных процессах элементов [Taran et al., 2018].

В зарубежной научной литературе подход на основе концепции КЛГС применительно к вулканам не получил распространения. Большинство работ, касающихся вещественно-энергетических потоков, связано с разработкой геохимических моделей гидротермальных систем и потоков вулканических газов [Aguilera et al., 2012; Fischer, 2008; Jagard, 2003; Straub, Layne, 2003]. В целом использование концепции КЛГС применительно к действующим вулканам и анализ процессов миграции химических элементов по звеньям ландшафтных катен в научной литературе почти не отражены. Цель настоящего исследования – установление структурно-функциональной организации КЛГС вулканического острова. Решаемые задачи: 1) сопоставление роли ведущих латеральных потоков в формировании КЛГС в разные периоды вулканической активности; 2) анализ репрезентативных вариантов катен, типичных для отдельных высотных ярусов острова; 3) выявление современных процессов, ответственных за возникновение замкнутых и открытых островных КЛГС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследований – о. Матуа (площадь 52 км²), расположенный в средней части Курильской островной дуги. На острове находится один из самых активных современных Курильских вулканов – Пик Сарычева (высота 1446 м) [Рыбин и др., 2012]. В историческое время эксплозивное извержение вулкана впервые было зафиксировано в 1760 г. Известны также взрывные извержения 1928, 1930, 1946, 1954, 1960, 1976 гг., а также более спокойные проявления вулканической деятельности в 1878–1879, 1954 и других годах. В XXI в. наблюдается активизация вулкана (извержения в 2009, 2018

и 2020–2021 гг.), причем в 2009 г. эруптивная колонна поднималась на высоту до 16 км [Дегтерев и др., 2012]. Извержения на современном этапе развития вулкана имеют эксплозивный и эксплозивно-эффузивный характер. Ежегодно на острове выпадает в среднем 1278 мм осадков, но при этом постоянные водотоки практически отсутствуют, поскольку подавляющая часть осадков фильтруется через мощный чехол грубых пирокластических отложений. В условиях умеренного морского климата с аномально холодным для 48° с. ш. летом (+5...+11°C) господствуют бореально-субарктические геохимические ландшафты с разным типом биологического круговорота (примитивно-пустынные, тундровые, стланиковые и луговые).

В пределах генетически единого островного вулканического ландшафта регионального уровня выделяются три географические местности, различающиеся по морфолитогенной основе и отражающие как сложную историю развития стратовулкана типа Сомма-Везувий, так и влияние океана: а) современных вулканических построек вулкана Пик Сарычева; б) древних вулканических построек вулкана Матуа; в) разновысотных морских террас [Иванов, 2017]. Они приурочены к разным высотным ярусам, что оказывает влияние на формирование и функционирование КЛГС разного уровня организации. Сопоставление ландшафтно-геохимических ярусов имеет принципиальное значение. Оно выявляет их различия по морфолитогенной основе, типам рельефа, геохимической специализации пород, набору и интенсивности экзогенных процессов, характеру растительности и обстановкам водной миграции элементов. В совокупности эти факторы определяют предпосылки возникновения латеральных миграционных потоков.

В основу статьи положены полевые исследования на о. Матуа летом 2016–2017 гг. При анализе химического состава тефры и лав использованы литературные данные [Дегтерев и др., 2012], на их основании определены средние содержания макро- и микроэлементов; их кларки концентрации (КК) по отношению к кларкам литосферы (по А.П. Виноградову); составлены формулы накопления, отражающие парагенные ассоциации элементов с КК > 1. Гидрохимическое опробование включало отбор проб (24 точки) из разных типов водных объектов (снег, лед, родники, ручьи и озера), расположенных во всех трех ярусах КЛГС. Анализ вод проводился по общепринятым методикам. При расчете коэффициентов водной миграции элементов использовалось их содержание в позднеголоценовой тефре [Авессаломова и др., 2018]. Различия типов вод выявлялись по формулам Курлова, включающим минерализацию (в г/л) и ионы, составляющие не ме-

нее 5%-экв. Для характеристики биогеохимических особенностей ландшафтов проведено опробование почв и растений на опорных профилях, заложенных в соответствии со структурой катен. Определение микроэлементного состава зол растений (166 проб) и почв (69 проб) проведено методом приближенного количественного спектрального анализа; содержания в почвах (20 проб) макроэлементов и тяжелых металлов (Ni, Co, V, Cr и др.) методом рентгено-флюоресцентного анализа. При обработке аналитических данных рассчитаны КК элементов в почвах и коэффициенты биологического поглощения (Ах) для растений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выявление структуры и функционирования КЛГС о. Матуа показало специфические особенности организации таких систем на островах с активными вулканами. В отличие от «классических» КЛГС гумидных районов, объединенных водными связями (ландшафтно-геохимические арены и др.), на вулканических островах в их функционировании ведущая роль принадлежит механической миграции. Другая особенность связана с принципиальным изменением их пространственной организации во время извержений и между ними, что проявляется в различии и соотношении латеральных миграционных потоков (рис. 1). В период активизации вулкана преобладают аэральные и гравигенные потоки (площадные и линейные), определяющие включение твердого вещества в механическую миграцию. В периоды между извержениями увеличивается роль экзогенных процессов, в их активизации наряду с гравигенными принимают участие водные потоки, и закладываются новые латеральные связи внутри островной КЛГС.

Периоды извержений. С начала XX в. извержения вулкана Пик Сарычева происходили с различной периодичностью и продолжались от нескольких дней до нескольких месяцев. В такие периоды в КЛГС активизируются латеральные потоки, связывающие ландшафты верхнего, среднего и нижнего ярусов. Выраженность потоков и характер влияния зависят от силы и продолжительности извержений. В одних случаях они захватывали значительные площади на конусе вулкана и в кальдере вулкана Матуа (выпадение тефры); в других имели линейную направленность (лавовые потоки, лахары), проходили через все ярусы КЛГС, достигали морских террас и акватории океана.

Главная особенность современных извержений вулкана Пик Сарычева – высокая эксплозивность, когда выбрасываемый обломочный материал фор-

мирует «палящие тучи» и ассоциированные с ними пирокластические потоки и волны. После обрушения эруптивной колонны во время извержения 2009 г. склоны острова были перекрыты плащом пирокластических отложений температурой около 500°C [Рыбин и др., 2012] и мощностью до 20 м в трансаккумулятивных позициях. Лавовые потоки андезибазальтового состава на современном этапе развития вулкана имеют подчиненное значение и, как правило, не выходят за пределы верхнего яруса КЛГС. Практически все они были локализованы в западном и северном секторах вулкана, достигали длины 2–3 км при ширине 100–250 м. Другая разновидность линейных латеральных потоков – лахары. Основная зона их питания находится в верхнем ярусе, где накапливаются рыхлые слабо консолидированные пирокластические отложения. Лахары образуются при быстром таянии снега на склонах вулкана, захватывают пирокластический материал, переносят его в средний и нижний ярусы островной КЛГС.

Периоды между извержениями. При выявлении организации КЛГС о. Матуа в спокойные периоды в основу положен анализ катенарной структуры ландшафтов разных высотных ярусов и их роли при возникновении каскадных систем более высокого ранга с учетом деятельности латеральных потоков, определяющих связи в КЛГС.

Верхний ярус. Абиогенные и примитивно-пустынные ландшафты верхнего яруса приурочены к склонам современного вулканического конуса (рис. 2А).

Для их литогенной основы характерно переслаивание голоценовых лав и пирокластики, причем позднеголоценовые продукты последних исторических извержений имеют исключительно андезибазальтовый состав. Содержание SiO_2 в них составляет 52,3–55,9; CaO 8,8–9,5; K_2O 0,99–1,3 масс.%, что соответствует умеренно-калиевой известково-щелочной серии андезибазальтов [Дегтерев, 2011]. Расчет КК показал, что среди макроэлементов Са (КК = 2,22) занимает первое место и значительно опережает К (КК = 0,34), который относится к элементам рассеяния. Для определения микроэлементного состава использованы данные по позднеголоценовой тефре [Дегтерев и др., 2012]. Установлено, что в парагенную ассоциацию элементов накопления (КК > 1) входят V, Sc, Mn, Ti, Cu, Co, большинство которых специфично для основных пород. Все они вошли в формулу накопления для андезибазальтов. Различия в концентрации прослеживаются при сопоставлении состава вулканического гравия и лапиллей с тонким пеплом, в котором отмечен рост содержания V при снижении других микроэлементов (Cr, Ni, Zr, Ba, W и др.).

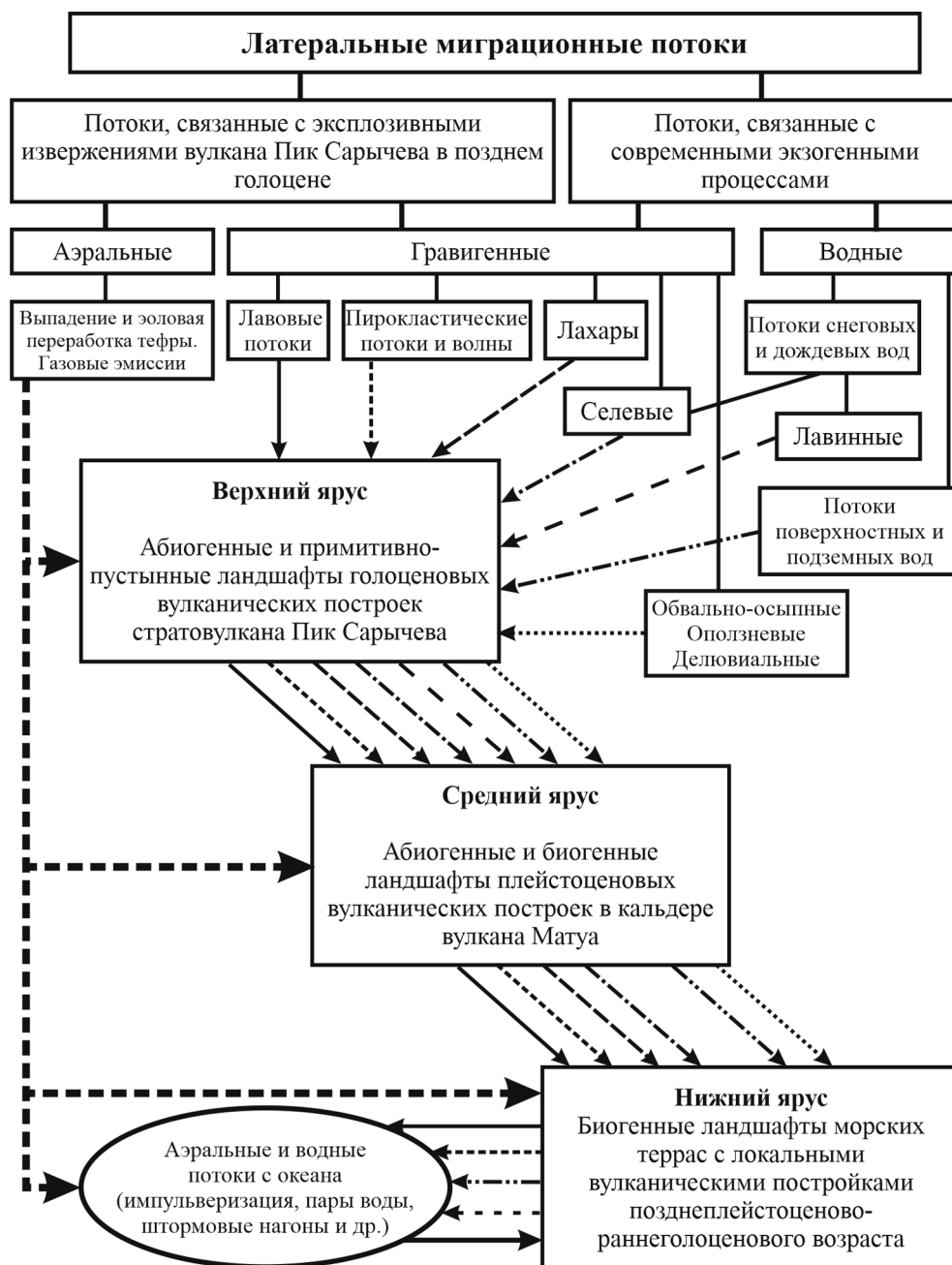


Рис. 1. Латеральные миграционные потоки в каскадных ландшафтно-геохимических системах о. Матуа

Fig. 1. Lateral migration flows in cascading landscape geochemical systems of the Matua Island

Типичные катены абиогенных ландшафтов верхнего яруса включают два рода элементарных ландшафтов (ЭЛ) – трансэлювиальные крутых склонов (Тэ) и трансаккумулятивные (Та). Их появление обусловлено медленным сползанием тефры и накоплением на пологих склонах. Такие гравигенные потоки имеют площадное распространение, отражают механическую миграцию и перераспределение твердого вещества в геохимических сопряжениях. При сходе снежного покрова в структуре катен периодически появляются трансаквальные ЭЛ (Aq^1), связанные с ручейками талых вод. Это слабокислые (pH 5,7–5,8) хлоридно-натриевые ультрапресные воды (минера-

лизация от 3,0 мг/л). Переувлажнение грунта вдоль ручейков стимулирует появление своеобразных супераквальных ЭЛ, которые рассматриваются как геохимически автономные, так как они питаются атмосферными водами [Глазовская, 2002].

У нижней границы примитивно-пустынных ландшафтов появляются пионерные виды и небольшие травяные сообщества с проективным покрытием до 5–10%. Характерный представитель – пеннелиант кустарниковый (*Pennellianthus frutescens*), зольность которого 10,4–13,0%, а к элементам сильного накопления относятся Cu, Zn, Mn, Mo и др. Состав воды в ручейках на участках с травяной

растительностью меняется за счет увеличения минерализации (до 5,8 мг/л) и содержания основных ионов (Са с 0,1 до 0,4, Mg с 0,04 до 0,2 мг/л и др.).

Появление водных потоков играет принципиальную роль при формировании КЛГС, включающих несколько высотных ярусов, и проявляется в разных аспектах. С одной стороны, фильтрация атмосферных вод через пирокластические толщи способствует переносу водорастворимых соединений и пополнению запасов подземных вод, которые разгружаются на контакте вулканических построек и морских террас. С другой стороны, снеговые и дождевые воды – важный фактор формирования векторных КЛГС. Они связаны с однонаправленными линейными абиогенными потоками, возникающими при образовании лавин и селей. В лавинно-селевых бассейнах зона мобилизации вещества, вовлекаемого в миграцию, приурочена к трансаккумулятивному ЭЛ в катенах верхнего яруса. Это связывает их в единую каскадную систему, включающую зоны

транзита и аккумуляции на нижних гипсометрических уровнях. Более простые латеральные связи наблюдаются в КЛГС, когда транслокация между ярусами осуществляется благодаря обвально-осыпным процессам и камнепадам, поставляющим твердое вещество непосредственно к морю.

Средний ярус. Ландшафты среднего яруса сформировались в кальдере вулкана Матуа, характеризующейся сочетанием лавовых плато и древних лавовых потоков (андезиты, андезибазальты), разделенных долинообразными понижениями с крутыми склонами. Вулканические постройки частично перекрыты выбросами вулкана Пик Сарычева во время голоценовых извержений. Здесь происходила частичная аккумуляция тефры и проходит граница распространения отдельных языков пирокластических потоков. Средний ярус является преимущественно зоной транзита для лахаров, хотя их селевые конусы отмечаются в некоторых долинах.

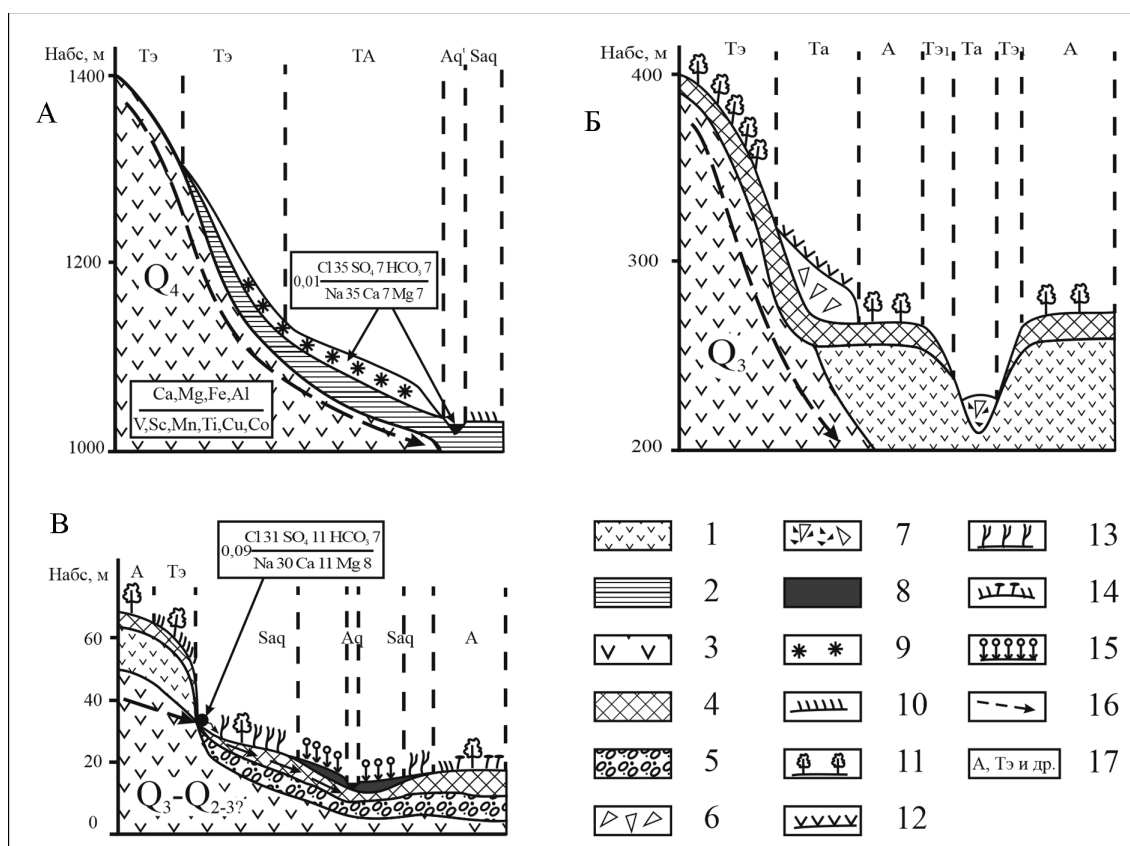


Рис. 2. Типичные катены верхнего (А), среднего (Б) и нижнего (В) ярусов: 1 – лавы; 2 – тефра; 3 – переслаивание лав и пирокластики; 4 – почвенно-пирокластический чехол; 5 – галечник; 6 – коллювий; 7 – селевые отложения; 8 – торф; 9 – снег; 10 – пионерные виды растений; 11 – ольховник; 12 – разнотравно-злаковые луга; 13 – злаково-высокотравные луга; 14 – луга с фрагментами тундры; 15 – осоковые низинные болота; 16 – подземные воды; 17 – индексы родов элементарных ландшафтов.

В прямоугольниках – формулы накопления и Курлова

Fig. 2. Typical catenae of the upper (A), middle (B) and lower (B) tiers:

1 – lava; 2 – tefra; 3 – alternation of lava and pyroclastics; 4 – soil-pyroclastic cover; 5 – pebble bed; 6 – colluvium; 7 – mudflow deposits; 8 – peat; 9 – snow; 10 – pioneer plant species; 11 – alder grove; 12 – forb-grass meadows; 13 – grass-high forb meadows; 14 – meadows with tundra fragments; 15 – sedge lowland bogsm; 16 – underground waters; 17 – index of the genera of elementary landscapes. In rectangles – the formulas of accumulation and Kurlov

В растительном покрове преобладают заросли ольхового стланика, но встречаются тундровые и луговые сообщества. Для литогенной основы ландшафтов характерно повсеместное наличие почвенно-пирокластического чехла (ППЧ). Это одно из принципиальных отличий ландшафтов среднего яруса от расположенных выше абиогенных ландшафтов. Оно отражает сложность их перестройки в периоды извержений и между ними, когда возрастает роль БИКа, процессов автотрофного и гетеротрофного биогенеза.

Сравнение содержаний элементов в толще ППЧ (на глубине до 90 см) и голоценовой тефре отражает сходство парагенных ассоциаций элементов. Однако зафиксировано накопление в современных и погребенных органогенных горизонтах почв биогенных элементов – Са (КК 1,6–2,3), Mg (КК до 1,1), Р (КК 1–3,2), Mn (КК 1–1,5), Cu (КК 1,1–2,7), Мо (КК до 1,3), что согласуется с их поглощением растениями в ольховом стланике, верещатниковых тундрах и лугах. В условиях кислого выщелачивания грубогумусные почвы являются дополнительным источником поступления в подземные воды элементов, в первую очередь катионогенных (Са, Mg, Mn, Cu, Zn и др.).

В связи с отсутствием зон разгрузки подземных вод и хорошей дренированностью субстрата ландшафты среднего яруса практически лишены поверхностных водотоков, характеризуются доминированием неполных геохимических сопряжений и отсутствием супераквальных и аквальных ЭЛ. С учетом особенностей морфолитогенной основы выделяются два рода ландшафтов, отражающие соседство склонов древних вулканических построек с лавовыми плато (см. рис. 2Б). В катенах на склонах трансэлювиальные ЭЛ сочетаются с трансаккумулятивными (Тэ – Та), появление которых обусловлено гравигенными потоками. На первый план выходят обвальнo-осыпные процессы и связанные с ними шлейфы и конусы у подножия склонов. Их появление на контакте с лавовыми плато свидетельствует о возможности механического переноса материала между ландшафтами обоих родов, занимающих разные гипсометрические уровни.

Своеобразие катенарной структуры лавовых плато (А – Тэ – Та) связано с наличием долинообразных понижений, на днищах которых наблюдаются скопления рыхлого материала. Его происхождение связано с деятельностью селевых потоков в период снеготаяния и сильных дождей, а не с миграционными процессами на склонах плато. Сходная ситуация складывается и на расчлененных селевыми врезами склонах древних вулканических построек. Такие линейные эрозионные формы являются важными каналами перемещения однонаправленных грави-

генных потоков, обеспечивающих поступление вещества из ландшафтов верхнего уровня. В целом ландшафты среднего яруса могут рассматриваться как зона транзита и частичной аккумуляции вещества на днищах долин, что определяет их функциональную роль в структуре островной КЛГС.

Нижний ярус. В ландшафтах нижнего яруса осуществляются функции по конечной аккумуляции вещества из верхних звеньев КЛГС. Связь с ними определяется участием не только гравигенных, но и водных потоков, возникающих при разгрузке подземных вод (зоны разгрузки протяженностью в сотни метров в бухтах Айну и Двойная). Специфика этого яруса в том, что при формировании морфолитогенной основы ландшафтов проявлялось влияние как вулканической деятельности, так и окружающей морской акватории. Оно сопровождается появлением прибрежно-морского рельефа (серия разновысотных морских террас). В цоколе абразионно-аккумулятивных террас высокого (25–60 м) и среднего (10–25 м) уровней залегают древние вулканические образования (преимущественно андезиты); морские отложения представлены галечниками, которые перекрыты ППЧ с прослоями цунамигенных осадков. Слабонаклонные поверхности террас создают предпосылки для аккумуляции материала в нижних звеньях КЛГС. Аккумулятивная низкая терраса (2–10 м) сложена песками, на которые в тыловой части налегают конусы выноса из эрозионных врезов на абразионных уступах. Эти конусы фиксируют краевую зону аккумуляции КЛГС, хотя ее разрушение возможно при штормовых нагонах и цунами.

Из латеральных потоков со стороны моря выделяются цунами. В зоне их затопления наблюдается активное размывание низких морских террас, перетолжение и вынос материала из нижних звеньев КЛГС, коренная трансформация растительных сообществ и изменение обстановок водной миграции (повышение щелочности). Следы цунами после землетрясений 2006–2007 гг. прослеживаются до высоты 20–25 м и на расстоянии до 400 м от береговой линии. Такие мощные цунами происходят примерно раз в 300 лет, цунами с меньшей высотой волны (6–15 м) – раз в 100 лет, а небольшие – почти ежегодно. Штормовые нагоны отличаются меньшей высотой волн и дальностью проникновения, но происходят ежегодно в осенне-зимний период. Протяженность зоны наложения латеральных потоков со стороны острова и со стороны моря зависит от особенностей береговой зоны и колеблется от первых десятков метров в пределах абразионно-денудационных берегов до первых сотен метров на аккумулятивных побережьях, где возможен вынос материала из нижних звеньев островной КЛГС и увеличение ее «открытости».

Соседство вулканогенных образований с морскими террасами обуславливает внутреннюю гетерогенность ландшафтов нижнего яруса и мозаичные сочетания катен, различающихся по условиям транзита и аккумуляции вещества. По объему перемещенного материала выделяются гравигенные потоки, связанные с селями, особенно вулканогенного происхождения. Во время извержения в июне 2009 г. самый крупный лахар прошел по поверхности 60-метровой морской террасы примерно 750 м от устья долины, перенес и отложил около 0,2 млн м³ твердого материала. Такие лахары проходят через все ярусы КЛГС, разгружаясь на морских террасах. Небольшие сели также могут поставлять материал в береговую зону, достигая пляжей. Суммарный объем селевых потоков (совместно твердая и жидкая фазы), рассчитанный по 15 селевым бассейнам, получился равным 1,62 млн м³. Повторяемость селей в мелких селевых бассейнах составляет в среднем один раз в 3–5 лет, в средних по размеру – каждые 10–15 лет [Иванов и др., 2021].

Одно из следствий поступления вещества в нижние звенья КЛГС – разнообразие геохимических сопряжений в сфере действия латеральных потоков разных типов. На контакте древних вулканических построек и высоких террас селевые потоки выходят на их субгоризонтальную поверхность, что сопровождается появлением конусов выноса, наложенных на галечники. Часто они сливаются друг с другом, образуя пологонаклонный шлейф и фиксируя появление трансаккумулятивных ЭЛ на пролювиально-селевых отложениях, занятых ольховниками и лугами.

Иная ситуация в зоне контакта лавовых потоков с террасами среднего уровня (район бухты Айну), где разгружаются подземные воды, обеспечивающие связь между разными звеньями КЛГС. Воды родников отличаются от талых вод верхнего яруса. При сохранении ведущей роли талассофильных элементов (Cl, Na) наблюдается увеличение pH до 7, минерализации до 88–92 мг/л и содержания основных ионов при возрастании в солевом составе доли сульфатов и Ca (11%-экв.), а в некоторых источниках гидрокарбонат-иона. Такая тенденция связана с выщелачиванием элементов из пирокластических толщ, ППЧ, органогенных горизонтов почв и обогащением ими инфильтрационных вод. Ландшафты верхнего и среднего ярусов в связи с отсутствием зон их разгрузки можно рассматривать как зону формирования и транзита подземных вод. Их связующая роль проявляется при выходе вод и поступлении миграционных потоков на нижний ярус КЛГС, что оказывает влияние на катенарную структуру морских террас.

В гетеролитных катенах автономные и транзлювиальные ЭЛ Н-класса с ольховниками и лугами

на склонах лавовых потоков ниже разгрузки подземных вод сопрягаются с супераквальными (Н–Fe-класс) и аквальными ЭЛ, приуроченными к долинообразному понижению в тыловой части террасы (см. рис. 2В). При нарастании гидроморфности злаково-высокотравные луга на грубогумусных почвах сменяются осоковым низинным болотом, где при близком залегании грунтовых вод (УГВ – 8 см) и замедлении разложения органического вещества (C_{org} 1–1,5%) развивается торфонакопление. По сравнению с органогенными горизонтами почв торф обеднен биогенными элементами, в первую очередь Fe, подвижным в условиях оглеения. В то же время замедление БИКа и консервация вещества в супераквальных ЭЛ является одной из причин, ограничивающих потерю элементов в геохимических сопряжениях. Разгружающиеся подземные воды и воды ручьев близки по составу, хотя большинство ручьев не доходит до моря, что снижает передачу импульса воздействия водных латеральных потоков в нижних звеньях КЛГС.

Другая зона разгрузки подземных вод протяженностью 800 м находится на контакте террас среднего и низкого уровня в бухте Айну. Их влияние ярко проявляется в структуре катен эрозионно-суффозионной ложбины, где многочисленные ручьи пересекают супераквальные ландшафты Н–Fe-класса с небольшими озерками. При близком ионном составе воды ручьев и озерков отличаются от вод родников по резкому увеличению содержания Fe (с 4–14 до 60–137 мкг/л) и Mn (с 0,5–1,5 до 9–14 мкг/л) в связи с выносом их при кислом глеевом выщелачивании из торфяных эвтрофных почв. Участие этих элементов в водной миграции свидетельствует, с одной стороны, об их аккумуляции в нижних звеньях КЛГС в своеобразных геохимических ловушках (аквальные ЭЛ бессточных озерков); с другой – о возможности выноса с поверхностным стоком (трансаквальные ЭЛ ручьев). Их контакт с морскими водами при нагонах и цунами свидетельствует об установлении водных связей с океаном в заключительном звене островной КЛГС. В целом сопоставление последствий действия гравигенных и водных потоков в ландшафтах нижнего яруса отражает различие путей транзита и аккумуляции вещества в разных вариантах катен. Их соседство и сочетание определяют сложность организации разных звеньев КЛГС, отвечающих за степень их «открытости».

ВЫВОДЫ

Вулканический остров с центробежным движением потоков вещества к океану рассматривается как единая каскадная ландшафтно-геохимическая система регионального уровня. Ее внутренняя гетерогенность определяется соседством КЛГС бо-

лее низкого ранга (катены, бассейны стока). Специфика организации островной КЛГС обусловлена ведущей ролью гравигенных потоков в отличие от «классических», где превалирует жидкий сток. Водопроницаемость почвенно-пирокластического чехла и неразвитость поверхностного стока ограничивают влияние водных потоков, за исключением мест разгрузки подземных вод.

Нисходящие потоки захватывают разные высотные ярусы, различающиеся по ландшафтной структуре и приуроченности зон мобилизации, транзита и аккумуляции вещества. Импульсное функционирование эруптивного центра сопровождается изменением латеральных потоков и их воздействием на миграционную структуру КЛГС в периоды извержений и между ними. При активизации вулкана преобладают площадные азральные и гравигенные потоки (выпадение тефры, газовые эмиссии, пирокластические потоки и волны и др.). К ним добавляются линейные лавовые потоки и лахары, иногда достигающие прилегающей акватории. Их совместное действие обеспечивает связь между ярусами в открытой островной КЛГС.

Между извержениями включение твердого вещества в механическую миграцию связано с экзогенными процессами, которые неодинаково проявляются на разных ярусах. К ним относятся криогенные, лавинные, селевые, обвально-осыпные процессы, а также линейная эрозия и плоскостной смыв. Для абиогенных ландшафтов верхнего яруса характерны площадные потоки (гравигенное перемещение тефры и др.), накопление в трансаккумулятивных позициях вещества, готового к мобилизации при возникновении селей и лавин. В среднем ярусе стабилизирующая роль растительности тормозит появление площадных гравигенных потоков. В неполных сопряжениях происходит вовлечение

элементов в БИК, накопление на фито- и биогеохимических барьерах Ca, Mg, P, Mn, Cu и др., вынос в подземные воды при кислом выщелачивании. Возникновение линейных потоков в лавинно-селевых бассейнах обеспечивает перенос вещества из верхнего яруса в нижележащие уровни и определяет функцию среднего яруса как зоны транзита и частичной аккумуляции.

На нижнем ярусе усложнение катенарной структуры в заключительном звене КЛГС определяется совместным действием потоков разных видов и формированием зон аккумуляции. Линейные селевые потоки не доходят до океана и образуют конусы на морских террасах. Площадные потоки при разгрузке подземных вод вызывают появление супераквальных и аквальных ЭЛ, где происходит консервация элементов при торфонакоплении и на физико-химических барьерах, аккумуляция в озерах $P_{орг}$. Несмотря на вынос при глеевом выщелачивании Fe, Mn и др. и включение в водную миграцию биогенных элементов, поверхностный сток часто не доходит до океана.

Накопление вещества на селевых конусах и в геохимических ловушках нижнего яруса увеличивает замкнутость островной КЛГС. Возможность ее снижения в периоды между извержениями связана, во-первых, с перемещением материала при камнепадах непосредственно в акваторию, во-вторых, с деятельностью латеральных потоков со стороны океана. Характерное звено островной КЛГС – береговая зона. Ее роль связана с противоречивым взаимодействием разнонаправленных потоков. Это приход вещества из верхних ярусов и накопление в нижнем, разрушение зон аккумуляции во время цунами и при штормовых нагонах, контакт поверхностных и океанических вод и увеличение открытости КЛГС.

Благодарности. Работа выполнена в рамках ГЗ № ЦИТИС: 121051300176-1 «Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авессаломова И.А., Иванов А.Н., Савенко А.В. Водная миграция химических элементов в ландшафтах вулканических островов Центральных Курил (на примере о. Матуа) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 1. С. 73–80.
- Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 350 с.
- Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена, 2002. 288 с.
- Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Мелекесцев И.В. и др. Эксплозивные извержения вулкана Пик Сарычева в голоцене (о. Матуа, Центральные Курилы): геохимия тефры // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 6. С. 16–26.
- Дегтерев А.В. Петрохимические особенности продуктов современных извержений вулкана Пик Сарычева, остров Матуа (Курилы) // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 6. С. 94–99.
- Иванов А.Н., Моисеев А.И., Хисматуллин Т.И. и др. Полиструктурная организация вулканического ландшафта острова Матуа (Центральные Курилы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 4. С. 140–151.
- Иванов А.Н. Особенности ландшафтной структуры острова Матуа (Центральные Курилы) // Известия РГО. 2017. Т. 149. Вып. 5. С. 26–35.

- Калачева Е.Г., Мельников Д.В., Волошина Е.В. и др. Геохимия кратерных вод озера вулкана Малый Семьячик // Вулканология и сейсмология. 2022. № 3. С. 28–42.
- Калачева Е.Г., Таран Ю.А., Котенко Т.А. и др. Геохимия кислых термальных вод острова Уруп (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2021. № 5. С. 63–78.
- Касимов Н.С. Базовые концепции и принципы геохимии ландшафтов // Геохимия ландшафтов и география почв. Смоленск: Ойкумена, 2002. С. 23–38.
- Ретеюм А.Ю. Земные миры. М.: Мысль, 1988. 270 с.
- Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Разжигаева Н.Г. и др. Активные вулканы Курильских островов: вулкан Пик Сарычева. Южно-Сахалинск: Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2012. 80 с.
- Таран Ю.А., Знаменский В.С., Юрова Л.М. Геохимическая модель гидротермальных систем вулкана Баранского (о-в Итуруп, Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4–5. С. 21–29.
- Aguilera F., Tassi F., Darrah T. et al. Geochemical model of a magmatic – hydrothermal system at the Lastarria volcano, northern Chile, *Bulletin of Volcanology*, 2012, no. 74, p. 119–134.
- Chorley R.J., Kennedy B.A. *Physical Geography. A Systems Approach*. London, Prentice Hall, 1971, 370 p.
- Fischer T.P. Fluxes of volatiles (H₂O, CO₂, N₂, Cl, F) from arc, *Volcanoes Geochemical Journal*, 2008, vol. 42, p. 21–38.
- Jarrard R.D. Subduction fluxes of water, carbon dioxide, chlorine, and potassium, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2003, no. 4, p. 1–50.
- Kalacheva E., Taran Y., Voloshina E. Hydrothermal system and acid lakes of Golovnin caldera, Kunashir, Kuril Islands: Geochemistry, solute fluxes and heat output, *J. Volcanol. and Geotherm. Res.*, 2017, vol. 346, p. 10–20, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.06.001>.
- Straub S.M., Layne G.D. The systematics of chlorine, fluorine, and water in Izu arc front rocks: implications for volatile recycling in subduction zones, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, vol. 67, p. 4179–4203.
- Taran Y., Zelenski M., Chaplygin I. Gas emissions from volcanoes of the Kuril Island arc (NW Pacific): Geochemistry and fluxes, *Geochemistry, Geophysics and Geosystems*, 2018, vol. 19(6), p. 1859–1880, DOI: 10.1029/2018GC007477.
- Taran Y., Zelenski M. Systematics of water isotopic composition and chlorine content in arc-volcanic gases, *Geological Society, London, Special Publications*, 2014, vol. 410, no. 1, p. 237–262, DOI: 10.1144/sp410.5.

Поступила в редакцию 18.01.2025

После доработки 25.02.2025

Принята к публикации 20.05.2025

CASCADING LANDSCAPE GEOCHEMICAL SYSTEMS OF VOLCANIC ISLANDS (CASE STUDY OF THE MATUA ISLAND, THE CENTRAL KURIL ISLANDS)

I.A. Avessalomova¹, A.N. Ivanov²

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

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

² Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: a.n.ivanov@mail.ru

Possible application of the concept of cascading landscape geochemical systems (CLGS) in relation to islands with active volcanoes is analyzed. The object of the study is the Matua Island with the Sarycheva volcano, which is the most active within the Kuril Islands. The structure of the island's CLGS has three altitudinal levels which differ in morphological and lithological base, exogenous processes, vegetation cover and the elements' migration conditions. It was found that the main lateral flows connecting all levels are the gravitational displacement of tephra, underground runoff with discharge in the lower level at the contact of marine terraces, as well as volcanic mudflows. The surface runoff is almost completely absent, due to high permeability of the soil-pyroclastic cover; as a result, there are no typical catenae associated with water runoff. It is shown that the volcanic CLGS is characterized by pulsing functioning and different types of lateral flows during and between the eruptions. During the period of volcano activation, aerial and gravigenic flows, such as tephra deposition and associated pyroclastic flows and waves, lava flows, gas emissions and lahars, prevail, the solid matter is forced into the mechanical migration. The flows connect the geochemical landscapes of all levels, i.e. upper, middle and lower, and reach the adjacent marine area. During the periods between eruptions, the role of modern exogenous processes, namely avalanches, mudflows and rock falls, and underground water increases; new lateral connections are being formed within the island CLGS. The coastal zone is a characteristic structural element of the CLGS of all volcanic islands. Specific features of its structural and functional organization are determined by multidirectional flows of matter with different chemical composition from the volcanic core and from the ocean, which results in a heterogeneous and mosaic landscape-geochemical structure.

Keywords: island, volcano, geochemical structure, catenae, lateral flows

Acknowledgements. The study was carried out under the state assignment “Factors and processes of spatial-temporal organization of natural and anthropogenic landscapes” (no. 121051300176-1).

REFERENCES

- Aguilera F., Tassi F., Darrah T. et al. Geochemical model of a magmatic – hydrothermal system at the Lastarria volcano, northern Chile, *Bulletin of Volcanology*, 2012, no. 74, p. 119–134.
- Avessalomova I.A., Ivanov A.N., Savenko A.V. Vodnaya migratsiya khimicheskikh elementov v landshaftakh vulkanicheskikh ostrovov Tsentral'nykh Kuril (na primere o. Matua) [Water migration of chemical elements in the landscapes of volcanic islands of the Central Kuril Islands (case study of the Matua Island)], *Vestnik. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 1, p. 73–80. (In Russian)
- Chorley R.J., Kennedy B.A. *Physical Geography. A Systems Approach*, London, Prentice Hall, 1971, 370 p.
- Degterev A.V. Petrokhimicheskie osobennosti produktov sovremennykh izverzhenii vulkana Pik Sarycheva, ostrov Matua (Kurily) [Petrochemical features of products of modern eruptions of the Sarychev Peak volcano, Matua Island (Kuril Islands)], *Vestn. DVO RAN*, 2011, no. 6, p. 94–99. (In Russian)
- Degterev A.V., Rybin A.V., Melekestsev I.V. et al. Eksplozivnye izverzheniya vulkana Pik Sarycheva v golotsene (o. Matua, Tsentral'nye Kurily): geokhimiya tefry [Explosive eruptions of the Sarychev Peak volcano in the Holocene on the Matua Island, the Central Kuriles: the tephra geochemistry], *Russian Journal of Pacific Geology*, 2012, vol. 6, no. 6, p. 423–432.
- Fischer T.P. Fluxes of volatiles (H_2O , CO_2 , N_2 , Cl , F) from arc volcanoes, *Geochemical Journal*, 2008, vol. 42, p. 21–38.
- Glazovskaya M.A. *Geokhimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovaniy prirodnikh landshaftov* [Geochemical foundations of typology and methodology of natural landscape research], Smolensk, Oikumena Publ., 2002, 288 p. (In Russian)
- Glazovskaya M.A. *Geokhimiya prirodnikh i tekhnogennykh landshaftov* [Geochemistry of natural and man-made landscapes], Moscow, Faculty of Geography, Moscow St. Un-ty Publ., 2007, 350 p. (In Russian)
- Ivanov A.N. Osobennosti landshaftnoi struktury ostrova Matua (Tsentral'nye Kurily) [Landscape structure peculiarities of the Matua Island (Central Kuril Islands)], *Izvestiya Russkogo geogr. obshchestva*, 2017, vol. 149, no. 5, p. 26–35. (In Russian)
- Ivanov A.N., Moiseev A.I., Khismatullin T.I., Shnyparkov A.L. Polistrukturnaya organizatsiya ostrova Matua (Tsentral'nye Kurily) [Polystructural organisation of volcanic landscapes on the Matua Island (Central Kuril Islands)], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 4, p. 140–151. (In Russian)
- Jarrard R.D. Subduction fluxes of water, carbon dioxide, chlorine, and potassium, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2003, no. 4, p. 1–50.
- Kalacheva E., Taran Y., Voloshina E. Hydrothermal system and acid lakes of Golovnin caldera, Kunashir, Kuril Islands: Geochemistry, solute fluxes and heat output, *J. Volcanol. and Geotherm. Res.*, 2017, no. 346, p. 10–20, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.06.001>
- Kalacheva E.G., Mel'nikov D.V., Voloshina E.V. et al. Geokhimiya kraternykh vod ozera vulkana Mal'j Semjachik [Geochemistry of the Crater Lake of the Maly Semyachik Volcano], *Vulkanologiya i seismologiya*, 2022, no. 3, p. 28–42, DOI: 10.31857/S0203030622030026. (In Russian)
- Kalacheva E.G., Taran Yu.A., Kotenko T.A. et al. Geokhimiya kislykh termal'nykh vod ostrova Urup (Kuril'skie ostrova) [Geochemistry of Acid Thermal Waters of the Urup Island (Kuril Arc)], *Vulkanologiya i seismologiya*, 2021, no. 5, p. 63–78, DOI: 10.31857/S0203030621050035. (In Russian)
- Kasimov N.S. [Basic concepts and principles of landscape geochemistry], *Geokhimiya landshaftov i geografija pochv* [Landscape geochemistry and soil geography], Smolensk, Oikumena Publ., 2002, p. 23–38. (In Russian)
- Reteyum A.Yu. *Zemnye miry* [Earth's worlds], Moscow, Mysl' Publ., 1988, 270 p. (In Russian)
- Rybin A.V., Degterev A.V., Razzhigaeva N.G. et al. *Aktivnye vulkany Kuril'skikh ostrovov: vulkan Pik Sarycheva* [Active volcanoes of the Kuril Islands: the Sarychev Peak volcano], Juzhno-Sahalinsk, Institute of Marine Geology and Geophysics, 2012, 80 p. (In Russian)
- Straub S.M., Layne G.D. The systematics of chlorine, fluorine, and water in Izu arc front rocks: implications for volatile recycling in subduction zones, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, vol. 67, p. 4179–4203.
- Taran Ju.A., Znamenskij V.S., Jurova L.M. Geokhimicheskaja model' gidrotermal'nykh sistem vulkana Baranskogo (ostrov Iturup, Kuril'skie ostrova) [Geochemical model of hydrothermal systems of the Baransky volcano (Iturup Island, Kuril Islands)], *Vulkanologiya i seismologiya*, 1995, no. 4–5, p. 21–29. (In Russian)
- Taran Y., Zelenski M. Systematics of water isotopic composition and chlorine content in arc-volcanic gases, *Geological Society*, London, Special Publications, 2014, vol. 410, no. 1, p. 237–262, DOI: 10.1144/sp410.5.
- Taran Y., Zelenski M., Chaplygin I. Gas emissions from volcanoes of the Kuril Island arc (NW Pacific): Geochemistry and fluxes, *Geochemistry, Geophysics and Geosystems*, 2018, vol. 19(6), p. 1859–1880, DOI: 10.1029/2018GC007477.

Received 18.01.2025

Revised 25.02.2025

Accepted 20.05.2025

СОВРЕМЕННАЯ ДЕНУДАЦИЯ МАЛОГО ПРИЛЕДНИКОВОГО ВОДОСБОРА ОЗЕРА ДОНГУЗ-ОРУН

М.И. Успенский¹, С.В. Харченко², А.С. Цыпленков³, М.М. Иванов⁴, В.Н. Голосов⁵

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория геохимии природных вод

^{1,3-5} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ эрозии почв и русловых процессов

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии

¹ Мл. науч. сотр., аспирант; e-mail: maksimuspenskii@gmail.com

² Вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: xar4enkkoff@yandex.ru

³ Науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: atsyplenkov@gmail.com

⁴ Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: ivanovm@igras.ru

⁵ Вед. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: gollossov@gmail.com

Динамика наносов в высокогорных водосборах крайне изменчива во времени и пространстве, что необходимо учитывать при хозяйственном освоении территорий. В данной работе исследован высокогорный водосбор оз. Донгуз-Орун, расположенный на северном макросклоне Центрального Кавказа. Мы использовали морфодинамический подход к оценке денудации, дополненный определением коэффициента доставки наносов и двумя независимыми методами для верификации результатов. Было установлено, что ежегодно фоновыми экзогенными геоморфологическими процессами на водосборе мобилизуется около 29 300 м³ материала, что соответствует величине локальной денудации 2,2 мм/год. Однако, при среднем коэффициенте доставки наносов 58% только около 17 000 м³ достигает замыкающего створа, что отвечает величине бассейновой денудации 1,3 мм/год. Большую часть наносов в озерную котловину поставляют флювиальные (преимущественно линейная эрозия временных водотоков и делювиальный смыл), обвально-осыпные, ледниковые и водно-ледниковые процессы. Верификация независимыми методами, включающими оценку объемов наносов в озерной котловине и метод питающих провинций, указывает на то, что рассматриваемый подход завысил значения бассейновой денудации примерно на 3000 м³. Темпы суммарной денудации на исследованном водосборе превышают среднее значение для высокогорной зоны Альп.

Ключевые слова: экзогенные процессы, бюджет наносов, коэффициент доставки наносов, связность потоков наносов, метод питающих провинций, Северный Кавказ

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.9

ВВЕДЕНИЕ

Высокая расчлененность рельефа, обилие крутых склонов, низкие температуры, большое количество осадков и разреженность растительного покрова определяют в высокогорьях одни из наиболее высоких темпов денудации на Земле [Walling, Webb, 1996]. При этом климатическая динамика в последние десятилетия (изменения температуры, количества и режима выпадения осадков) способствует еще большему увеличению интенсивности геоморфологических процессов [Beniston, 2005].

Так, для высокогорной зоны Альп отмечено увеличение среднегодовых температур в период с 1900 по 2004 г. на 0,14°C/10 лет [Gilbert, Vincent, 2013]. В высокогорье Тибета на 0,27°C/10 лет в период с 1961 по 2004 г. [Pepin et al., 2015]. По данным с метеорологической станции в Терсколе, для высоко-

горной зоны Кавказа в период с 1961 по 2011 г. не произошло статистически значимого повышения среднегодовой температуры (0,01°C/10 лет), но отмечается повышение температуры в течение летнего и осеннего сезонов [Tashilova et al., 2019; Toropov et al., 2019]. Среднегодовое количество осадков, а также соотношение жидкой и твердой фазы осадков статистически значимо не изменились [Tashilova et al., 2019; Toropov et al., 2019]. Но в целом для горных территорий характерно увеличение повторяемости событий выпадения осадков высокой интенсивности [Hartmann et al., 2013], что, несомненно, влияет на формирование стока, эрозию и транспорт наносов.

Одним из наиболее явных индикаторов изменения климата в горах является таяние ледников. Согласно [Tielidze, Wheate, 2018], в период с 1960 по 2014 г. площадь оледенения Большого Кавка-

за уменьшилась примерно на 29% – с 1674,9 до 1193,2 км². При этом скорость отступления ледников возросла с 0,44%/год между 1960 и 1986 гг. до 0,69%/год между 1986 и 2014 гг. Таяние ледников сопровождается высвобождением коренных пород и обломочного материала. После снятия ледниковой нагрузки обильные скопления незакрепленного растительностью рыхлого материала легко транспортируются экзогенными процессами, а на крутых скальных стенках отмечается увеличение темпов обвально-осыпных процессов.

В настоящее время существуют разнообразные методы оценки темпов как отдельных экзогенных процессов, так и в целом денудации разномасштабных объектов. Однако, комплексных исследований, учитывающих как общий объем транспортируемого материала (локальную денудацию), так и долю материала, доставляемого к замыкающему створу (бассейновую денудацию), в высокогорных водосборах относительно мало [Hinderer, 2012]. Это связано, во-первых, с ограниченностью натурных данных об интенсивности процессов и суммарном стоке наносов. Во-вторых, с трудоемкостью определения связности потоков наносов, то есть особенностей перераспределения материала по пути их переноса от вышележащих областей вниз по каскаду флювиальной сети. В-третьих, с высокой степенью вариативности набора процессов и их темпов в пространстве и времени.

Несмотря на это, развитие инструментов пространственного анализа, данные дистанционного зондирования и накопленные сведения о характерных скоростях экзогенных процессов позволяют производить количественные оценки локальной и бассейновой денудации в горах на уровне порядка величин и с разделением на вклад отдельных денудационных процессов. Подобные исследования в высокогорьях важны как с чисто научной, так и с прикладной точки зрения, поскольку предоставляют возможность проследить развитие геосистем в условиях, где последствия антропогенной нагрузки менее существенны, чем последствия климатических изменений; и учесть специфику транспорта наносов, что необходимо при разработке подходов рационального природопользования.

Цель данного исследования заключается в количественной оценке локальной и бассейновой денудации за счет протекания фоновых экзогенных процессов, а также определении вклада отдельных процессов в суммарную денудацию малого высокогорного водосбора оз. Донгуз-Орун. Под фоновыми подразумеваются те процессы, которые ежегодно протекают на водосборе, в отличие от экстремальных – редких, но высокомагнитудных, в том числе и потенциально опасных, например селей и крупных обвалов.

Объект исследований. Водосбор расположен на высотах 2545–3785 м (высшая точка на части водораздела, проходящей по главному хребту Большого Кавказа, – г. Чегеткара) и имеет площадь 13 км² (рис. 1). Озеро образовалось в результате подпора питающих его ручьев боковой мореной ледника Донгуз-Орун. Притоки озера впадают в него с северо-запада (руч. Медвежий) и с запада (руч. Безымянный) и образуют дельту размерами 350 (С–Ю) на 390 (З–В) м. При этом относительно друг друга они располагаются таким образом, что водосбор руч. Медвежий является северным по отношению к водосбору руч. Безымянный, который в дальнейшем называется южным. В геологическом отношении на водосборе представлены три комплекса. Верхняя и средняя части долины руч. Медвежьего сложены протерозойскими гнейсами и кристаллосланцами слюдяными, а его нижняя и северо-западная приводораздельная часть долины южного притока – протерозойскими кристаллосланцами. Оставшаяся большая часть долины южного притока сложена палеозойскими гранитами биотитовыми [Письменный и др., 2004]. Современное оледенение представлено четырьмя ледниками карово-долинного и висячего типов. В верховьях долины руч. Медвежьего расположен крупнейший из них – ледник Медвежий (0,7 км²). Оставшиеся три расположены в южной долине, а их площадь варьирует от 0,1 до 0,3 км². Согласно данным наблюдений метеорологической станции Терскол, расположенной в 3 км к север-северо-востоку от водосбора на высоте 2140 м, среднегодовое количество осадков составляет около 900 мм, температура самого теплого месяца – 11,9°C (август), самого холодного – (–5,9)°C (январь). Большая часть осадков выпадает в теплый сезон – с мая по сентябрь. Твердые осадки приурочены к периоду с сентября по май. Устойчивый снежный покров залегает на большей части водосбора в период с сентября–октября по май–июнь, сохраняясь в течение всего года только в областях аккумуляции ледников и отдельных теневых участках во внеледниковых областях. Водосбор частично покрыт травянисто-кустарниковой растительностью, преимущественно в нижних частях склонов и отдаленных от современного положения краев ледников участках склонов и днищ долин.

Современный облик водосбора во многом обязан деятельности ледников, водно-ледниковых потоков и нивации в плейстоцене и голоцене. В плейстоценовое время происходило переуглубление долин с последующим отступанием ледников и высвобождением рыхлого материала и коренных пород. Преимущественно в верхних частях склонов развиты крутые скальные стенки, образованные эрозией и нивацией и расчлененные ложбинами, по

которым транспортируется обвальный и лавинный материал. Вниз по долине происходит постепенное выполаживание склонов и накопление гетерогенного рыхлого материала. Так, в средних и нижних частях склонов развит обширный склоновый чехол разного гранулометрического состава, в настоящее время подверженный массовым смещениям грунта. Среди аккумулятивных ледниковых форм наибольшую площадь занимают области аккумуляции основной морены. Но также представлены боковые и конечные гряды, сохранившиеся до наших дней несмотря на активную переработку днищ долин. Конечно-моренные гряды представлены валами, за-

частую переработанными овражной эрозией, высотой до 5 м – в южной долине и 1–2 м – в северной. Боковые моренные гряды имеют высоту над дном до 75 м, постепенно снижаясь вниз по течению ручьев. Флювиогляциальный комплекс рельефа по большей части выражен зандрами, некоторые фрагменты которых формируются в настоящее время в краевых зонах ледников буквально на глазах. Пологие склоны почти полностью перекрыты рыхлым материалом. Они по большей части приурочены к днищам долин и нивальных форм, но также присутствуют (на незначительных площадях в масштабах водосбора) и в местах выхода скальных пород.

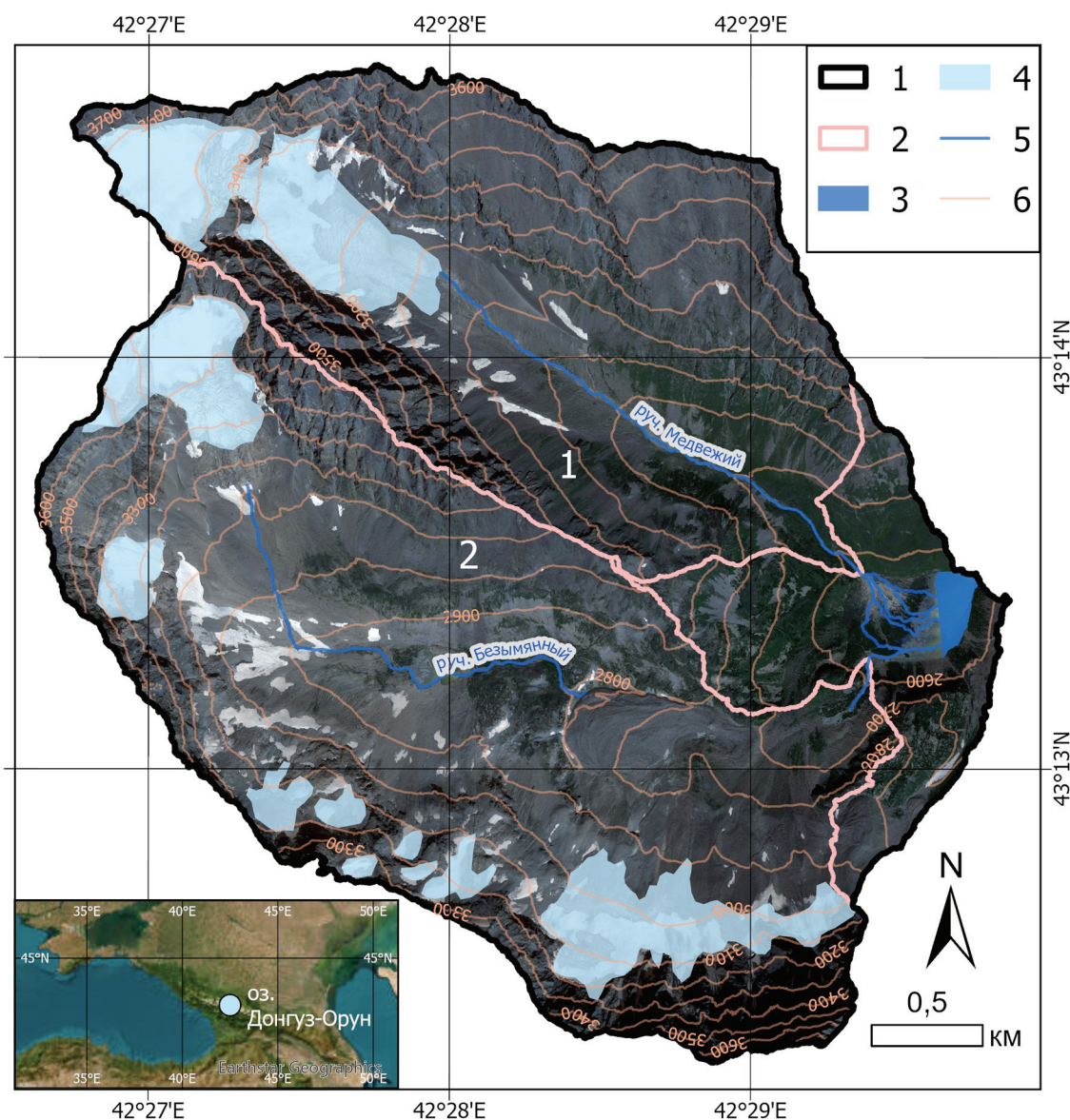


Рис. 1. Положение водосбора оз. Донгуз-Орун: 1 – граница водосбора; 2 – границы суб-водосборов (1 – руч. Медвежий; 2 – руч. Безымянный); 3 – оз. Донгуз-Орун; 4 – ледники (согласно базе данных GLIMS); 5 – ручьи; 6 – изолинии, м над ур. моря

Fig. 1. Location of the Donguz-Orun Lake catchment: 1 – catchment boundary; 2 – sub-catchment boundaries (1 – Medvezhiy Stream; 2 – Nameless Stream); 3 – Donguz-Orun Lake; 4 – glaciers (according to the GLIMS database); 5 – streams; 6 – contours, m a.s.l.

Долины притоков озера при этом имеют различное геоморфологическое строение. Так, долина северного притока представляет собой классическую троговую долину с U-образным поперечным и постепенно выполаживающимся продольным профилем, в то время как для южной долины характерно более сложное устройство. Она была подвержена нескольким центрам оледенения, что привело к формированию ступенчатого продольного профиля и обилию топографических ловушек.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Содержание исследования заключается в дифференцированной по экзогенным процессам оценке локальной и бассейновой денудации водосбора оз. Донгуз-Орун. В работе применяется морфодинамический подход оценки денудации с последующей поправкой на коэффициент доставки наносов (КДН) и заверкой независимыми методами. Применение морфодинамического подхода подразумевает выделение очагов проявления различных экзогенных геоморфологических процессов или их взаимосвязанных групп, проявляющихся на одних и тех же участках. Затем выделенным ареалам присваиваются данные по скорости понижения поверхности (в вертикальной плоскости). Эти скорости могут быть установлены путем непосредственных измерений на стационарах на исследуемых водосборах, либо же на основе анализа опубликованных данных, полученных при проведении исследований для схожих условий. В итоге суммарный объем мобилизуемого материала вычисляется путем умножения площади распространения каждого из исследованных экзогенных процессов на величину понижения поверхности вследствие проявления данного процесса. Этот подход имеет ряд недостатков, о которых будет сказано ниже, в то же время он позволяет получить в первом приближении надежную, интерпретируемую оценку локальной денудации на исследуемом водосборе.

Полученная величина будет превышать бассейновую денудацию, так как чаще всего значительная доля перемещенного материала откладывается в локальных топографических ловушках, иногда – на очень длительный срок. Переход от одной величины (валовой локальной денудации) на водосборе к безвозвратному выносу вещества за пределы водосбора произведен на основе расчета КДН. Данный подход позволяет оценить денудацию на уровне порядка величин. Для верификации результатов произведена оценка темпов седиментации в озерной котловине и применен метод питающих провинций, позволяющий оценить вклад субводосборов в отложения дельты их ручьев.

Картографирование геоморфологических процессов. К числу задействованных в понижении поверхности водосбора фоновых экзогенных геоморфологических процессов относятся ледниковые и водно-ледниковые процессы, обвалы и осыпи, медленные массовые смещения грунта, делювиальный смыв, овражная и русловая эрозия. Карта очагов их распространения была составлена до полевого обследования с использованием стереопары космических снимков WorldView-2 от 31.08.2010 с пространственным разрешением 0,5 м и цифровой модели рельефа (ЦМР) с разрешением 1 м, сгенерированной на основе стереопары. Помимо этого, использовались открытые наборы данных Google Earth за 2009 г. (именно на этот год доступны наиболее свободные от снежного покрова снимки).

По снимкам, ЦМР и ее производным (карта уклонов, экспозиции склонов и др.) выделялись области, обладающие дешифровочными признаками того или иного процесса. Так, крутые участки выходов на поверхность коренных пород классифицировались как области проявления обвально-осыпных процессов. Перекрытые грубообломочным материалом склоны – как ареалы крипа грубообломочного материала. А задернованные травянисто-кустарниковой растительностью и сложенные преимущественно мелкоземом склоны – как ареалы крипа и солифлюкции толщи мелкозема. Свободные от растительного покрова склоны с преимущественно мелкоземистым чехлом относились к контурам плоскостного смыва и ручейковой эрозии в случае нерасчлененного рельефа и к очагам линейной эрозии временных водотоков – в случае наличия врезов от 1 м в поперечнике и отсутствии постоянного стока в теплый сезон. Русловая эрозия постоянных водотоков выделялась при наличии крупных линейных врезов с постоянным стоком в теплый сезон. А ареалы комплекса ледниковых и водно-ледниковых процессов были определены по современному распространению ледяного покрова.

При полевых работах на водосборе оз. Донгуз-Орун была проведена верификация выделенных контуров участков с доминированием того или иного экзогенного процесса, по результатам которой была проведена коррекция карты экзогенных процессов.

Темпы геоморфологических процессов в высокогорьях. Для всех групп процессов характерны те или иные типовые значения скоростей, с которыми эти процессы понижают земную поверхность. На нескольких площадках в пределах высокогорного и среднегорного поясов Кавказа нами были организованы мониторинговые наблюдения за проявлениями обвально-осыпных процессов, крипа и солифлюкции, овражной,

ручейковой и плоскостной эрозии. Наблюдения производились ежегодно в летний сезон, начиная с 2019 г., использованием повторных съемок с беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и наземного лазерного сканера, а также методом шпилек [Kedich et al., 2023; Харченко и др., 2023]. Помимо этого, нами был проанализирован обширный массив опубликованных данных по темпам рассматриваемых процессов в схожих ландшафтно-климатических и геолого-геоморфологических условиях, преимущественно в горах Альпийско-Гималайского пояса.

Особая проблема – оценка вклада медленных массовых смещений грунта в общее понижение поверхности. При мониторинге крипа чаще всего оценивают горизонтальную (мм/год) или объемную (см³/см-год) скорости. Нами был разработан алгоритм, позволяющий рассчитать длину проекции нижних сегментов контуров крипа в направлении вдоль горизонталей, далее объемная скорость умножалась на длину проекции; произведение, полученное на втором шаге, делилось на площадь процесса. В совокупности это дает среднюю величину понижения поверхности на всей площади развития процесса (мм/год). При этом физически поверхность может и не понижаться, если отрицательная составляющая бюджета наносов контура компенсируется положительной (за счет выветривания и поступления наносов сверху).

Транспорт наносов. Сами по себе оценки локальной денудации, полученные путем перемножения площади распространения процессов на темпы понижения поверхности вследствие их проявления, не говорят ничего о понижении поверхности всего водосбора, так как большая часть материала остается в его пределах на более низких гипсометрических уровнях.

Определение соотношения переотложенного внутри водосбора и вынесенного за его пределы материала может быть достигнуто за счет оценки КДН. В данной работе КДН рассчитан на основе индекса связности потоков наносов (IC). Связность потоков наносов (sediment connectivity) – это потенциал каждой отдельной частицы пройти все геоморфологические элементы системы от места ее вовлечения в перемещение до места осаждения посредством транспортирующей силы какого-либо геоморфологического процесса [Borselli et al., 2008; Cavalli et al., 2013].

IC для каждой i -й ячейки ЦМР был рассчитан на основе подхода [Borselli et al., 2008], адаптированного к горным условиям [Cavalli et al., 2013], с использованием утилиты SedInConnect 2.3 [Crema, Cavalli, 2018] со скользящим окном 5×5 м для оценки индекса шероховатости (см. ниже):

$$IC_i = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right) = \log_{10} \left(\frac{\bar{W} \bar{S} \sqrt{A}}{\sum_i \frac{d_i}{W_i S_i}} \right), \quad (1)$$

где D_{up} – компонент вышележащей территории, \bar{W} и \bar{S} – средние значения фактора сопротивления к переносу наносов (безразмерная величина) и уклона вышележащей области (м/м), A – площадь вышележащей области (м²); D_{dn} – компонент нижележащей области, d_i – длина (м) пути вдоль i -й клетки, W_i и S_i – фактор сопротивления к переносу наносов (безразмерная величина) и уклон (м/м) i -й клетки.

Весовой коэффициент выражается следующим образом:

$$W = 1 - \left(\frac{RI}{RI_{max}} \right), \quad (2)$$

где RI – индекс шероховатости поверхности на исследуемой территории (м), RI_{max} – максимальное значение индекса шероховатости на исследуемой территории (м).

Индекс шероховатости рассчитывается как стандартное отклонение остаточной топографии в масштабе нескольких метров, где остаточная топография – это разница между исходной ЦМР и ее сглаженной версией. В свою очередь, сглаженная версия ЦМР – это среднее значение высоты исходной ЦМР для скользящего окна $n \times n$ клеток [Cavalli et al., 2013]. Таким образом, индекс шероховатости рассчитывается следующим образом:

$$RI = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n^2} (x_i - x_m)^2}{n^2}}, \quad (3)$$

где n^2 – количество клеток в скользящем окне, x_i – значение высоты для i -й клетки в скользящем окне (м), x_m – среднее значение высоты для n^2 клеток (м).

А значения КДН были получены по формуле, предложенной [Vigiak et al., 2012]:

$$SDR_{Cavalli, i} = \frac{SDR_{max}}{1 + \exp \left(\frac{IC_0 - IC_i}{k} \right)}, \quad (4)$$

где $SDR_{Cavalli, i}$ – значение КДН i -й ячейки ЦМР, SDR_{max} – теоретически максимальная объемная доля наносов с размерностью песка или мельче (т. е. доступная к транспортировке в фоновых условиях ежегодного снеготаяния или сильных, хотя и не экстраординарных, ливней); IC_i – значение индекса связности потоков наносов i -й ячейки; IC_0 – базовое значение индекса связности потоков наносов, калибруемый параметр (при IC_i выше IC_0 преобладает вынос и транзит наносов, ниже – аккумуляция; в данной работе принят $IC_0 = 0,5$ [Borselli et al., 2008]); k – коэффициент, отвечающий нелинейности связи между IC_i [Cavalli et al., 2013] и КДН (чем он ниже, тем более резок скачок в доле доставляемых

в приемный бассейн наносов из их мобилизованной массы; в данной работе он принят равным 1).

Темпы седиментации в озерной котловине. Точный возраст образования озера достоверно неизвестен, в то же время получены лихенометрические датировки существующего ныне моренного вала, формирующего подпруды, которые позволяют оценить его возраст в интервале от 350 до 700 лет [Solomina et al., 2016]. Исходя из предположения, основанного на изучении продольного профиля ниже по течению, а также продольных профилей соседних долин, где на соответствующих отметках нет подпора, можно допустить, что имеющийся здесь выпуклый перегиб профиля – не структурно-геоморфологическая особенность, а исключительно подпор. Последнее позволяет аппроксимировать неизменную часть профиля классическим экспоненциальным уравнением вида:

$$Z = Int + a \cdot \exp^{cX}, \quad (5)$$

где Int – уровень базиса эрозии при нулевом значении X (м), X – длина профиля (м), a – мера, пропорциональная уклону – стартовый уклон (м), c – кривизна профиля, мера его вогнутости (1/м) [Hack et al., 1957].

Восстановив таким способом (разумеется, только приближенно) исходные отметки тальвега долины, возможно реконструировать поверхность днища, продлив профиль склонов (бортов озерной котловины) до тальвега. Наиболее геоморфологически обоснованные оценки связаны с реконструкцией продольного профиля и использованием для интерполяции метода *thin plate splines*, традиционно используемого для интерполяции параметров вдоль линейных объектов (например, в ArcGIS – в инструменте *Toro to Raster* – для конвертации оцифрованных горизонталей в ЦМР). Предполагается, что до того, как озерная котловина приобрела изометричную форму, это была древняя ледниковая долина, освоенная постоянным водотоком.

Метод питающих провинций. Метод питающих провинций в осадочной геологии и геоморфологии (он же метод отпечатка пальцев или *sediment source fingerprinting* в зарубежной литературе) – это подход, используемый для выявления и распределения источников отложений в пределах водосбора какой-либо конкретной точки или речного бассейна. Он позволяет установить долевого вклад участков водосбора, различающихся по своим геохимическим и минералогическим свойствам, и формирующих сток наносов, поступающих в итоге в его замыкающий створ. В контексте изучения денудации этот метод важен потому, что позволяет по эмпирическим данным, полученным в поле и лаборатории, калибровать теоретические модели скорости денудации на водосборе.

Рассматриваемый подход выявления долевого вклада различных источников наносов был применен по процедуре, подробно описанной в [Collins et al., 2017], он же метод поиска питающих провинций. Расчет выполнен с использованием геохимического и минералогического состава образцов, отобранных в пределах различных геологических комплексов на водосборе озера, в качестве трассеров источников стока наносов, поступающих в водоем. Во время полевого обследования были отобраны 83 образца грунта: 6 – с поверхности дельты и 77 – с различных участков водосбора (рис. 2). В качестве мишени (позиции на дельте, относительно которой велся расчет) использовались осредненные данные геохимического и минералогического состава шести позиций отбора образцов на периферии дельты, а также для всех образцов на дельте в совокупности.

Образцы грунта отбирались с поверхности до глубины 3–5 см. В лабораторных условиях они были высушены при температуре 105°C, истолчены и просеяны для отбора частиц размерностью менее 0,25 мм. Такой размер частиц выбран, так как он доминирует среди взвешенных наносов водотоков [Collins et al., 2017; Lizaga et al., 2019].

Геохимический состав образцов определен в ИПТЭ РАН в соответствии с процедурой ISO/TS 18705:2015 [Borgese et al., 2013]. Для этого навески проб (каждая 200–500 мг) высушивались в микроволновой печи высокого давления MARS 5 при температуре 240°C и максимальном давлении 5,52 МПа (800 psi). Далее, используя спектрометр PicoTax TXRF, для каждого образца был выполнен рентгенофлуоресцентный анализ.

Минералогический состав выявлялся на геологическом факультете МГУ с использованием рентгеновского дифрактометра RIGAKU MINIFLEX 600 при следующих условиях съемки: X-Ray излучение K_{Cu} альфа, напряжение – 40 кВ, ток – 15 мА, скорость съемки – 5,0000 °/мин, гониометр – MiniFlex 300/600, шаг съемки – 0,0200 °/мин, интервалы съемки – 3,0000 – 70,0000°, ограничивающие щели – 10,0 мм и 6,0 мм, детектор – D/teX Ultra2, режим съемки – непрерывный. Валовой минералогический состав определялся для навески пробы (3,0 г), которую истирали до состояния тонкой пудры (около 0,01 мм). Полученным порошком заполняли кювету диаметром 20 мм и толщиной 2 мм и производили съемку на дифрактометре Rigaku Miniflex-600. Определение минеральных фаз и их соотношение в пробе проводилось с помощью программы MATCH по методике RIR (корундовое число). В итоге было получено процентное содержание всех минеральных фаз в образцах.

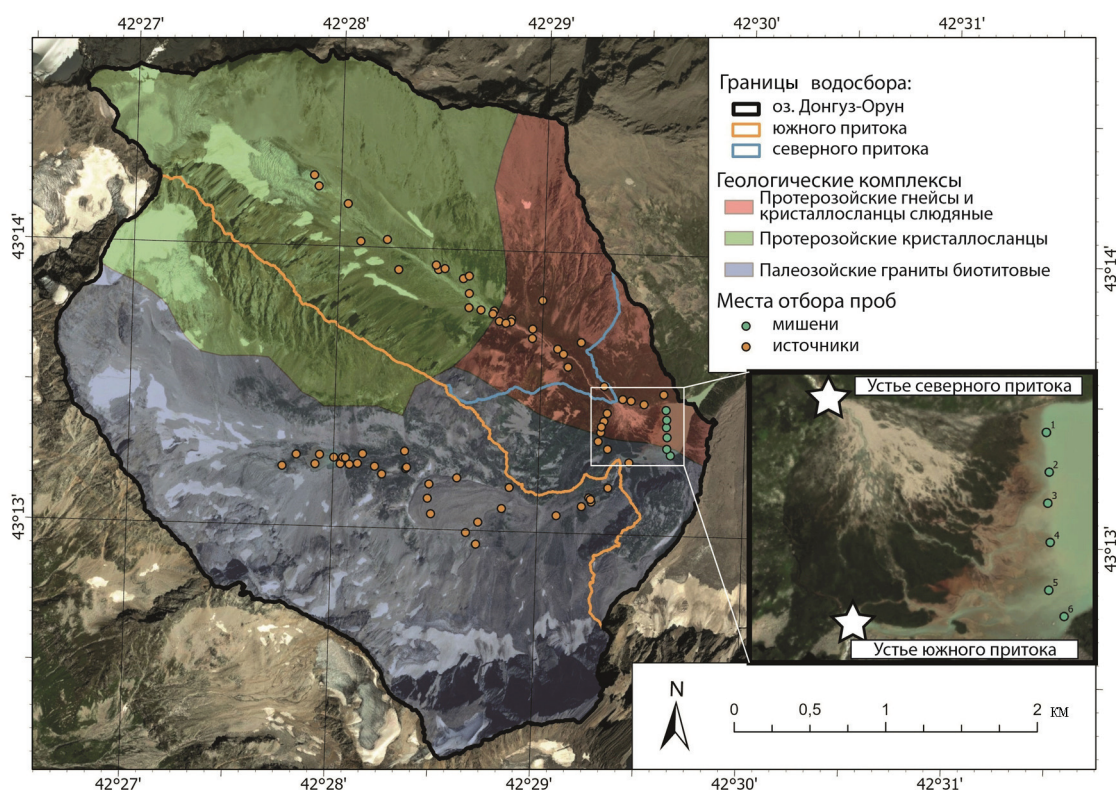


Рис. 2. Потенциальные источники наносов на водосборе оз. Донгуз-Орун и положение точек отбора проб рыхлого материала

Fig. 2. Potential sediment sources of the Donguz-Orun Lake catchment and sediment sampling points

Определение оптимального набора трассеров и расчет относительного вклада отдельных источников наносов в конечный осадок были выполнены с использованием библиотеки FingerPro языка R. Для проверки отличий геохимического и минералогического состава образцов, характеризующих различные источники, был выполнен линейный дискриминантный анализ (ЛДА). Оптимальный набор трассеров (позволяющий наилучшим образом отличить источники друг от друга) определялся в три шага в соответствии с рекомендациями из предшествующих исследований [Collins et al., 1996; Lizaga et al., 2019; Walling, 2005]. Во-первых, производилось сравнение диапазона значений в образцах источников и мишени [Lizaga et al., 2019]. Трассеры мишени, выбивающиеся из диапазона в источниках, удалялись из последующего расчета. Во-вторых, используя непараметрический критерий Краскела-Уоллиса, были отсеяны трассеры, не показывающие существенных (p -value > 0,05) отличий между потенциальными источниками [Walling, 2005]. В-третьих, для отобранных на предыдущих шагах трассеров, был выполнен пошаговый многомерный анализ дискриминантных функций в соответствии с подходом, изложенным в [Collins et al., 1996]. Вклад отдельных источников определялся относительно оптимальных

трассеров при использовании многомерной модели размешивания на основе метода Монте Карло [Collins et al., 2017; Gaspar et al., 2019]. Для проверки качества модели размешивания использовался критерий GOF (goodness-of-fit), предложенный в [Motha et al., 2003] и наиболее часто используемый в работах по выявлению вклада источников наносов [Evrard et al., 2011; Lizaga et al., 2019; Pulley, Collins, 2018]. Данный критерий сравнивает среднее квадратическое значение относительных ошибок между предсказанными и действительными концентрациями трассера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Преобладающие площади, за вычетом подледниковых геоморфологических процессов, представлены поверхностями, сложенными разнородным обломочным материалом, подверженным крипу и сезонной солифлюкции (почти треть территории), лишь несколько уступают весьма крутые поверхности с развитием собственно гравитационных процессов обвалов и осыпей, широко распространены и эрозионные процессы (табл. 1, рис. 3). Последние представлены преимущественно делювиальным смывом, в силу малого проективного покрытия поверхности растительностью.

Таблица 1

Распределение площадей основных групп современных экзогенных процессов и условно стабильных поверхностей на водосборе оз. Донгуз-Орун

№ п/п	Группы процессов	Площадь, км²		
		Весь водосбор	Долина северного притока	Долина южного притока
1	Обвалы и осыпи	3,4	1,5	1,9
2	Крип толщи грубообломочного материала	2,3	1,5	0,7
3	Крип и солифлюкция толщи мелкозема	1,8	0,6	0,5
4	Эрозионно-аккумулятивные процессы в руслах, на поймах и дельтах	0,3 (из них русла – 0,08)	0,05 (из них русла – 0,01)	0,05 (из них русла – 0,01)
5	Линейная эрозия временных водотоков	0,7	0,3	0,4
6	Плоскостная и ручейковая эрозия	2,2	0,2	1,9
7	Озерная аккумуляция	0,06	–	0,02
8	Комплекс ледниковых и водно-ледниковых процессов	1,7	0,7	1
Условно стабильные поверхности		0,6	0,1	0,5

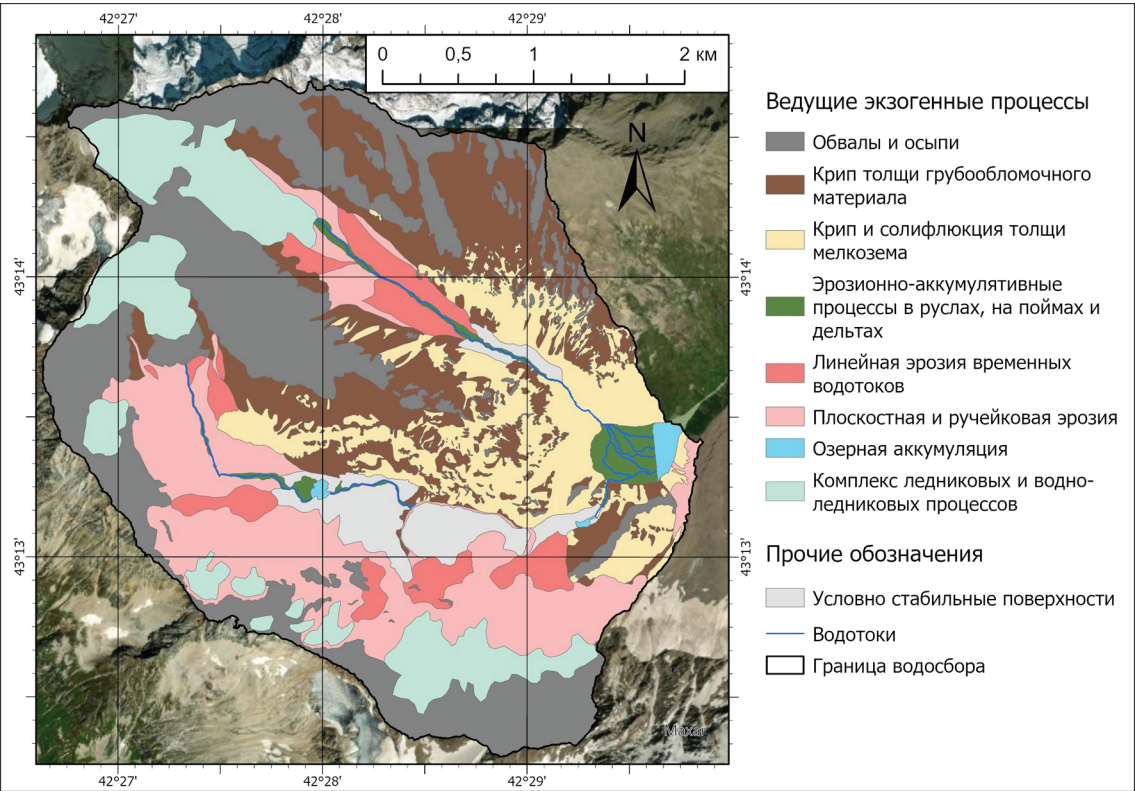


Рис. 3. Ведущие современные экзогенные процессы на водосборе оз. Донгуз-Орун

Fig. 3. Key earth surface processes of the Donguz-Orun Lake catchment

В верховьях водосбора основными агентами денудации являются ледниковая экзарация и обвально-осыпные процессы в верхних частях склонов хребтов. На недавно освободившихся от ледников поверхностях, перекрытых моренным чехлом и обвально-осыпным материалом, развивается плоскостная эрозия и крип грубообломочного матери-

ала. Там, где по этим склонам пошли растительные сукцессии, поверхность постепенно закрепляется травянисто-кустарниковой растительностью, а среди процессов начинают доминировать крип и солифлюкция толщи мелкозема.

Вместе с этим в днищах троговых долин возникают постоянные водотоки, вырабатывающие тер-

расовидные поверхности валунно-гаченых пойм. Сравнительно небольшая площадь затронута развитием линейной эрозии. Это, как правило, крутые, изначально аккумулятивные склоны моренных валов и перекрытые сравнительно мелкообломочной мореной ледниковые экзарационные и эрозионные склоны. Устойчивые, геоморфологически неактивные поверхности нарастают по мере движения к нижним частям долин двух ручьев, затем на склонах озерной котловины они резко выклиниваются. Почти вся эта поверхность подвержена медленным массовым смещениям рыхлообломочного материала.

При принятых скоростях суммарный объем мобилизуемого за год материала составляет $29\,300\text{ м}^3$, что соответствует слою денудации (без учета перетолжения) $2,2\text{ мм/год}$ на весь водосбор. При среднем по водосбору коэффициенте доставки наносов 58% (рис. 4) итоговый ежегодный объем выносимого на дельту, дно озера или вообще за пределы водосбора материала должен составлять порядка

$17\,000\text{ м}^3$, а слой денудации с поправкой на аккумуляцию $1,3\text{ мм/год}$.

Среди фоновых процессов наиболее значимый вклад в современную денудацию вносят линейная эрозия временных водотоков, делювиальный смыл, обвально-осыпные, ледниковые и водно-ледниковые процессы (табл. 2). В совокупности на указанные процессы приходится 99% стока наносов. При этом ключевое значение имеют эрозионные процессы (линейная и плоскостная эрозия), протекающие во время стокоформирующих осадков и снеготаяния на обширных пространствах не закрепленных растительностью моренных тел преимущественно мелкоземистого состава. Их доля в бассейновой денудации составляет почти 80% . Ощутимо меньший, но тем не менее весомый вклад приходится на обвально-осыпные, ледниковые и водно-ледниковые процессы. На оставшиеся процессы приходится менее 1% вклада в сток наносов, что связано с их низкими темпами, не смотря на широкий (для медленных массовых движений) пространственный охват.

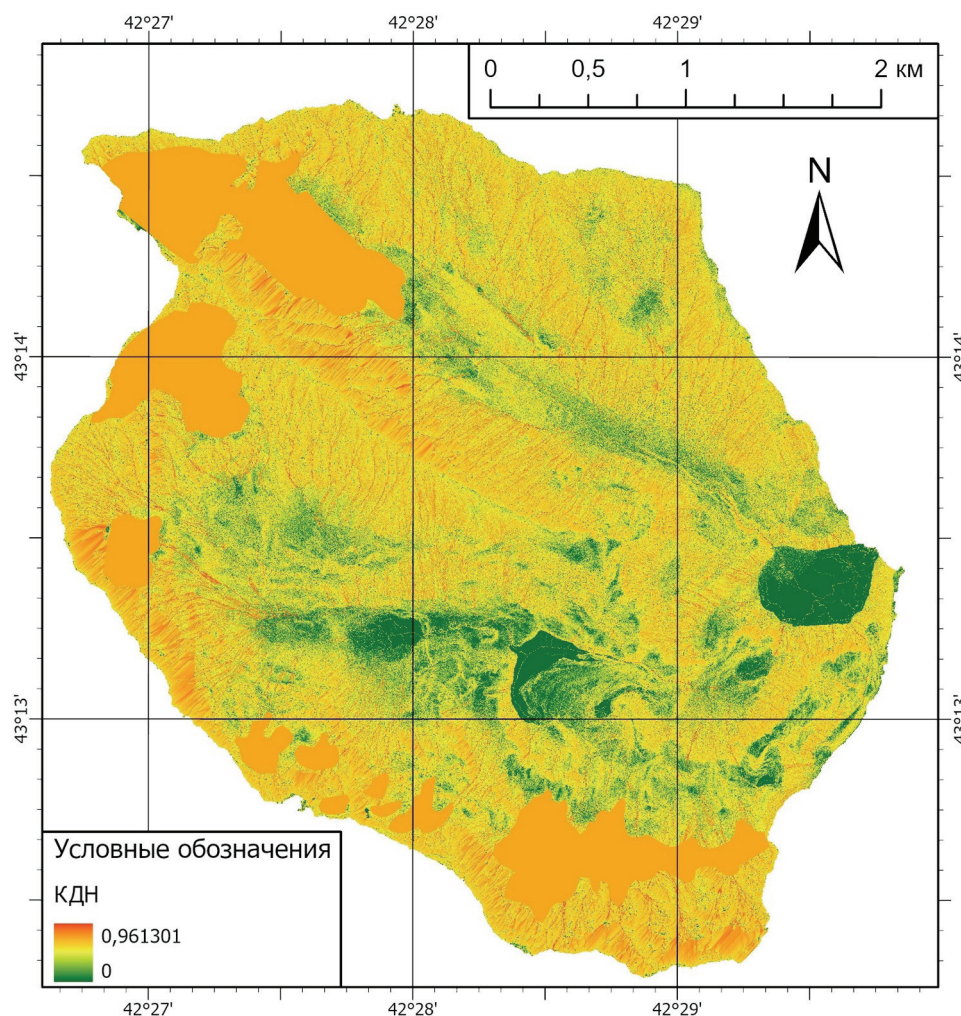


Рис. 4. Коэффициент доставки наносов на водосборе руч. Джанкуат

Fig. 4. Sediment delivery ratio of the Donguz-Orun Lake catchment

Таблица 2

Вклад основных групп процессов в мобилизацию и вынос материала на водосборе оз. Донгуз-Орун

№ п/п	Группы процессов	Объем мобилизуемого материала, м³ (%)	Объем выноса с поправкой на аккумуляцию, м³ (%)
1	Комплекс ледниковых и водно-ледниковых процессов	1620 (5,5)	1460 (8,6)
2	Крип и солифлюкция толщи мелкозема	18 (<< 1)	11 (<< 1)
3	Крип толщи грубообломочного материала	193 (< 1)	106 (< 1)
4	Обвалы и осыпи	2980 (10,2)	1860 (10,9)
5	Линейная эрозия временных водотоков	21 120 (72)	11 476 (67,5)
6	Плоскостная и ручейковая эрозия	3340 (11,4)	2080 (12,2)
7	Эрозионно-аккумулятивные процессы в руслах, на поймах и дельтах	29 (<< 1)	7 (<< 1)
Общий объем		29 300 (100)	17 000 (100)

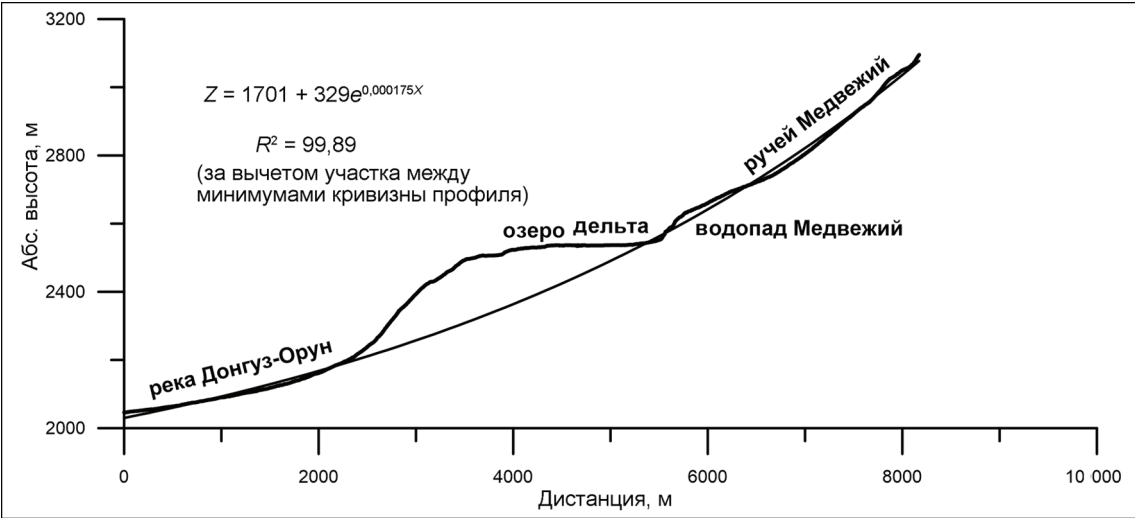


Рис. 5. Продольный профиль р. Донгуз-Орун и одного из притоков, а также аппроксимация его классическим экспоненциальным уравнением для продольных профилей рек

Fig. 5. Longitudinal profile of the Donguz-Orun River, and one of its tributaries and its approximation by exponential equation for river longitudinal profiles

Оценка объемов наносов в озерной котловине по восстановлению продольного профиля долин ручьев (рис. 5) указывает, что за время существования подпруды в озере накопилось около 4985 тыс. м³, что соответствует темпам денудации в 7120–14240 м³/год или 0,54–1,07 мм/год при возрасте подпруды 350 или 700 лет.

Другие контрольные данные – соотношение денудации в долинах притоков озера и по результатам применения метода питающих провинций. Линейный дискриминантный анализ показал, что геохимический и минералогический состав отложений позволяет отличить геологические комплексы друг от друга. В качестве оптимальных трассеров (с одной стороны, различающихся для двух долин,

что позволяет проводить сепарацию, а с другой стороны, подтверждающих прогнозы друг друга – т. н. единичные модели и определение консенсуса трассеров) были определены медь, цинк, калиевый полевой шпат и плагиоклаз. А в результате применения модели размешивания были установлены следующие значения относительного вклада каждого из геологических комплексов в отложения дельты Донгуз-Орун (GOF – 72%):

- 1) протерозойские гнейсы и кристаллосланцы слюдяные – 57%;
- 2) протерозойские кристаллосланцы – 12%;
- 3) палеозойские граниты биотитовые – 31%.

Поскольку геологические комплексы практически полностью соответствуют водосборам долин

ручьев (см. рис. 3), получаем, что вклад южного притока составляет 31%, северного – 69%. С поправкой на то, что 25,75% площади комплекса протерозойских гнейсов и кристаллосланцев слюдяных попадает в южную долину, вклад притоков получается следующим: северная долина – 54%, южная – 46%.

Нужно понимать, что реальные скорости экзогенных процессов очень сильно дифференцированы во времени и по площади и зависят от огромного числа факторов. Тем не менее ориентировочные оценки позволяют получить порядковые значения интенсивности денудации, с оговоркой, что реальные ожидаемые значения – в том же порядке величин.

Полученная на основе использования морфодинамического подхода с учетом КДН величина (1,3 мм/год) выше самой высокой оценки интенсивности аккумуляции вещества в озерной котловине (0,54–1,07 мм/год в зависимости от возраста озера), но с возможной поправкой на вынос взвешенного материала, который на таких водосборах может достигать $\frac{2}{3}$ объема вещества, представляется адекватной оценкой интенсивности общей денудации на водосборе.

Накопление мелкой фракции наносов в краевой части дельты вблизи озера происходит в фоновых условиях стока, а иногда и незначительного подъема (на десятки сантиметров) уровня воды. А вот наносы центральной части дельты, грубые, с включениями до глыб и валунов, несортированные, по всей видимости, имеют селевой генезис. При том что по абсолютной величине в формировании этой части дельты (или, вернее, даже конуса выноса, если в его формировании значительное место занимают селевые, а не флювиальные процессы) большую роль играет руч. Медвежий, однако, вклад руч. Безымянного несколько увеличивается. Объяснение этому может быть в том, что в долине последнего есть ряд топографических ловушек, снижающих транспортирующую способность потоков и полноценно работающих в качестве транзитных зон, видимо, только во время событий катастрофического стока наносов (селей и селевых паводков), за счет которых, в основном, и сформирован конус выноса на дельте.

В то же время оценка соотношения денудации и выноса вещества между двумя долинами по скоростям ведущих экзогенных процессов показывает, что долина Медвежьего должна поставлять (при современном пространственном рисунке экзогенных процессов) около 40% наносов, а долина Безымянного – около 60%. Вероятно, основная причина этого – в недостатках подхода к оценке коэффициента доставки наносов. Недостатки эти пока не преодолены, хотя в научных кругах идут дискуссии [Messenzehl et al., 2014]. А именно, оценка КДН по индексу связности потоков наносов предполагает

изначальную гидрологическую коррекцию ЦМР, цель которой – устранить топографические ловушки на модели высот, вне зависимости от того, артефакты это или нет. В результате для водосборов с наличием (а тем более каскадами) таких топографических ловушек реальный коэффициент доставки наносов оказывается завышенным. Если опираться на результаты применения метода питающих провинций (соотношение северной и южной долин ~ 54 к 46), то реальный коэффициент доставки наносов из южной долины должен быть примерно в 1,4 раза меньше вычисленного (порядка 38–39% вместо 54%). И ежегодно из мобилизуемых в южной долине 19 000 м³ на склонах и в ловушках должно оставаться в среднем 11 700 м³ (из них «избыточно», сверх оценки, тормозиться в топографических ловушках 3000 м³).

Если описанная выше коррекция верна, то из обеих долин в озерную котловину поступает ежегодно суммарно (с учетом и долин, и бортов озерной котловины) около 14 000 м³ (вместо 17 000 м³), что позволяет оценить среднегодовые темпы денудации водосбора в 1,05 мм. Эта величина вписывается в интервал оценок по объему озерных осадков оз. Донгуз-Орун 0,54–1,07 мм/год и свидетельствует скорее о том, что подпор возник скорее ближе к оценке в 350, нежели в 700 лет, что логично объясняется положением максимума похолодания Малого ледникового периода (и, вероятно, продвижения ледников) 300–400 лет назад.

Однако, приведенные оценки нельзя распространять на отдаленное прошлое, что связано с изменениями во времени площадей развития процессов и их темпов. Современная конфигурация распространения процессов отражает только последние несколько десятилетий. Касательно изменений в будущем, можно сказать, что ожидается постепенное снижение доли ледниковых и водно-ледниковых процессов в стоке наносов, что напрямую связано с постепенным сокращением площади оледенения; увеличение доли обвально-осыпных процессов за счет нарастания площадей открытых скальных стен на освобождаемых ото льда участках; уменьшение доли линейной эрозии временных водотоков за счет постепенного закрепления моренных валов травянисто-кустарниковой растительностью.

Сравним полученные результаты с данными по Альпам и Гималаям. В работе [Delunel et al., 2020] проанализированы скорости позднелеистоценовой денудации 375 водосборов. Полученные скорости бассейновой денудации варьируют от 14 до 7585 мм/тыс. лет. Медианное значение составляет 414 мм/тыс. лет, но необходимо подчеркнуть, что это медианное значение из выборки, включающей в том числе значительные по площади бассейны,

охватывающие как средне- и низкогогорья, так и равнинные участки. В осевой зоне Альп преобладают бассейны со скоростями денудации в интервале 1–1,5 мм/год и более 1,5 мм/год.

В базе данных [Hinderer et al., 2012] с соавторами приведены современные скорости денудации для 197 объектов. Среднее значение скорости денудации составляет 0,3 мм/год, медианное – 0,2 мм/год. В то же время для тех водосборов, которые по своим характеристикам близки к водосбору оз. Донгуз-Орун, характерны весьма высокие скорости денудации. Так, наиболее «похожа» (площадь 12 км², минимальная высота – 2560 м, максимальная высота – 3868 м) на исследованные водосборы по площади, минимальной и максимальной высоте долина ледника д'Аролла в Швейцарских Альпах в 12 км к западу от г. Маттерхорн. Измеренные скорости денудации составили 2,87 мм/год на годичном интервале времени. Однако, уже следующие две «похожие» долины – обе также в швейцарской части Альп – дали результаты 0,38 мм/год (Bertol Interieur, Val d'Hérens, площадь 8 км², мин. высота 2250 м, макс. высота 3796 м) и даже 0,15 мм/год (Moiry, Val d'Anniviers, площадь 30 км², мин. высота 2249 м, макс. высота 3845 м). Видимо, вариативность возможной скорости денудации находится в высокой зависимости от локальных факторов (литология/петрография, доля водосбора под ледниками, характер морфологии долин в первую очередь продольного профиля и т. д., крутизна склонов, связность потоков наносов или их прерывистость, проективное покрытие растительности, гипсометрический индекс).

В работе [Godard et al., 2014] представлены результаты оценок денудации для 30 водосборов за последние 300–6000 лет в Центральном Непале на основе концентрации ¹⁰Be в речных отложениях. Авторы заключили, что средние темпы возрастают от 0,5 мм/год в Малых Гималаях до 2–3 мм/год в Больших Гималаях. Схожие величины получены для Дальнезападного региона Непала, где темпы денудации варьируют от 0,5 до 3,3 мм/год [Ojha et al., 2019].

Тем самым полученные для исследованного водосбора оценки несколько выше средних для аналогичных водосборов в Альпах. Более высокие значения можно объяснить в целом более высокой энергией рельефа. В то же время средние темпы денудации в наиболее возвышенной осевой части Гималаев существенно превосходят значения темпов денудации, полученные для водосбора озера Донгуз-Орун.

ВЫВОДЫ

В условиях отсутствия натурных данных о стоке наносов на замыкающих створах высокогорных водосборов оценка темпов денудации может быть осуществлена при совместном применении геоморфологического картографирования, пространственного анализа и привлечении опубликованных данных о скоростях экзогенных процессов. Данный подход ограничен точностью оценки на уровне порядка величины, однако позволяет сепарировать суммарную денудацию по вкладам отдельных процессов.

Основной вклад в локальную и бассейновую фоновую денудацию водосбора оз. Донгуз-Орун вносят флювиальные (преимущественно линейная эрозия временных водотоков и делювиальный смыл), обвально-осыпные, ледниковые и водно-ледниковые процессы.

Ежегодно фоновыми экзогенными процессами на водосборе озера Донгуз-Орун перераспределяется порядка 29 300 м³ материала, что соответствует слою денудации (без учета переотложения) 2,2 мм/год. Однако только около 60% мобилизуемого материала поступает в его замыкающий створ (дельту и собственно озеро), что связано с обилием топографических ловушек наносов в днищах каров и долин.

Бассейновая денудация водосбора оз. Донгуз-Орун (1,05–1,3 мм/год) превышает среднее значение для высокогорной зоны Альп, но статистически значимых отличий от него не имеет и укладывается в диапазон характерных значений.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 23-77-01027.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Письменный А.Н., Пичужков А.Н., Зарубина М.А. и др. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 200 000. Издание второе, серия Кавказская, листы К-38-I, VII (Кисловодск). Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2004, С. 275.
- Харченко С.В., Голосов В.Н., Цыпленков А.С. и др. Темпы современной денудации малого водосбора в среднегорном поясе Большого Кавказа (на примере водосбора Гитче-Гижгит) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5.

- Геогр. 2023. № 3. С. 38–51. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.4.
- Beniston M. Mountain climates and climatic change: an overview of processes focusing on the European Alps, *Pure and Applied Geophysics*, 2005, vol. 162(8–9), p. 1587–1606, DOI: 10.1007/s00024-005-2684-9.
- Borgese L., Federici S., Zacco A. et al. Metal fractionation in soils and assessment of environmental contamination in Vallecamonica, Italy, *Environmental Science and Pol-*

- lution Research, 2013, no. 7(20), p. 5067–5075, DOI: 10.1007/s11356-013-1473-8.
- Borselli L., Cassi P., Torri D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment, *Catena*, 2008, no. 3(75), p. 268–277, DOI: 10.1016/j.catena.2008.07.006.
- Cavalli M., Trevisani S., Comiti F. et al. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments, *Geomorphology*, 2013, vol. 188, p. 31–41, DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.05.007.
- Collins A.L., Pulley S., Foster I.D. et al. Sediment source fingerprinting as an aid to catchment management: A review of the current state of knowledge and a methodological decision-tree for end-users, *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 194, p. 86–108, DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.09.075.
- Crema S., Cavalli M. SedInConnect: a stand-alone, free and open source tool for the assessment of sediment connectivity, *Computers & Geosciences*, 2018, vol. 111, p. 39–45, DOI: 10.1016/j.cageo.2017.10.009.
- Delunel R., Schlunegger F., Valla, P.G. et al. Late-Pleistocene catchment-wide denudation patterns across the European Alps, *Earth-Science Reviews*, 2020, vol. 211, p. 103407, DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103407.
- Evrard O., Navratil O., Ayrault S. et al. Combining suspended sediment monitoring and fingerprinting to determine the spatial origin of fine sediment in a mountainous river catchment, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2011, vol. 36(8), p. 1072–1089, DOI: 10.1002/esp.2133.
- Gaspar L., Blake W.H., Smith H.G. et al. Testing the sensitivity of a multivariate mixing model using geochemical fingerprints with artificial mixtures, *Geoderma*, 2019, vol. 337, p. 498–510, DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.10.005.
- Gilbert A., Vincent C. Atmospheric temperature changes over the 20th century at very high elevations in the European Alps from englacial temperatures, *Geophysical Research Letters*, 2013, vol. 40, no. 10, p. 2102–2108, DOI: 10.1002/grl.50401.
- Godard V., Bourles D.L., Spinabella F. et al. Dominance of tectonics over climate in Himalayan denudation, *Geology*, 2014, no. 3(42), p. 243–246, DOI: 10.1130/G35342.1.
- Hartmann D.L., Tank A.M.G.K., Rusticucci M. et al. Observations: Atmosphere and surface, *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2013, (9781107057999), p. 159–254, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.008.
- Hinderer M. From gullies to mountain belts: A review of sediment budgets at various scales, *Sedimentary Geology*, 2012, vol. 280, p. 21–59, DOI: 10.1016/j.sedgeo.2012.03.009.
- Kedich A., Kharchenko S., Tsyplenkov A. et al. Lateral moraine failure in the valley of the Djankuat Catchment (Central Caucasus) and subsequent morphodynamics, *Geomorphology*, 2023, vol. 441, p. 108896, DOI: 10.1016/j.geomorph.2023.108896.
- Lizaga I., Gaspar L., Blake W.H. et al. Fingerprinting changes of source apportionments from mixed land uses in stream sediments before and after an exceptional rainstorm event, *Geomorphology*, 2019, vol. 341, p. 216–229, DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.05.015.
- Messenzehl K., Hoffmann T., Dikau R. Sediment connectivity in the high-alpine valley of Val Mütschans, Swiss National Park – linking geomorphic field mapping with geomorphometric modeling, *Geomorphology*, 2014, vol. 221, p. 215–229, DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.05.033.
- Motha J.A., Wallbrink P.J., Hairsine P.B. et al. Determining the sources of suspended sediment in a forested catchment in southeastern Australia, *Water resources research*, 2003, vol. 39(3), p. 1056, DOI: 10.1029/2001WR000794.
- Ojha L., Ferrier K.L., Ojha T. Millennial-scale denudation rates in the Himalaya of Far Western Nepal, *Earth Surface Dynamics*, 2019, no. 4(7), p. 969–987, DOI: 10.5194/esurf-7-969-2019.
- Pepin N., Bradley R.S., Diaz H.F. et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world, *Nature Climate Change*, 2015, vol. 5(5), p. 424–430, DOI: 10.1038/nclimate2563.
- Pulley S., Collins A.L. Tracing catchment fine sediment sources using the new SIFT (Sediment Fingerprinting Tool) open source software, *Science of The Total Environment*, 2018, vol. 635, p. 838–858, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.126.
- Solomina O., Bushueva I., Dolgova E. et al. Glacier variations in the Northern Caucasus compared to climatic reconstructions over the past millennium, *Global and Planetary Change*, 2016, vol. 140, p. 28–58, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2016.02.008.
- Tashilova A.A., Ashabokov B.A., Kesheva L.A. et al. Analysis of climate change in the Caucasus region: End of the 20th-beginning of the 21st century, *Climate*, 2019, no. 1(7), p. 11, DOI: 10.3390/cli7010011.
- Tielidze L.G., Wheate R.D. The Greater Caucasus Glacier Inventory (Russia, Georgia and Azerbaijan), *The Cryosphere*, 2018, no. 1(12), p. 81–94, DOI: 10.5194/tc-12-81-2018.
- Toropov P.A., Aleshina M.A., Grachev A.M. Large-scale climatic factors driving glacier recession in the Greater Caucasus, 20th–21st century, *International Journal of Climatology*, 2019, vol. 39, no. 12, p. 4703–4720, DOI: 10.1002/joc.6101.
- Vigiak O., Borselli L., Newham L.T.H. et al. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio, *Geomorphology*, 2012, no. 1(138), p. 74–88, DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.08.026.
- Walling D.E., Webb B.W. Erosion and Sediment Yield: A Global Overview, *Proceedings of the Exeter Symposium*, 1996, p. 2–20.
- Электронный ресурс
Hack J.T., Seaton F.A., Nolan T.B. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland, *Professional Paper*, 1957, vol. 294, 95 p., URL: <https://pubs.usgs.gov/pp/0294b/report.pdf>.

Поступила в редакцию 11.12.2024

После доработки 05.03.2025

Принята к публикации 20.05.2025

PRESENT-DAY DENUDATION OF A SMALL ALPINE CATCHMENT OF THE DONGUZ-ORUN LAKE

M.I. Uspenskii¹, S.V. Kharchenko², A.S. Tsyplenkov³, M.M. Ivanov⁴, V.N. Golosov⁵

¹ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Geochemistry of Natural Waters*

^{1, 3–5} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes*

² *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography*

¹ *Junior Scientific Researcher, Post-Graduate Student; e-mail: maksimuspenskii@gmail.com*

² *Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: xar4enkkoff@yandex.ru*

³ *Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: atsyplenkov@gmail.com*

⁴ *Senior Scientific Researcher; Ph.D. in Geography; e-mail: ivanovm@igras.ru*

⁵ *Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: golossov@gmail.com*

Sediment dynamics in alpine catchments is highly variable both in time and space which should be considered in nature management. The study deals with investigation of the alpine catchment of the Donguz-Orun Lake, located on the northern slope of the Central Caucasus. We followed a morphodynamic approach to assess the denudation rate, which was supported by sediment delivery ratio assessment and two independent methods to verify the results. It was found that about 29,300 m³ of material is mobilized annually by the background exogenous geomorphologic processes in the catchment, corresponding to a local denudation rate of 2,2 mm/year. However, with an average sediment delivery ratio of 58%, only about 17,000 m³ reaches the catchment outlet, corresponding to the basin-wide denudation rate of 1,3 mm/year. Most of the sediment load in the lake basin is supplied by fluvial processes, predominantly gully erosion and sheet wash, as well as rock falls, glacial, and fluvio-glacial processes. Verification by independent methods, including estimation of sediment volume in the lake basin and the sediment fingerprinting technique, showed that used approach did overestimate the basin denudation volume by about 3000 m³. The total denudation of the catchment under study exceeds the average value for the high mountain zone of the Alps.

Keywords: exogenous processes, sediment budget, sediment delivery ratio, sediment connectivity, sediment fingerprinting, Greater Caucasus

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 23-77-01027).

REFERENCES

- Borgese L., Federici S., Zacco A. et al. Metal fractionation in soils and assessment of environmental contamination in Vallecamonica, Italy, *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, no. 7(20), p. 5067–5075, DOI: 10.1007/s11356-013-1473-8.
- Borselli L., Cassi P., Torri D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment, *Catena*, 2008, no. 3(75), p. 268–277, DOI: 10.1016/j.catena.2008.07.006.
- Cavalli M., Trevisani S., Comiti F. et al. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments, *Geomorphology*, 2013, vol. 188, p. 31–41, DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.05.007.
- Collins A.L., Pulley S., Foster I.D. et al. Sediment source fingerprinting as an aid to catchment management: A review of the current state of knowledge and a methodological decision-tree for end-users, *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 194, p. 86–108, DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.09.075.
- Crema S., Cavalli M. SedInConnect: a stand-alone, free and open source tool for the assessment of sediment connectivity, *Computers & Geosciences*, 2018, vol. 111, p. 39–45, DOI: 10.1016/j.cageo.2017.10.009.
- Delunel R., Schlunegger F., Valla P.G. et al. Late-Pleistocene catchment-wide denudation patterns across the European Alps, *Earth-Science Reviews*, 2020, vol. 211, p. 103407, DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103407.
- Gaspar L., Blake W.H., Smith H.G. et al. Testing the sensitivity of a multivariate mixing model using geochemical fingerprints with artificial mixtures, *Geoderma*, 2019, 337, p. 498–510, DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.10.005.
- Geologicheskaya karta: K-38-I, VII (Kislovodsk)*. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Izdaniye vtoroye. Kavkazskaya seriya, masshtab: 1:200 000, seriya: Kavkazskaya [Geological map: K-38-I, VII (Kislovodsk), State Geological Map of the Russian Federation. Second edition, Caucasian series, scale: 1:200 000, series: Caucasian], 2004. (In Russian)
- Gilbert A., Vincent C. Atmospheric temperature changes over the 20th century at very high elevations in the European Alps from englacial temperatures, *Geophysical Research Letters*, 2013, vol. 40, no. 10, p. 2102–2108, DOI: 10.1002/grl.50401.
- Godard V., Bourles D.L., Spinabella F. et al. Dominance of tectonics over climate in Himalayan denudation, *Geology*, 2014, no. 3(42), p. 243–246, DOI: 10.1130/G35342.1.
- Hartmann D.L., Tank A.M.G.K., Rusticucci M., et al. Observations: Atmosphere and surface, *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovern-*

- mental Panel on Climate Change, 2013, 9781107057999, p. 159–254, DOI: 10.1017/CBO9781107415324.008.
- Hinderer M. From gullies to mountain belts: A review of sediment budgets at various scales, *Sedimentary Geology*, 2012, vol. 280, p. 21–59, DOI: 10.1016/j.sedg-eo.2012.03.009.
- Kedich A., Kharchenko S., Tsyplenkov A. et al. Lateral moraine failure in the valley of the Djankuat Catchment (Central Caucasus) and subsequent morphodynamics, *Geomorphology*, 2023, vol. 441, p. 108896, DOI: 10.1016/j.geomorph.2023.108896.
- Kharchenko S.V., Golosov V.N., Tsyplenkov A.S. et al. Tempy sovremennoy denudatsii malogo vodosbora v srednegornom poyase Bol'shogo Kavkaza (na primere vodosbora Gitche-Gizhgut) [Rates of modern denudation of a small catchment in the middle mountain belt of the Greater Caucasus (case study of the Gitche-Gizhgut catchment)], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2023, no. 3, p. 38–51, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.4. (In Russian)
- Lizaga I., Gaspar L., Blake W.H. et al. Fingerprinting changes of source apportionments from mixed land uses in stream sediments before and after an exceptional rain-storm event, *Geomorphology*, 2019, 341, p. 216–229, DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.05.015.
- Messenzehl K., Hoffmann T., Dikau R. Sediment connectivity in the high-alpine valley of Val Mütschuns, Swiss National Park – linking geomorphic field mapping with geomorphometric modelling, *Geomorphology*, 2014, 221, p. 215–229, DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.05.033.
- Ojha L., Ferrier K.L., Ojha T. Millennial-scale denudation rates in the Himalaya of Far Western Nepal, *Earth Surface Dynamics*, 2019, no. 4(7), p. 969–987, DOI: 10.5194/esurf-7-969-2019.
- Pepin N., Bradley R.S., Diaz H.F. et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world, *Nature Climate Change*, 2015, vol. 5(5), 424–430, <https://doi.org/10.1038/nclimate2563>.
- Pulley S., Collins A.L. Tracing catchment fine sediment sources using the new SIFT (Sediment Fingerprinting Tool) open source software, *Science of the Total Environment*, 2018, 635, p. 838–858, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.126.
- Solomina O., Bushueva I., Dolgova E. et al. Glacier variations in the Northern Caucasus compared to climatic reconstructions over the past millennium, *Global and Planetary Change*, 2016, vol. 140, p. 28–58, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2016.02.008.
- Tashilova A.A., Ashabokov B.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Analysis of climate change in the Caucasus region: End of the 20th-beginning of the 21st century, *Climate*, 2019, no. 1(7), p. 11, DOI: 10.3390/cli7010011.
- Tielidze L.G., Wheate R.D. The Greater Caucasus Glacier Inventory (Russia, Georgia and Azerbaijan), *The Cryosphere*, 2018, no. 1(12), p. 81–94, DOI: 10.5194/tc-12-81-2018.
- Toropov P.A., Aleshina M.A., Grachev A.M. Large-scale climatic factors driving glacier recession in the Greater Caucasus, 20th–21st century, *International Journal of Climatology*, 2019, vol. 39, no. 12, p. 4703–4720, DOI: 10.1002/joc.6101.
- Vigiak O., Borselli L., Newham L.T.H. et al. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio, *Geomorphology*, 2012, no. 1(138), p. 74–88, DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.08.026.
- Walling D.E., Webb B.W. Erosion and Sediment Yield: A Global Overview, *Proceedings of the Exeter Symposium*, 1996, p. 2–20.
- Web source*
- Hack J.T., Seaton F.A., Nolan T.B. Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland, *Professional Paper*, 1957, vol. 294, 95 p., URL: <https://pubs.usgs.gov/pp/0294b/report.pdf>.

Received 11.12.2024

Revised 05.03.2025

Accepted 20.05.2025

ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМА ЗАТОПЛЕНИЯ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ПОЙМЫ р. ЛЕНЫ В РАЙОНЕ г. ЯКУТСКА

А.С. Завадский¹, В.В. Сурков², М.А. Самохин³

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов*

³ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра гидрологии суши*

¹ *Вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: az-mgu@mail.ru*

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

³ *Науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: gidromiha@mail.ru*

Противопаводковая защита г. Якутска включает 75 км дамб. В ее пределах находится 40% левобережной части дна долины (270 км²). Дамбы уменьшили ширину разлива в районе Якутска на 1,3–5 км (на 15–30%). Сооружение защитного периметра сопровождается застройкой поймы и трансформацией ее урочищ.

На пойме возникли четыре типа бассейнов. Первый тип включает регулярно затопляемую прирусловую зону. Трансформация потока половодья здесь локальна, сохраняются луговые и лесные урочища поймы. Второй тип – массивы центральной поймы, сохранившие гидравлическую связь с руслом реки. Вероятность их затопления снизилась в 2–3 раза. Они обсыхают, деградируют болота и гидроморфные урочища, наблюдается осушодоливание лугов; усилилась пастбищная дигрессия, пойма активно застраивается. Третий тип – изолированные, огражденные дамбами бассейны. В зависимости от водного баланса в них наблюдается обсыхание или заболачивание. На селитебной территории заболачивание преобладает, чему способствует разорванность сети старичных ложбин, перекрытых дамбами. Непроточность ухудшает дренаж поймы: подтопления кварталов обычны, вода накапливается под зданиями, разрушая сваи и фундаменты, что приводит к авариям. Четвертый тип – бассейны протекающих по пойме малых рек. Сейчас возможность их затопления ограничена; обсыхание способствует распространению сухих и остепненных лугов на склоны грив и в днища ложбин. Пастбищное использование поймы привело к смене лесных урочищ лугово-кустарниковыми сообществами; но вокруг новых дачных поселков отмечается восстановление лесов и мелколесий. Незатапливаемые участки застраиваются. При дальнейшем освоении поймы следует предусматривать не только водозащитные, но и природоохранные мероприятия, и меры по благоустройству пойменных территорий, выходящих из зоны затопления.

Ключевые слова: долина Туймаада, половодье, водозащитные дамбы, трансформация пойменного ландшафта

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.10

ВВЕДЕНИЕ

Бурный рост расположенного на левом берегу р. Лены (местное название долина Туймаада) г. Якутска (с 1950 по 2020 г. его территория выросла в 10 раз при увеличении числа жителей с 60 до 340 тыс.), и освоение поймы подтолкнуло строительство защитных сооружений, которое началось после мощных половодий 1958 и 1964 гг.; основной противопаводковый контур создан после наводнения 2001 г. Создан проект инженерной защиты всей левобережной поймы, дамбы длиной 65 км протянутся от Табагинского до Кангаласского мыса, перекрывая рукава реки и протоки. Это позволит вывести из зоны затопления территории вдоль русла реки Лены и возобновить строительство многоэтажных кварталов на отсыпках, опыт которого был получен в конце XX в. (202-й и 203-й кварталы).

Обвалование поймы означает ее превращение в техногенную террасу, затопление которой исключительно [Беркович и др., 2000; Сурков, 2010]. Такие террасы характерны для территорий с противопаводковой защитой, распространены в нижних бьефах ГЭС (Обь, Иртыш), на реках с управляемым водным режимом (Москва, нижний Неман), возникают при изъятии части стока реки на орошение и водопотребление, при сооружении насыпных площадок. Их водный режим отличен от пойменного; он нуждается в контроле и компенсационных мероприятиях, в том числе гидротехнических – строительстве дренажных и оросительных сетей, шлюзов, дамб, отводов [Завадский и др., 2019; Беркович и др., 2005]. Техногенные террасы активно эксплуатируются и требуют не только водозащитных, но и природоохранных мер, направленных на адаптацию террито-

рий к новому гидрологическому режиму. Основная задача работы – исследование изменений водного режима поймы в условиях сокращения ее затопления из русла реки и последствий строительства защитных дамб.

Объект исследований. Максимальная ширина дна долины р. Лены между Табагинским и Кангаласским мысами (долины Туймаада), ограниченной высокими уступами Лено-Вилуйской равнины и Бестяхской террасы, – 20,5 км. Четверть его (172 км²) занимают Якутская (1-я надпойменная) и Сергеляхская (2-я надпойменная) террасы, образующие на левобережье массив шириной 2–7 км. Ширина поймы здесь составляет 9,5–11,3 км, площадь – 491 км²: 55% ее территории находится на правобережье, 38% – на левобережье Лены и 7% занимают острова и островные массивы, из которых большинство – прибрежные, отделенные от берега маловодными рукавами реки.

Три ступени поймы образуют разновозрастные генерации, различные по рельефу и почвенно-растительному покрову. Первая, высотой 5–7 м над меженным уровнем реки, – покрытая ивняком прирусловая островная пойма. Вторую, высотой 7–9 м (центральную кустарниково-луговую пойму) образуют крупные островные массивы, причлененные к берегу. Поверхность третьей ступени гривистая, с отметками грив 8–11 м. За пределами селитебных территорий она используется как пастбище, и естественных урочищ на ней осталось немного. С третьей ступенью поймы генетически связана (их рельеф одинаков) 1-я надпойменная терраса, образующая четвертый уровень высотой 11–17 м. Сергеляхская терраса высотой более 15–17 м лежит вне зоны затопления.

Долина Туймаада – наиболее освоенная территория Республики Саха (Якутия) с развитой жилой, промышленной и сельскохозяйственной инфраструктурой. Здесь проживает 40% населения республики (380 из 975 тыс. чел.), здесь же находится ее административный центр – г. Якутск, многочисленные сельские поселения. Современный вектор эволюции ландшафтной структуры – смена сельскохозяйственных, лесных, луговых и болотных урочищ селитебными. Левобережье застраивается городскими кварталами, быстро расширяется дачная периферия, возводятся фермы, базы отдыха, сельскохозяйственно-торговые и промышленные предприятия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предлагаемая статья обобщает многолетние исследования водного режима р. Лены, ее поймы, иллюстрирует преобразование половодного потока дамбами и характеризует экологическое состояние

поймы после строительства противопаводкового защитного периметра вокруг г. Якутска.

Информационной базой исследования является комплекс инженерных изысканий (гидрологических, геодезических, ландшафтно-геоморфологических), выполненных научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева географического факультета МГУ в 2016–2023 гг. на 75-километровом отрезке дна долины р. Лены в районе г. Якутска. Наряду с натурными исследованиями для оценки механизмов затопления поймы в естественных условиях и при различных вариантах искусственного ограничения выхода воды на пойму или снижении глубины ее затопления применялись методы численного моделирования гидравлики потока и русловых деформаций. В частности, широкое применение получила двумерная численная модель Stream 2D [Беликов и др., 2002], неоднократно применявшаяся для решения широкого спектра водохозяйственных и воднотранспортных задач Якутского узла и сопредельных участков реки Лены [Krylenko et al., 2024; Чалов и др., 2019; Golovlyov et al., 2019].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Естественный режим половодья. Лена – река с восточносибирским типом водного режима. Он отличается низкой зимней меженью, весенне-летним половодьем с резким и высоким ростом расходов и уровней воды, их медленным спадом, слабо выраженной летне-осенней меженью с дождевыми паводками. Средняя продолжительность половодья в Якутске 75 суток. Весной (май – июнь) проходит 41% годового стока, летом и осенью (июль – октябрь) – 49%, зимой (ноябрь – апрель) – не более 10%. Среднегодовой расход воды у Табагинского мыса – 7250 м³/с, средний максимальный расход воды в половодье 36 600 м³/с, максимальный, зафиксированный в 1966 г., – 54 700 м³/с [Чалов и др., 2019].

Затопление поймы начинается при подъеме воды на 6,5 м (выше этой отметки лежит 80% ее поверхности) при расходах воды 20–22 тыс. м³/с. Первая ступень поймы покрывается водой с вероятностью 70–80%: побочни, осередки (4,5–5 м) и ложбины затапливаются в среднем на 45–50 суток (от 7–15 дней в маловодный до 90–105 суток в многоводный год), острова (5–7 м) – в среднем на 15 дней (от 2–5 до 45 суток). Полное затопление второй ступени регулярное (1 раз в 3–5 лет), но кратковременное: средняя продолжительность ее затопления 3–6 дней, вероятность – 18%. В многоводные годы островные массивы второй ступени находятся под водой до двух недель. Гривы третьей ступени поймы и понижения первой надпойменной

террасы покрываются водой нерегулярно, с промежутком от 2 до 10–20 лет, не более чем на 3–5 суток. Третья ступень полностью не затопляется: поток рассредоточивается по межгрядным и старичным понижениям, глубина затопления низких гряд не превышает 1 м. Освобождение поймы от воды задерживают паводки, когда активно функционируют пойменные протоки. В изолированных межгрядных понижениях вода держится до конца августа – начала сентября: мерзлота препятствует фильтрации воды в грунт.

Из-за небольшой площади понижений регулирующая способность поймы мала. Даже при 1%-м половодье (11,6 м, расход воды 53,1 тыс. м³/с) по основному руслу реки проходит 81–84% расхода воды. Между Табагинским мысом и Якутском правобережная пойма ниже левобережной, и поток половодья направлен вправо: по расчетам, на правобережную пойму поступает до 18% расхода воды (9,4 тыс. м³/с). На левобережную пойму приходится всего 25 м³/с, или менее 0,5%. Левобережные пойменные протоки маловодны, что тоже снижает возможности затопления поймы. Ниже г. Якутска по течению правобережная часть поймы выше левобережной на 0,5–2 м, здесь наблюдается обратная картина.

Перед половодьем в основном русле Лены под льдом идет медленный (1–10 см/сут) подъем уровней и льда; вода выжимается на лед по трещинам и растекается по его поверхности. Разрушаются торосы, толщина льда за счет таяния подошвы уменьшается на 20–30 см. Боковые рукава зимой замерзают (толщина льда на Лене от 120 до 220 см) и в начале половодья не активны. Для их оживления вода в основном русле должна подняться на 4–4,5 м, что происходит при расходах 5–5,5 тыс. м³/с. В пойменных протоках (рис. 1А) лед тает на месте; ледовые плотины до общего затопления поймы устойчиво держатся в плесах, озерах-разливах, в вершинах излучин, выше мостов и дамб. Они способствуют затоплению тыловых массивов поймы. Если льда в пойменных протоках нет (зимнюю межень они стоят сухими), то талые воды свободно стекают в русло Лены, затопление притеррасной поймы невелико.

Половодье начинается вскрытием основного русла реки. Рост уровней воды (10 суток) после вскрытия ускоряется скачкообразно: 2,5–4,8 м в сутки. В фазу подъема уровней вода покрывает две низкие ступени поймы. Острова затопляются одновременно: вода поступает как с ухвостья, так и через многочисленные понижения в верхней бровке. При подъеме воды на 7,5–8 м над ними устанавливается транзитный поток: по затопленной ступени свободно проходят льдины, скапливаясь в полосах ивняков. Слив воды с островов обеспечивают их осевые

ложбины. Мелкие и неширокие (20–40 м) в верхней части, к ухвостью они становятся шире (до 100 м) и глубже, заканчиваясь затоном. При снижении уровней до 5–6 м ложбины распадаются на плесы-озера; в межень они пересыхают, превращаясь в топкие хвощовые и кустарниковые болота.

Затопление островных массивов второй ступени обычно происходит снизу, по ложбинам и понижениям, в высокие (выше 8,5 м) половодья – через понижения прирусловых валов. Разветвленная сеть старичных понижений обеспечивает быстрое затопление ступени и быстрый сток воды. Осевыми ложбинами здесь служат старые межостровные рукава, длинные, широкие и глубокие. В них впадают мелкие, узкие и короткие, заросшие кустарником лощины, и вся структура имеет разветвленную древовидную конфигурацию. Осевые ложбины островных массивов пересекаются редко, создавая несколько каналов стока.

В фазу подъема по ложбинам вода проникает во внутренние части второй ступени, расчлняя ее на изолированные массивы. Глубина затопления на пике половодья – 1–3 м (см. рис. 1Б); прирусловые валы затопляются в последнюю очередь. Кулисы ивняков препятствуют транзитному потоку; даже при максимальном затоплении он огибает затопленные центральные ядра островных массивов. Течение наблюдается лишь в межостровных протоках, которые становятся ответвлениями рукавов реки. На спаде половодья первыми обсыхают приверхи островных массивов и прирусловые валы, последними – межостровные протоки. Течение в них прекращается только при снижении уровней до 3–4 м над меженью, через 2,5–3 месяца после пика половодья. В заболоченных внутриостровных депрессиях вода может стоять весь теплый период года.

До середины XX в. разливы на третьей ступени (см. рис. 1В) имели сложную картину. Ниже Табагинского мыса затоплялась пойма у с. Старая Табага (в том числе и населенный пункт), оттуда через ложбину оз. Синигэс вода поступала в Табагинское болото, минуя останец террасы у п. Табага с запада. Поверхность Табагинского болота – плоской депрессии с озерами и мелководными разливами – была покрыта водой почти весь год. Сток отсюда затруднен: болото ограничено высокими массивами поймы и уступами останцов 1-й террасы, на которых расположены п. Табага и Хатассы. Избыток воды из Табагинского болота по пойменным протокам сливался в р. Шестаковку у дачных поселков Сардана и Тускул и на низкую пойму к северу от с. Хатассы. Возможность перелива воды в р. Шестаковку сохранялась до 1960-х гг., до строительства Табагинского шоссе и подъездной дороги к с. Хатассы.

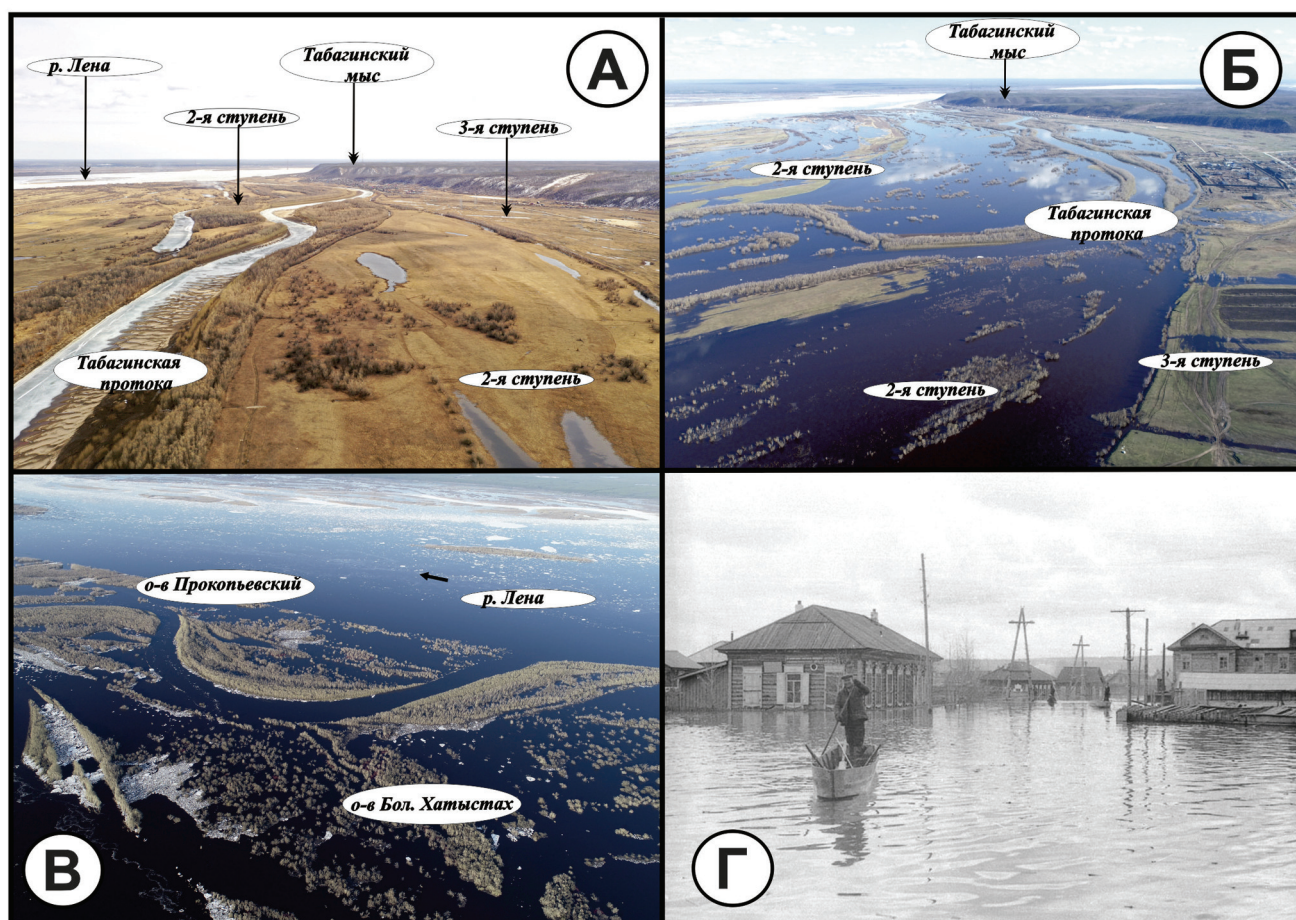


Рис. 1. Половодье в долине Туймаада:

А – пойма ниже Табагинского мыса перед половодьем, 2022 г.; Б – пойма ниже Табагинского мыса в фазу подъема воды, 2022 г.; В – 2-я ступень левобережной поймы в Якутске на пике половодья, 2022 г.; Г – затопление мкр. Залог в 1966 г. (фото с сайта sakhaday.ru)

Fig. 1. Flood in the Tuimaada valley:

А – floodplain below the Tabaginsky Cape before high water, 2022; Б – floodplain below the Tabaginsky Cape during water rise phase, 2022; В – 2nd step of the left-bank floodplain in Yakutsk at the peak of high water, 2022; Г – flooding of the Zalog quarter in 1966 (photo from the sakhaday.ru website)

В Якутске на третью ступень вода поступала из Городской протоки через массивы Зеленый Луг и Даркылах, в тыловую часть дна долины – из долины р. Шестаковки по длинной (25 км) ложбине с озерами (Атласовские, Чочур-Мурэн, Хатынг-Юрях, Белое), протягивающейся между долинами р. Шестаковки и Мархинки вдоль уступа коренного берега. Третья ступень поймы в г. Якутске уходила под воду часто (см. рис. 1Г), несмотря на высокие относительные отметки. В угрожаемой зоне – старая часть Якутска, аэропорт, мкр. Марха, район ГРЭС – прилегающая к р. Лене полоса шириной 2–4 км восточнее оз. Сайсары. Слив воды в Лену с третьей ступени поймы в г. Якутске происходил через долину р. Мархинки. Старое русло р. Мархинки теперь пересыпано площадкой аэропорта, его затопленный приустьевой участок сохранился как длинный затон (рис. 6В).

Севернее Якутска третья ступень поймы включает бассейн реки Камалас-Юрягэ (25×2–7 км)

между р. Мархинкой и Кангаласским мысом. Разлив воды в бассейне, расположенном в тыловой части днища долины р. Лены, начинался только после затопления 2–4-километровой приустьевой поймы, что наблюдалось не чаще одного раза в 10–30 лет. Вода переливалась из р. Мархинки – по понижению западнее п. Жатай (здесь находятся истоки оз. Зернового – длинной, 40 км, пойменной протоки); на пике половодий – через бровку ступени. Поток сосредоточивался по многочисленным понижениям, и большинство гряд оставалось вне зоны затопления. На спаде половодья сток воды концентрировался в нескольких длинных (4–40 км) пойменных протоках. Он продолжался от нескольких дней до полутора недель; остальное время протоки представляли цепь озер и протяженных обсохших отрезков с лугами, болотами и кустарниками.

Роль ледовых заторов. Заторы в долине Туймаада поднимают уровни воды до экстремальных

отметок – 11–13 м над меженным уровнем. Они возникают в узкостях долины у Табагинского и Кангаласского мысов, и на перевалах стрежня потока от одного берега широкого русла к другому. Подъем уровней на 10 м у Якутска при заторах отмечается при расходах воды 27–35 тыс. м³/с, без заторов – в полтора-два раза больших (45–50 тыс. м³/с). Заторы обуславливают скачкообразный подъем уровней – более 4 м в сутки, а их разрушение – высокую прорывную волну. Связанные с ледовыми заторами наводнения в Якутске сопровождались большими разрушениями (так как происходят при ледоходе), нередко – жертвами.

Заторы льда опасны, но на пойме Лены они обеспечивают периодическое затопление третьей ступени поймы и понижений 1-й надпойменной террасы, наполнение озер, обводнение старичных ложбин и болот. При отсутствии заторов уровни половодья в Якутске не превышают 8–9 м, что недостаточно для выхода воды на гривы третьей ступени поймы и высокие острова. Существование заторов ограничено 2–5 сутками, что соответствует продолжительности пика половодья. Заторы нерегулярны, условия для них (высокий уровень реки при замерзании, мощный, с торосами, лед, примерзший к грунту на мелководьях, резкое потепление и интенсивное снеготаяние, избыточные осадки) – складываются не каждый год; периодичность подобных явлений от 2–3 до 20 лет. Если к началу ледохода образуются большие закраины, облегчающие отрыв и подвижки ледовых полей, то быстрый подъем уровней дробит ледовые поля, ледоход сводится к массовому движению небольших льдин, выхода льда и воды на высокую ступень поймы не происходит.

Противонаводковые мероприятия. После половодья 2001 г. на левобережье в Якутске было завершено сооружение защитного периметра, который сейчас включает (рис. 2) более 75 км дамб, дорожных насыпей и высоких набережных. Внутри периметра находится г. Якутск, с. Табага и Хатассы, частично – п. Пригородный, с. Сырдах и Тулагино, фермы и дачные поселки. Из 670 км² площади долины Туймаада в пределы незатопляемого периметра попало 270 км², или 40% территории, относительно ее левобережной части – 70%.

Внешние городские дамбы (Покровское шоссе – набережные ул. Чернышевского, ул. Хабарова и Богдана Чижика – дамба ул. 50-летия Советской Армии – отсыпка Даркылахского шоссе) высотой 11–12 м полностью не исключают затопления селитебной территории; их отметки на 1–1,7 м меньше уровней воды 1% обеспеченности. Но они гарантируют защиту от обычных половодий, не сопровождаемых заторами. Вне защитного периметра находится район Даркылах и кварталы п. Пригородного в устье р. Шестаковки.

Здесь затопляется 2,3 тыс. кадастровых участков, предназначенных для индивидуального строительства. Последнее затопление п. Пригородного было в 2020 г.: вода разрушила дороги, строения, на улицах обсыпались временные дамбы.

Непереливные дамбы в Городской протоке и речном порту предназначены для защиты причалов, стоянки судов, Якутской ТЭЦ и Губинского округа. Вместе с высокими (14–15 м) площадками 202-го и 203-го жилых кварталов они служат ледорезами, снижающими воздействие ледохода на защитный периметр в центральной части Якутска. Дамбы транзитных магистралей – Намского тракта и Покровского шоссе с ответвлениями к селам Табага и Старая Табага, проложенные выше максимальных отметок затопления, – окаймляют дачную периферию Якутска и резервные территории. Дополняют защиту насыпи «вылетных» магистралей Якутска – Вилюйского и Маганского трактов, ул. 50-летия Октября, Хатынг-Юряхского шоссе, Сергеляхского шоссе, подъездных путей к п. Жатай, с. Сырдах и Тулагино. Они разбивают периметр на изолированные участки, гидравлическая связь между которыми слабая или вовсе отсутствует. Водопропуски в половодье перекрываются.

Существенно понижает уровни половодий борьба с заторами. До 1950-х гг., когда противозаторных мероприятий не было, уровни половодья в Якутске нередко поднимались на 11–13 м выше меженных (1907, 1913, 1917, 1920, 1930 и т. д.). Сейчас заторы оперативно ликвидируются, и половодья обычно не превышают 9–10 м. Таким образом, левобережная часть Якутского расширения сейчас находится вне зоны затопления, за исключением экстремальных событий. Основные инженерные объекты на внедамбовой территории также находятся на незатопляемых площадках.

Последствия строительства защитного периметра. Изменение половодного потока и режима затопления. Защитный периметр уменьшил ширину разлива (рис. 3) в районе Якутска на 1,3–1,8 км (на 15%), выше и ниже города – на 3–5 км, или на 20–30%. Существенно изменилось затопление третьей ступени. Покровское шоссе и его ответвления ограждают от затопления ее тыловую часть между Табагинским мысом и п. Пригородный. Дорожные насыпи перерезают все ложбины; водопропуски сделаны лишь на р. Шестаковке. Табагинское болото и окружающая его пойма почти изолированы от русла Лены; проникновение сюда воды и наполнение старичных озер происходит только в высокие половодья (2001, 2007, 2012 гг.) по понижению между останцами террасы у п. Табага и с. Хатассы. Разливам препятствуют насыпи местных дорог, разделяющие Табагинское болото на обособленные квадраты.

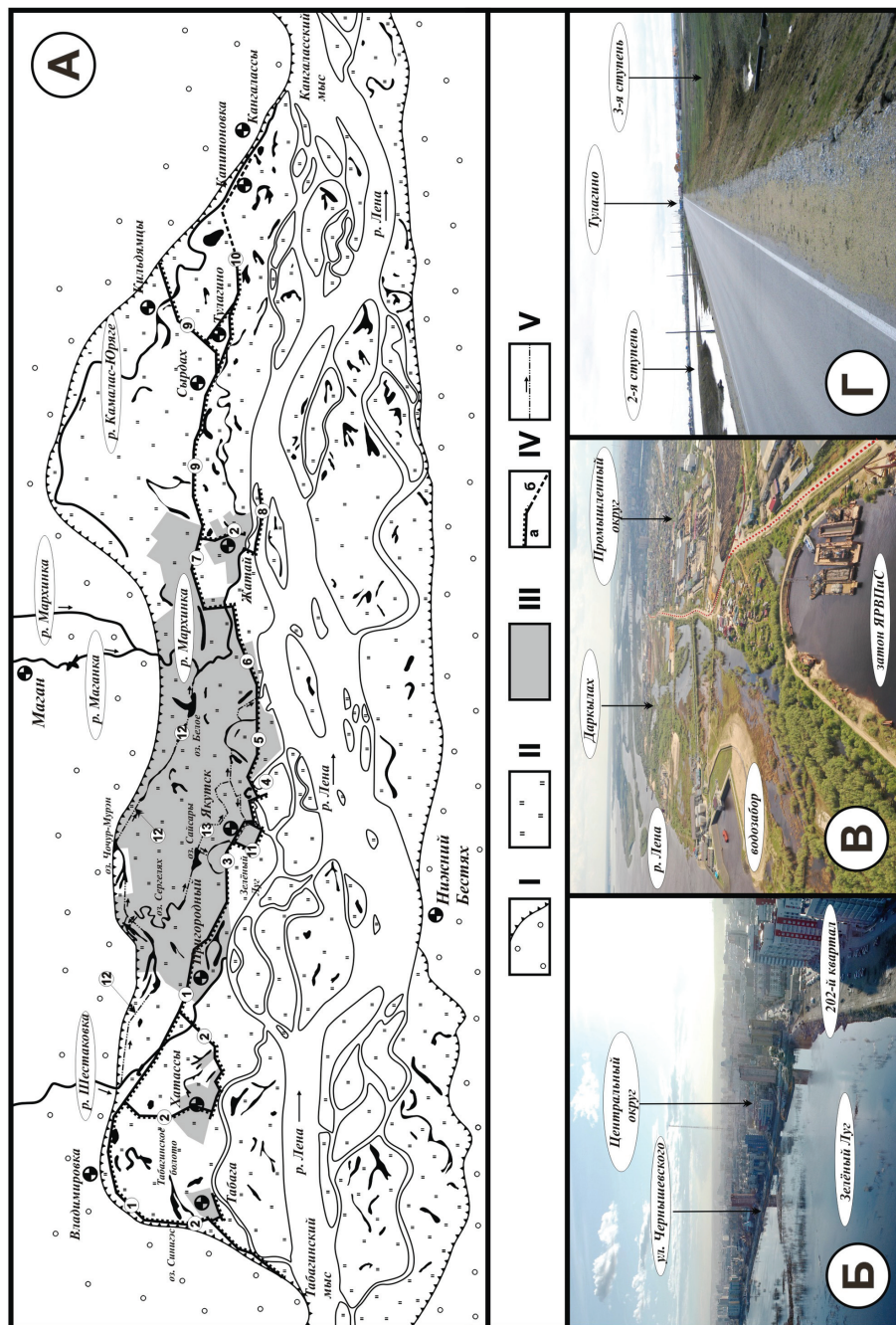


Рис. 2. Внешний защитный периметр Якутска: А – общая схема: 1 – коренной берег; II – дно долины (пойма, Якутская и Сергеляхская террасы); III – селитебная территория; IV – защитные дамбы и насыпи шоссе; 2 – Покровское шоссе; 2 – подъездные насыпи к поселкам; 3 – набережная ул. Чернышевского; 4 – дамбы в Городской протоке; 5 – дамбы ул. Богдана Чижика и Хабарова; 6 – дамба ул. 50-летия Советской Армии; 7 – Даркылахское шоссе; 8 – дамба Жатайского затона; 9 – Намский тракт; 10 – ответвление Намского тракта к п. Кангалассы (Богоронское шоссе); 11 – отсыпки 202-го и 203-го кварталов; V – городской канал, направление течения; 12 – большое кольцо; 13 – малое кольцо; Б – дамбы ул. Чернышевского и 202-го квартала в полуовле 2022 г.; В – дамба ул. 50-летия Советской Армии (обозначена точками); Г – Намский тракт у с. Тулагино

Fig. 2. The outer protective perimeter of Yakutsk: A – general scheme: I – valley side; II – valley floor (floodplain; Yakut and Sergelyakh terraces); III – residential area; IV – protective dams and highway embankments (a – non-overflow; б – overflow); 1 – Pokrovskoye highway; 2 – access embankments to settlements; 3 – embankment of the Chernyshevsky Street; 4 – dams in the City Channel; 5 – dams of Bogdan Chizhik and Khabarovsk streets; 6 – dam of the street of 50th anniversary of the Soviet Army; 7 – Darkylakh highway; 8 – dam of the Zhataysky zaton; 9 – Namsky tract; 10 – branch of the Namsky tract to the village of Kangalassy (Bogoronskoye highway); 11 – dumps of the 202nd and 203rd quarters; V – city canal; direction of flow; 12 – great ring; 13 – small ring; Б – dams of Chernyshevsky Street and the 202nd quarter during the 2022 flood; В – the dam of the street of the 50th anniversary of the Soviet Army (marked with dots); Г – Namsky tract near the Tulagino village

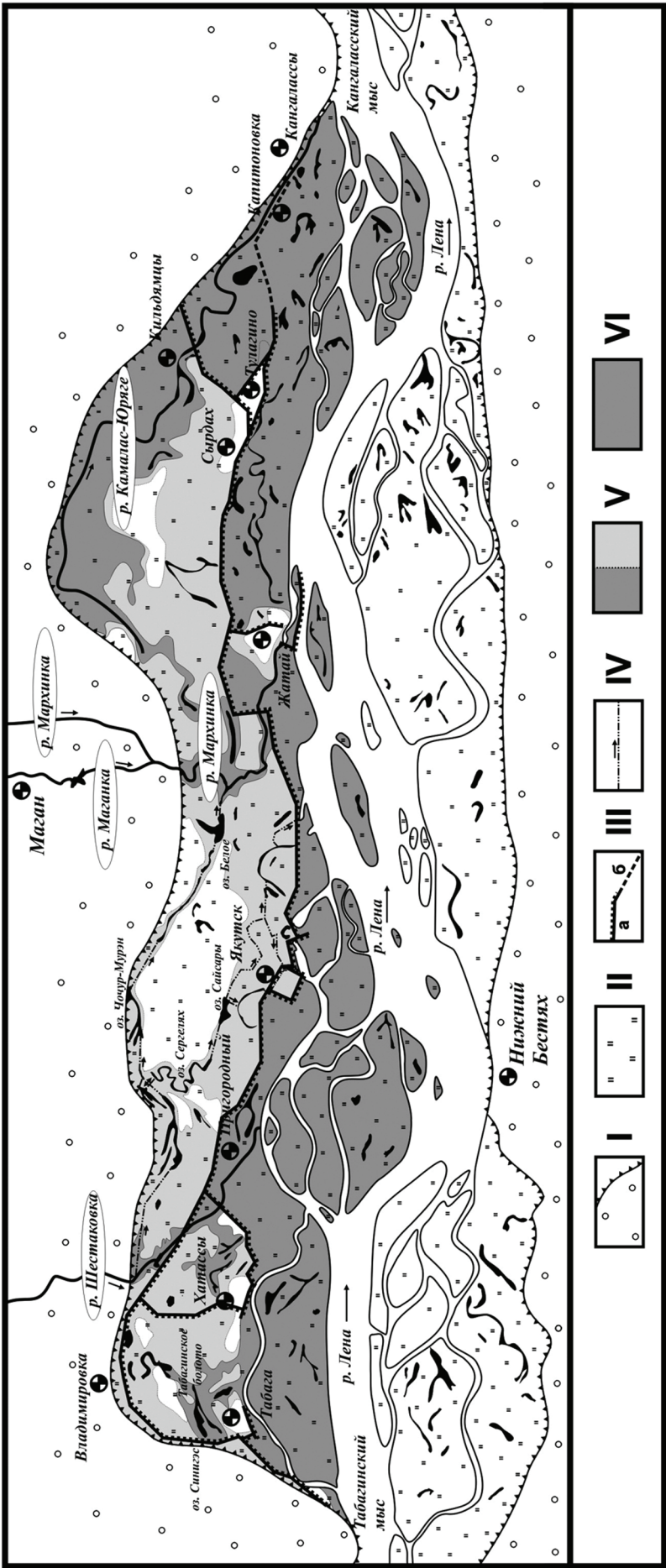


Рис. 3. Затопление левобережной поймы в естественном режиме и после сооружения защитного периметра (расчетный расход воды 53 700 м³/с): I – коренной берег; II – дно долины (пойма, Якутская и Сергеляхская террасы); III – дамбы (а – не переливаемые; б – переливаемые); IV – городской канал; V – затопляемые территории в естественном режиме; VI – зона затопления в настоящее время

Fig. 3. Flooding of the left-bank floodplain under natural regime and after the construction of a protective perimeter (estimated water flow 53 700 m³/s): I – valley side; II – valley bottom (floodplain, I and II terraces); III – dams (a – non-overflow; b – overflow); IV – city canal; V – flooded areas under the natural regime; VI – modern flooded zone

Шоссе к с. Хатассы блокирует водообмен между Табагинским болотом и р. Шестаковкой. Из-за подпора р. Шестаковки плотиной Андреевского озера уровни воды в ней на 1 м выше, чем в Табагинском болоте, и, не будь насыпи, вода поступала бы из р. Шестаковки в Табагинское болото, а не наоборот, как в естественных условиях.

Между р. Шестаковкой и Мархинкой дамбы ограждают всю левобережную пойму от русла р. Лены. Внешние дамбы периметра перекрывают выходы в русло Лены всех ложбин, кроме оз. Теплового. Тыловую ложбину с озерами пересекают насыпи вылетных магистралей, водопропуски в которых практически не работают. Единую ранее сеть старичных и межгивных ложбин на селитебной территории разрывают поперечные дамбы-перемычки на улицах. Таких перемычек десятки, и все они требуют «инвентаризации, ремонта, реконструкции и ухода» и общей системы регулирования водного режима поймы. Между г. Якутском и Кангаласским мысом насыпь Намского тракта исключает доступ воды на третью ступень поймы южнее с. Тулагино. Вне разливов оказывается часть бассейна р. Камалас-Юряге (12×7 км) между трактом и уступом коренного берега. Ответвление тракта к п. Кангалассы переливается даже в среднее по высоте половодье, и третья ступень поймы к северу от с. Тулагино регулярно уходит под воду, в том числе и с. Капитоновка.

На приустьевой пойме (первая и вторая ступени) изменения половодного потока локальны. В Якутске дамба в Городской протоке и отсыпки новых микрорайонов ограничили сток с массива Зеленый Луг, примыкающего к городской набережной. Его затопление увеличилось на 5–10 дней; центральная часть может быть покрыта водой до двух месяцев. Ложбина у набережной, по которой вода стекала в Лену, стала замусоренным болотом. В п. Даркылах насыпи к промышленным объектам разделяют пойму на изолированные карманы, вода из которых не уходит круглый год, образуя болота и озера-разливы. Из-за этих насыпей грива с жилыми строениями Пристанского квартала покрывается водой на 5–15 суток ежегодно.

Защитный периметр Якутска также препятствует и стоку воды с левобережной поймы. Общая площадь изолированных бассейнов составляет 1,2 тыс. км², с учетом площади бассейнов рек Шестаковки, Мархинки и Камалас-Юряге, выходящих за пределы поймы. Объем стока с этой территории, при 1%-ном половодье на протекающих по ней водотоках, составляет 21,4 млн м³, при 10%-м – 15,5 млн м³. Выходов здесь всего четыре – устья р. Шестаковки, Мархинки, руч. Хорогор и устье протоки Камалас-Юряге у с. Капитоновки. Послед-

нее, через которое проходит 55% стока воды с изолированной территории – узкая щель: ширина протоки под мостом автодороги на п. Кангалассы всего 40 м. Изменение водного режима бывшей поймы сопровождается направленной трансформацией ее урочищ и характера освоения.

Формирование техногенной террасы. При блокировании регулярного (или периодического) затопления поймы речной поток больше не определяет ее водный режим, основными факторами которого становятся осадки, снеготаяние и сток воды с бортов долины. Сток воды на бывшей пойме сосредоточивается в старичных ложбинах, а незатопляемые теперь гривы и гряды становятся водоразделами. Связанная потоком половодья поверхность распадается на изолированные водосборы, которых из-за обилия ложбин может быть много.

На левобережной пойме Лены в результате сооружения вокруг г. Якутска защитного периметра возникло 56 локальных водосборов (бассейнов). При естественном гидрологическом режиме они были связаны общим потоком при уровнях половодья обеспеченностью 5% и менее, а сейчас разделены дамбами, насыпями и высокими гривами. Переток воды между бассейнами возможен лишь через немногие межгивные понижения, на третьей ступени поймы – водопропуски в дамбах. Возникшие бассейны (рис. 4) разделяются на четыре типа.

Первый тип – бассейны 1-й и 2-й ступени поймы, по-прежнему регулярно затопляемые. Малые острова здесь являются отдельными бассейнами. Характер затопления поймы здесь не изменился, и трансформация потока половодья имеет локальный характер.

Второй тип – бассейны третьей ступени поймы, сохранившие связь с руслом реки. Продолжительность и вероятность их затопления не изменилась, но сейчас вода из реки поступает не широким фронтом, а заходит через устье одной ложбины или пойменной протоки. По окончании половодья она стекает в реку через ту же ложбину. Эти бассейны имеют хороший дренаж и слабую заболоченность.

Третий тип – изолированные бассейны, огражденные дамбами и высокими гривами. Их затопление речными водами исключено, но и сток в реку снеговых вод и выпадающих осадков с этих массивов ограничен немногими водопропусками в дамбах. Водный режим бассейнов полностью изменен, что способствует быстрой трансформации пойменного ландшафта, а на освоенных территориях приводит к необходимости принятия мер для нейтрализации заболачивания, подтопления и других опасных явлений.

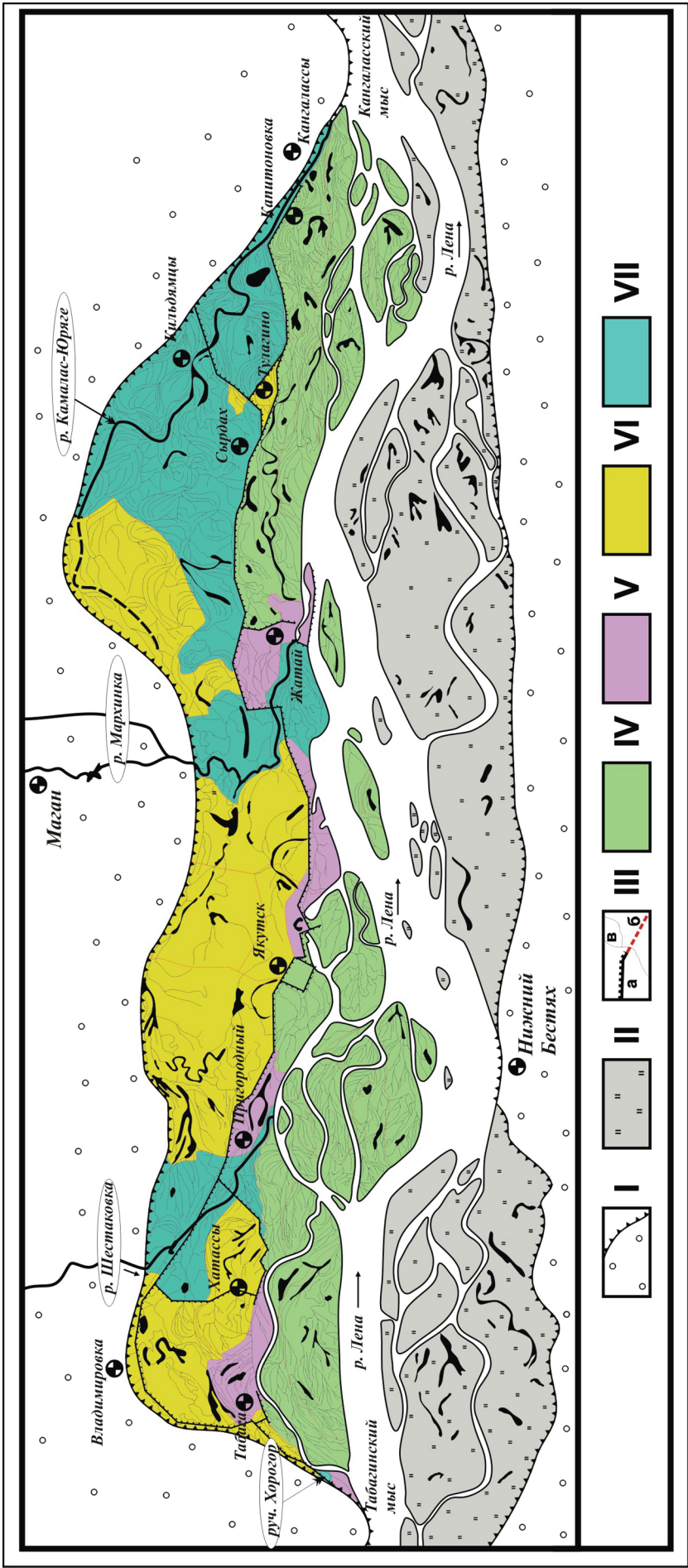


Рис. 4. Бассейны водного стока в левой части дна долины (показаны только в ее пределах):
I – коренной берег; II – не исследованные участки островной и левобережной части дна долины; III – объекты и границы; а – водозащитные сооружения; б – границы бассейнов;
в – основные старичные и пойменные ложбины; IV – бассейны 1-го типа; V – бассейны 2-го типа; VI – бассейны 3-го типа; VII – бассейны 4-го типа (см. текст статьи)

Fig. 4. Basins of water runoff in the left part of the valley floor (shown only within its limits):
I – valley side; II – unsurveyed areas of the island and left-bank part of the valley floor; III – objects and boundaries; а – water protection structures; б – basin boundaries; в – major ancient and floodplain hollows; IV – basins of the 1st type; V – basins of the 2nd type; VI – basins of the 3rd type; VII – basins of the 4th type (see the text)

Четвертый тип – приустьевые части бассейнов протекающих по пойме рек – Мархинки, Шестаковки, Камалас-Юряге. В прошлом они затапливались водами р. Лены; сейчас такая возможность ограничена дамбами. Сами водотоки маловодны и не обеспечивают затопление этих участков, ширина которых на пойме Лены достигает 2–3 км (р. Камалас-Юряге – 7 км). Река Мархинка имеет сток 2–3 месяца (годовой объем стока обеспеченностью 1% – 6 млн м³, 10% – 3,3 млн м³). Шестаковка более многоводна (9,5 и 5,1 млн м³ соответственно), но в засушливые годы пересыхает. Сток по р. Камалас-Юряге происходит только при снеготаянии и сильных осадках.

Современное состояние бассейнов. В бассейнах 1-го типа характер половодья не изменился, условия развития природных комплексов поймы остались прежними. Регулярное затопление бассейнов 1-го типа ограничивает их застройку. Луга используются, как сенокосы, реже – как пастбища. Препятствует освоению относительная недоступность островов и раздробленность угодий: густая сеть ложбин заполнена водой почти весь теплый период года, переездов через ложбины с озерами и болотами мало.

В бассейнах 2-го типа вероятность затопления снизилась в 2–3 раза. Сокращение затопления расширило возможности застройки территории. В п. Пригородном, Хатассах, Тулагино застраиваются низкие гривы останцов Якутской террасы, ранее регулярно затапливаемые при ледовых заторах. Уменьшение затопления усилило обсыхание бассейнов, подтолкнуло деградацию болотных и гидроморфных урочищ, осуходоливание лугов. Сырые и заболоченные луга отесняются в днища ложбин, где замещаются тростниками, обычными на переувлажненных пустошах. Севернее Якутска, с превращением Намского тракта в непереливаемую дамбу, сухие остепненные луга распространяются на склоны грив до отметок 6–6,5 м, что на 2–3 м ниже их обычного положения. Усилилась пастбищная дигрессия; пастбища занимают низкотравные обедненные луга – злаково-хвощевые, погремковые, полевицево-подорожниковые с полынями, значительным участием сорных и неподаваемых видов. Вблизи населенных пунктов и у заброшенных ферм возникают замусоренные изрытые пустыри с бурьянистыми зарослями и руинами. На пастбищах и пустырях снижается видовое разнообразие лугов, теряется эстетическая и хозяйственная ценность урочищ.

Бассейны 3-го типа после строительства дамб вышли из зоны затопления. Их площадь на левобережье 152,5 км². Это центральная часть Якутска, пойма к востоку от с. Табага и Хатассы, включая Табагинское болото, массивы у п. Жатай, Тулагино, в верховьях р. Камалас-Юряге. В зависимости от воз-

можности доступа и стока воды в изолированных от русла Лены бассейнах развиваются противоположные процессы – обсыхание (рис. 5) или затопление и заболачивание (рис. 6).

Обсыхают высокие песчаные гривы, где летом кровля мерзлоты опускается ниже меженного уреза, огражденные дамбами массивы 3-й ступени. Обсыхание сопровождается сменой сырых и болотистых лугов низкорослыми остепненными и деградацией древесно-кустарниковой растительности, которая исчезает и на гривах, и в ложбинах. Пастбищная дигрессия в обсыхающих бассейнах намного мощнее: травостой выбивается полностью, скот разрушает борта и днища межгривных понижений, разбивает и перемешивает грунт вокруг озер, превращая поверхность в глинистый такыр; возникают очаги развевания песков. Вдоль дорог и троп возникают солончаки с галофитной растительностью.

Заболачивание (см. рис. 6) характерно для понижений, расположенных у коренного склона долины. В них впадают ручьи с уступа междуречной равнины, здесь собираются снеговые и дождевые воды. Стоку воды из понижений препятствуют дамбы, фильтрации воды в грунт – близкая к поверхности мерзлота. В днищах возникают озера, на гривах – сплошные тростниковые заросли и осоковники на месте мезофитных и остепненных лугов. Уровни озер в заболоченных бассейнах не зависят от колебаний уровня Лены, и часто на 3–5 м выше, чем в бассейнах, имеющих связь с руслом реки.

Бассейны 3-го типа – селитебные урочища, для защиты которых строились противопаводковые дамбы. Заболачивание здесь преобладает из-за разорванности сети старичных понижений, перекрытых поперечными дамбами. Подтопления кварталов вдоль ложбин обычны, во дворах и по берегам широко распространены тростниковые болота.

Заболачивание ухудшает экологическое состояние ложбин (большинство городских ложбин – замусоренные болота и озера), ослабляет дренаж поймы, при ливнях превращает улицы и дворы в мутные потоки и разливы, способствует разрушению мерзлоты и провоцирует аварии зданий и коммуникаций.

Площадь затопления бассейнов 4-го типа сократилась на 75%. В короткое половодье на малых притоках Лены вода не выходит из пойменных бровок. Русла малых рек спрямлены и пересыпаны многочисленными дамбами с прудами. При выходе р. Шестаковки на пойму Лены находится шлюз-вододелитель, направляющий часть воды (0,5–1,5 млн м³ в год, 15–50% в зависимости от водности года) в городской канал, который обводняет озера в Якутске. Реки используются для водоснабжения дачных поселков, с чем часто возникают проблемы из-за маловодья.

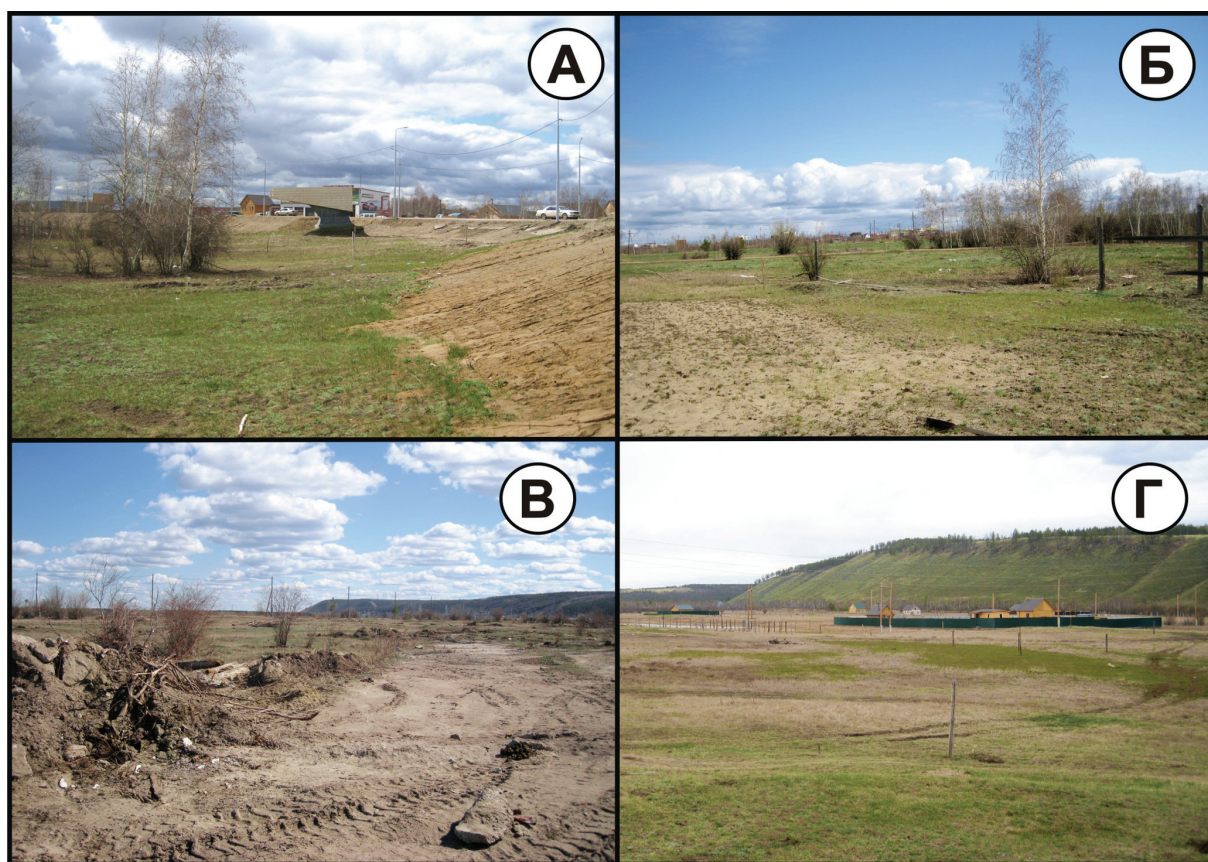


Рис. 5. Обсыхание массивов левобережной поймы:

А, Б – перекрытая насыпью Намского тракта ложбина с кустарниками и разреженными злаково-полынными лугами, район п. Жатай; В – изрытая сухая пустошь у п. Табага; Г – строительство дачного поселка на незатопляемом массиве у с. Хатассы

Fig. 5. Drying of the left-bank floodplain areas:

А, Б – a hollow with shrubs and sparse grass-wormwood meadows blocked by the embankment of the Namsky tract, near the village of Zhatai; В – a pitted dry wasteland near the village of Tabaga; Г – construction of a dacha village on a non-flooded area near the village of Khatassa

Сейчас из р. Лены затопляются только прирусловые части (шириной 0,7–2 км) бассейнов рек Шестаковки и Мархинки. Обводнение бассейна р. Камалас-Юряге, отрезанном от реки насыпью Намского тракта, происходит за счет осадков, снеготаяния, и стока воды по распадкам с уступа коренного берега. В нижнюю часть бассейна вода попадает при подъеме воды на 9 м за счет перелива через ответвление Намского тракта к п. Кангаласы. Поток затопливает с. Капитоновку, расположенные здесь промышленные объекты, проходит над плотинами прудов, размывая улицы и дороги.

Уменьшение вероятности затопления, как и в бассейнах 2-го типа, способствовало распространению сухих и остепненных лугов на низкие уровни – на склоны грив и в днища неглубоких ложбин, образованию полынных пустырей. Усилилась пастбищная дигрессия: скот выпасают в ранее малодоступных лесных ложбинах и понижениях. Выпас уничтожает кустарник, выбивает травяной покров с цветущим разнотравьем – ирисами, геранями, лилей желтой; леса принимают парковый характер.

Но на территориях, не используемых в качестве пастбищ (вокруг новых дачных поселков), лесные сообщества восстанавливаются, наиболее быстро – сосновые и лиственничные мелколесья на гривах. Восстановление ивово-березовых лесов в понижениях идет медленнее.

Противодействие негативным последствиям обвалования поймы. Властями и организациями Якутска проводятся большие работы по амортизации и устранению негативных процессов (обсыхания и заболачивания бассейнов, неконтролируемой застройки, загрязнения и замусоривания водоемов и территорий), во многом вызванных обвалованием поймы. Выполнена инвентаризация городских озер, реконструируются водосбросы из них, озера очищаются от ила и мусора. В новых кварталах прокладываются дренажные каналы, ремонтируются водопропуски в дамбах. Но этого недостаточно, дренажная система нуждается в реконструкции и улучшении; признается и плохое экологическое состояние пойменных озер.

Водный режим поймы регулируется городским каналом, с которым связана система отвода грунтовых и талых вод с территории Якутска, и от которого зависит экологическая обстановка в пределах городской застройки. Канал был построен в 1938 г. для обводнения пастбищ и огородов на пойме, впоследствии неоднократно реконструировался в приоритетном порядке (1970–1980, 2017–2019 гг.). Сейчас он включает две ветви, «большое» (26 км) и «малое» (18 км) кольца (рис. 2), при соотношении расходов воды 75% к 25%. Большое кольцо проходит вдоль коренного берега через многочисленные озера от шлюза-вододелителя на

р. Шестаковке к р. Мархинке. В межень перепад отметок между его истоком и устьем составляет 8,7 м; уклоны по руслу (не считая озер) – 0,2–0,4‰. Малое кольцо проходит по городским кварталам, соединяя озера Ытык-Кюэль, Сергелях, Сайсары, Талое и Хомустан, его устье – в затоне ЯРВПиС (Якутского района водных путей и сооружений). Перепад отметок между оз. Сайсары и устьем малого кольца 5,7 м; средний уклон – 0,5–0,7‰. Существует ответвление кольца к водовыпуску в Городскую протоку у 203-го квартала, и холостой водосброс (Университетская речка) из оз. Сайсары в Теплое озеро.

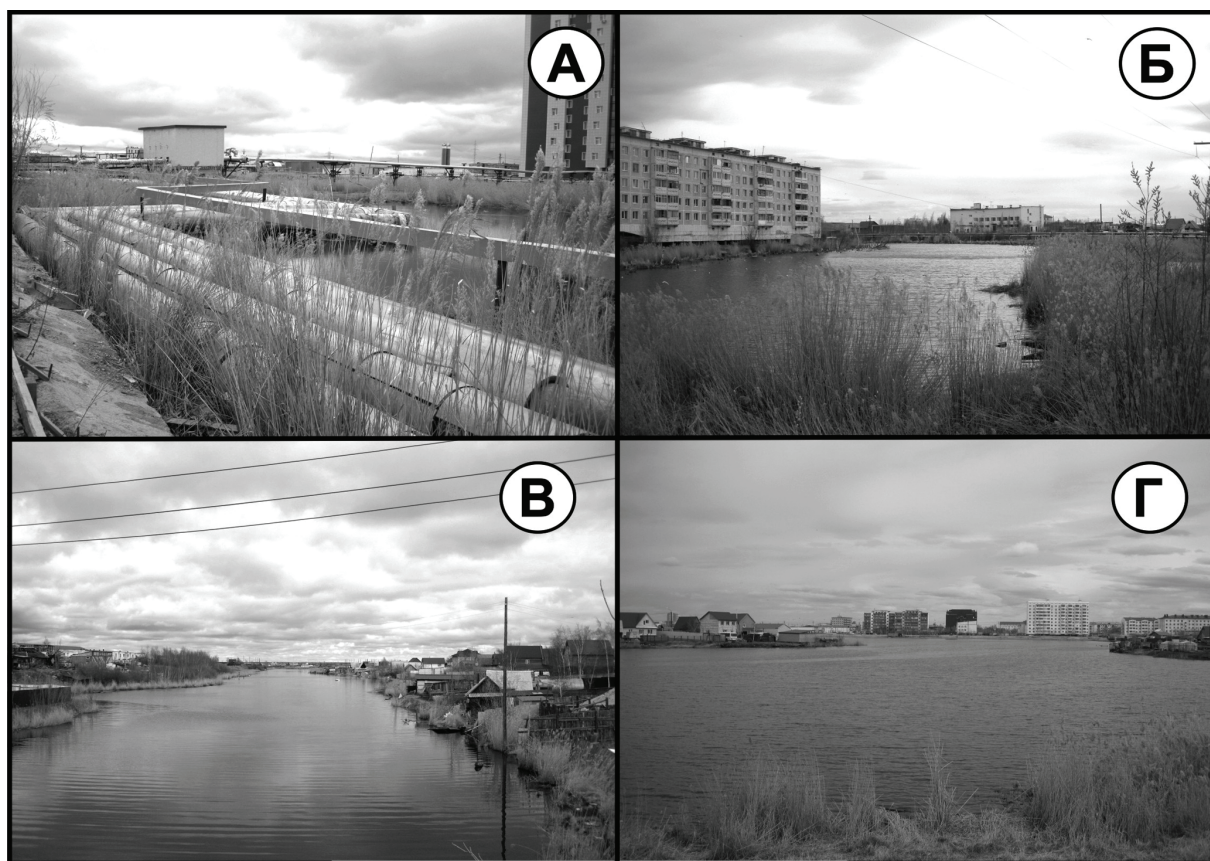


Рис. 6. Заболочивание и подтопление: А – тростниковое болото на коммуникациях (Якутск, автострада 50-летия Октября); Б – подтопление кварталов в мкр. Птицефабрика; В – затопленная из-за дамбы ул. 50-летия Советской Армии ложбина (старое устье р. Мархинки) в мкр. Марха; Г – оз. Сергелях с подтопленными берегами

Fig. 6. Waterlogging and flooding: А – reed swamp on communications (Yakutsk, highway of the 50th anniversary of October); Б – flooding of residential areas in the Ptitsefabrika quarter (Yakutsk city); В – a hollow (old mouth of the Markhinka River) in the Markha district (Yakutsk city) flooded because of the dam of the street of 50th anniversary of the Soviet Army; Г – the Sergelyakh Lake with flooded shores

Несмотря на реконструкции, современное состояние канала (рис. 7) далеко от совершенства. На большом протяжении это мелкий (0,2–1,5 м) ручей шириной 1–3 м, протекающий в нестабильных грунтовых берегах, заросших ивняком и бурьяном, лишь частично укрепленных бетонными стенками и каменной кладкой (см. рис. 7В; 7Г). Какой-либо санитарной зоны вдоль него не предусмотрено,

и, несмотря на все усилия эксплуатирующих организаций, канал подвержен заилению и зарастанию. Население сбрасывает на берега бытовые и строительные отходы, застраивает их и разбивает огороды. Обеспечить нормальную проточность канала мешают плохо работающие водопропуски, которые легко забивает бытовой и растительный мусор, пересыпи в старицах и озерах.

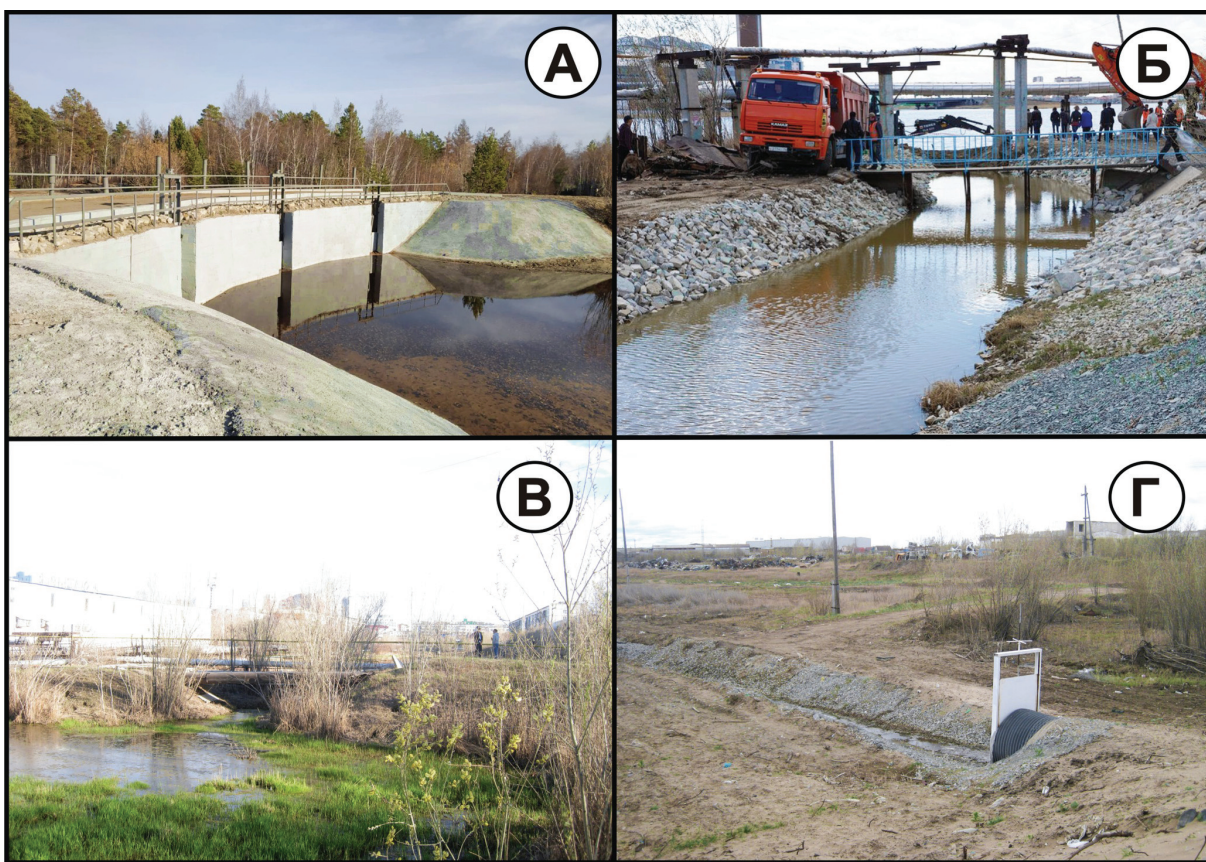


Рис. 7. Городской канал: А – шлюз-вододелитель на р. Шестаковке; Б – реконструкция канала у оз. Сайсары в 2017 г., Университетская речка (фото из архива АН РС (Я); опубликованы в открытых источниках на сайтах: yar.kp.ru и archive.ysia.ru); В – малое кольцо канала (ответвление) на ул. Федора Попова; Г – приустьевой участок большого кольца на пустырях у затона ЯРВПиС (фото авторов)

Fig. 7. The city canal: A – the lock-divider on the Shestakovka River; Б – reconstruction of the canal near the Saisary Lake in 2017, the University River (photo from the archives of the Academy of Sciences of the Yakutia Republic; published in open sources on websites: yar.kp.ru and archive.ysia.ru); В – the small ring of the canal (branch) on the F. Popova St.; Г – the estuary section of the great ring within the wastelands near the Yakutsk river port (photo by the authors)

Нормальной работе канала препятствует его маловодность. Расчетные максимальные расходы воды в р. Шестаковке (1% обеспеченности) составляют 26 м³/с, объем годового стока реки 50%-й обеспеченности – 2,9 млн м³. А объем только основных озер по трассе канала (Атласовских, Ытык-Кюэль, Белого, Сайсары, Хомустаха) больше 5 млн м³. Основательная промывка только первых по трассе канала озер возможна лишь раз в 7–10 лет. Большую часть теплого периода года расход воды в канале не превышает 80–100 л/с, течение заметно лишь на коротких участках ниже водопропусков. Для промывок используются залповые разовые сбросы (150 тыс. м³, из оз. Сайсары даже до 200 тыс. м³ за сутки), но они разрушают берега узкого канала, создают мусорные пробки, вызывают подтопления выше водовыпусков.

При всех недостатках, городской канал сейчас – единственная возможность водообмена между городскими бассейнами и регулирования уровня

основных озер. В частности, с его помощью происходит промывка и поддерживается постоянный межженный уровень воды в оз. Сайсары – основном водоеме в центре Якутска. Водовыпуски канала за пределы защитного периметра – единственные на селитебной территории. Но один канал не способен существенно улучшить дренаж поймы и не предотвратит обсыхание и заболачивание ее массивов; его воздействие распространяется только на озера и узкую прибрежную полосу. Необходимо объединение сети старичных понижений, строительство и расчистка других водопропусков, сооружение шлюзов-регуляторов в истоках и устьях ложбин.

ВЫВОДЫ

Водозащитные дамбы, ограничивающие затопление поймы, изменяют ее водный режим и генерируют негативные процессы: обсыхание (деградация пойменных озер, снижение качества пастбищ и сенокосов, смену болот, сырых осоковых и разнотравных лугов среднего увлажнения обедненными

и сухими низкотравными), с одной стороны, заболачивание и подтопление (в том числе поселков и городских кварталов) – с другой. Водный режим техногенных террас, развитие которых определяется непосредственным хозяйственным использованием, требует обязательного регулирования; особенно на бывших поймах больших рек, со сложной системой факторов формирования (наличием мерзлоты, малых рек, изрезанным рельефом, многоотраслевым типом хозяйства).

В Якутске объединенная сеть пойменных ложбин может дополнить (или даже заменить) дренажные и канализационные коллекторы, прокладывать которые часто нельзя из-за мерзлоты. Водопропуски в дамбах следует размещать прежде всего в тех протоках и ложбинах, в которые предполагается направлять сток воды с огражденной территории. Следует предусмотреть водопропуски для обводнения поймы и шлюзы в перекрываемых межкостровных и боковых рукавах.

Благодарность. Обобщение и анализ материалов натурных исследований выполнено по госзаданию (№ 121051100166-4) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беликов В.В., Зайцев А.А., Милитеев А.Н. Математическое моделирование сложных участков русел крупных рек // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 6. С. 698–705.
- Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В. Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000. 331 с.
- Беркович К.М., Завадский А.С., Рулева С.Н. и др. Карьерные разработки строительных материалов в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС и их влияние на русло Оби // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 15. М.: Географический ф-т МГУ, 2005. С. 187–207.
- Завадский А.С., Сурков В.В., Чернов А.В. Пойма р. Москвы, в нижнем течении, ее экологическое состояние, развитие в условиях интенсивного техногенного использования и оценка технической нарушенности ее природных территориальных комплексов // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 21. М.: Географический ф-т МГУ, 2019. С. 113–149.
- Сурков В.В. Техногенные террасы, их формирование, развитие и ландшафтная структура // Изучение и сохранение естественных ландшафтов. Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ВГСПУ и естественно-географического факультета ВГСПУ. Волгоград, 12–15 сентября 2011 г. М.: Планета, 2011. С. 332–336.
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Головлев П.П. и др. Русловые процессы, их моделирование и управление на урбанизированном участке крупнейшей реки (Покровско-Якутский водный узел на р. Лене) // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 21. М.: Изд-во МГУ, 2019. С. 208–256.
- Krylenko I.N., Pavlyukevich E.D., Zavadskii A.S. et al. Modelling of potential impact of climate change on water regime and channel processes in the river Lena near city Yakutsk: possibilities and limitations, *Geography, Environment, Sustainability*, 2024, no. 17(4), p. 112–120.
- Golovlyov P., Kornilova E., Krylenko I. et al. Numerical modeling and forecast of channel changes on the river Lena near city Yakutsk, *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 2019, no. 381, p. 65–71.

Поступила в редакцию 25.04.2025

После доработки 12.05.2025

Принята к публикации 20.05.2025

CHANGES IN THE FLOODING REGIME OF THE LENA RIVER LEFT BANK FLOODPLAIN NEAR YAKUTSK

A.S. Zavadsky¹, V.V. Surkov², M.A. Samokhin³

^{1,2} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology

¹ Leading Scientific Researcher; Ph.D. in Geography; e-mail: az-mgu@mail.ru

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

³ Scientific Researcher; Ph.D. in Geography; e-mail: gidromiha@mail.ru

The flood protection of Yakutsk includes 75 km of dams, covering about 40% of the left-bank part of the valley bottom (270 km²). The dams reduced the width of flooding in the Yakutsk area by 1,3–5 km (by 15–30%). The construction of the protective perimeter is accompanied by the development of the floodplain and the transformation of its urochisches.

Four types of basins have emerged on the floodplain. The first type is a regularly flooded riverbed zone. The flood flow transformation is local there; meadow and forest complexes of the floodplain are preserved. The second type includes the central floodplain areas, which have preserved the hydraulic connection with the riverbed. The probability of their flooding has decreased by 2–3 times. They dry out, their swamps and hydromorphic complexes degrade, meadows are being drained; pasture digression has increased, and the floodplain is actively being built up. The third type is isolated, dammed pools. Depending on the water balance, they undergo drying or water logging. In the residential area water logging prevails, which is facilitated by the disruption of the network of floodplain hollows blocked by dams. Lack of the flowing worsens the drainage of the floodplain: flooding of quarters is common; water accumulates under buildings, destroying piles and foundations, which lead to accidents. The fourth type includes the basins of small rivers flowing through the floodplain. Currently, their flooding is limitedly possible; drying contributes to the spread of dry and steppe meadows on the slopes of low ridges and into the bottoms of hollows. The pastoral use of the floodplain has led to the replacement of forest urochisches by meadow-shrub communities; however, the restoration of forests and woodlands takes place around new rural settlements. Non-flooded areas are being built up. During further development of the floodplain, not only water protection measures should be provided, but also environmental protection measures and measures to improve floodplain areas leaving the flooding zone.

Keywords: the Tuymaada Valley, flood, water-stop dams, transformation of floodplain landscape

Acknowledgements. Integration and analysis of field materials were conducted under the State Assignment of the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes, Lomonosov MSU (No 121051100166-4).

REFERENCES

- Belikov V.V., Zaitsev A.A., Militeev A.N. Matematicheskoye modelirovaniye slozhnykh uchastkov rusel krupnykh rek [Mathematical modeling of complex sections of large river channels], *Vodnyye resursy*, 2002, vol. 29, no. 6, p. 698–705. (In Russian)
- Berkovich K.M., Chalov R.S., Chernov A.V. *Ekologicheskoye ruslovedeniye* [Ecological studies of channel processes], Moscow, GEOS Publ., 2000, 331 p. (In Russian)
- Berkovich K.M., Zavadsky A.S., Ruleva S.N. et al. [Quarry extraction of building materials in the downstream pool of the Novosibirsk hydroelectric power station and their influence on the Ob River channel], *Eroziya pochv i ruslovye processy* [Soil erosion and channel processes], Moscow, Geographical Faculty of Moscow State University Publ., 2005, vol. 15, p. 187–207. (In Russian)
- Zavadsky A.S., Surkov V.V., Chernov A.V. [Floodplain of the Moskva River, in the lower reaches, its ecological state, development under the intensive technogenic use and assessment of technical disturbance of its natural territorial complexes], *Eroziya pochv i ruslovye processy* [Soil erosion and channel processes], Moscow, Geographical Faculty of Moscow State University Publ., 2019, iss. 21, p. 113–149. (In Russian)
- Surkov V.V. [Technogenic terraces, their formation, evolution and landscape structure], *Izuchenie i sohranenie estvennykh landshaftov* [Study and preservation of natural landscapes. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the VGSPU and the Faculty of Natural Geography of the VGSPU], Volgograd, September 12–15, 2011, Moscow, Planeta Publ., 2011, p. 332–336. (In Russian)
- Chalov R.S., Zavadsky A.S., Golovlev P.P. et al. [Channel processes, their modeling and management in an urbanized section of the largest river (Pokrovsko-Yakutsky water node on the Lena River)], *Eroziya pochv i ruslovye processy* [Soil erosion and channel processes], Moscow, Publ. House of Moscow State University, 2019, iss. 21, p. 208–256. (In Russian)
- Krylenko I.N., Pavlyukevich E.D., Zavadskii A.S. et al. Modelling of potential impact of climate change on water regime and channel processes in the river Lena near city Yakutsk: possibilities and limitations, *Geography, Environment, Sustainability*, 2024, no. 17(4), p. 112–120.
- Golovlyov P., Kornilova E., Krylenko I. et al. Numerical modeling and forecast of channel changes on the river Lena near city Yakutsk, *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 2019, no. 381, p. 65–71.

Received 25.04.2025

Revised 12.05.2025

Accepted 20.05.2025

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ О-ВА ОНЕКОТАН (СЕВЕРНЫЕ КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

А.А. Романов¹, Я.А. Редькин², Е.А. Коблик³, П.А. Смирнов⁴,
Е.Н. Барканова⁵, А.Н. Каландадзе⁶

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кафедра биогеографии

² Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, отдел зоологических исследований

^{2-4, 6} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский зоологический музей

⁵ Село Горное, Курильский район, Сахалинская область

¹ Проф., д-р биол. наук; e-mail: putorana05@mail.ru

² Ст. науч. сотр., канд. биол. наук; e-mail: yardo@mail.ru

³ Ст. науч. сотр., канд. биол. наук; e-mail: koblik@zmmu.msu.ru

⁴ Зоолог; e-mail: dryocopus@rambler.ru

⁵ Фотограф-анималист; e-mail: bobr72_72@mail.ru

⁶ Зоолог; e-mail: annwolf95@mail.ru

Проанализирована эколого-географическая структура населения птиц о-ва Онекотан. Использован метод маршрутного учета на трансектах неограниченной ширины. Авифауна о-ва Онекотан, формирующаяся в системе общих зонально-ландшафтных и высотно-поясных закономерностей, объединяет экологические группы морских и сухопутных, в т. ч. горных видов ($n = 7$). Зоогеографическая оригинальность авифауны обусловлена сочетанием элементов пацифического, сибирского, дальневосточного островного, арктического фаунистических комплексов, сибирско-американских и широко распространенных видов. С высотой сокращаются видовое богатство, плотность населения птиц, обилие большинства видов. В авифауне лесного пояса 26 видов, подгольцового – 17, гольцового – 14, на океанической акватории и побережье – 29 видов, при плотности населения, соответственно 559, 306, 221, 129–223 ос./км². В населении сухопутных местообитаний в числе доминантов или субдоминантов гольцовый конек, золотистый дрозд, соловей-красношейка, охотский сверчок, пеночка-таловка, щур. В населении океанической акватории численно доминируют семь видов: в ее прибрежной части – каменушка, краснолицый баклан, тихоокеанская чайка, тихоокеанский чистик, а на значительном удалении от берега – глупыш, тонкоклювая кайра, топорок.

Ключевые слова: авифауна, население, видовое разнообразие, высотные пояса, океан

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.11

ВВЕДЕНИЕ

Проведенные исследования направлены на изучение географии населения птиц и формирование комплексной оценки биоразнообразия о-ва Онекотан – второго по величине из числа северных о-вов Большой Курильской гряды. Местная авифауна относительно бедна. Тем не менее наряду с морскими птицами, связанными в основном с окружающими остров акваториями, целый ряд сухопутных и околотовных видов освоили внутриостровные и прибрежные местообитания, зачастую находя здесь широтные пределы своего распространения и образуя скопления на гнездовье, послегнездовых кочевках или сезонных миграциях [Yamashina 1931; Гизенко, 1955; Подковыркин, 1955; Артюхин, Бурканов, 1999; Артюхин и др. 2001; Артюхин, 2009; Нечаев, 2005; Лобков и др., 2015]. Миграционные пути многих птиц

связывают о-в Онекотан с Камчаткой, приохотскими территориями материковой суши и тропиками Юго-Восточной Азии. При этом для о-ва Онекотан отсутствуют какие-либо обобщающие работы по авифауне, данные по структуре и ландшафтно-биотопической дифференциации населения птиц, а характер пребывания здесь большинства видов, особенно из числа наземных, остается неясным. В зоогеографическом отношении о-в Онекотан остается наименее изученным из крупных островов всей Курильской гряды. Проведенное нами исследование – первое стационарное обследование авифауны о-ва Онекотан в гнездовой период, направленное на познание пространственной организации биоты и оценку разнообразия птиц как одних из наиболее значимых элементов островных экосистем. Цель работы: выявление эколого-географических закономерностей формирования

фауны и населения птиц о-ва Онекотан для комплексной оценки биоразнообразия Северных Курильских о-вов. Основные задачи: 1) выявление видового состава и структуры авифауны; 2) выявление основных параметров населения птиц (доминирующие по обилию виды, плотность, видовое богатство); 3) установление пространственной дифференциации фауны и населения птиц; 4) сравнение фауны и населения птиц основных типов местообитаний.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Протяженность о-ва Онекотан составляет 43 км, максимальная ширина – 17 км, площадь – 425 км². С запада о-в Онекотан омывается Охотским морем, с востока – Тихим океаном. Прямолинейные участки береговой линии чередуются с заливами и мысами. Горный рельеф сформирован вулканическими массивами высотой 300–900 м над уровнем моря. Климат типично океанический. Лето прохладное, туманное и дождливое, длится с последней декады июня по сентябрь. Господствует стланиковая растительность из ольховника Максимовича (*Duschekia maximowiczii* (Callier) Pouzar), ольховника кустарникового (*Duschekia fruticosa* (Rupr.) Pouzar), кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel). Выделяют лесной, подгольцовый и гольцовый высотные пояса растительности [Воробьев, 1963]. На тихоокеанской стороне о-ва Онекотан с 11 июля по 2 августа 2024 г. обследованы бухты Муссель, Нигори, Блакостон, Немо, бассейны рек, впадающих в бухту Муссель, нижнее течение р. Банная, северо-восточная часть вулкана Креницына от подножья до верхней кромки кальдеры Тао-Русыр, формирующей Кольцевой хребет, водораздел между кальдерой Тао-Русыр и вершинами гор Заварицкого и Крыжановского, котловина оз. Черное у северного подножья вулкана Немо. Протяженность учетных маршрутов, проведенных на высотах 0–650 м над уровнем моря по методике Ю.С. Равкина [1967], составила 161 км: 91 км в сухопутных местообитаниях, 70 км – на океанической акватории и побережье. Высоту местности и длину маршрутов определяли по приборам глобального позиционирования (GPS). Авифауны сравнивались по коэффициенту фаунистической общности Серенсена [Песенко, 1982], население птиц – по коэффициенту сходства населения [Наумов, 1964]. Доминанты в населении птиц составили более 10%, субдоминанты – 1–10%. Авифауна охарактеризована по типам фаун [Штегман, 1938; Кишинский, 1988] с учетом широкопространенных видов, имеющих обширный ареал и неясный центр происхождения. В номенклатуре мы следовали сводке Е.А. Коблика, В.Ю. Архипова [2014].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях высотной поясности о-ва Онекотан с высотой сокращается видовое богатство, плотность населения птиц, обилие большинства видов. В авифауне лесного пояса 26 (49%) видов, подгольцового – 17 (32%), гольцового – 14 (26%) видов (табл.).

Видовой состав авифауны в обследованной части о-ва Онекотан при переходе от одного к другому высотному поясу меняется постепенно. Из 26 видов птиц, населяющих нижний лесной пояс, и 17 видов – подгольцовый пояс, 15 видов являются общими для авифаун обоих поясов. Из 17 видов птиц, населяющих подгольцовый пояс, и 14 видов – гольцовый пояс, 13 видов являются общими для авифаун этих поясов. Почти все виды, зафиксированные в подгольцовом поясе, за исключением тундряной куропатки (*Lagopus muta*) и сибирского горного выюрка (*Leucosticte arctoa*), встречаются и в лесном поясе, а виды гольцового пояса, за исключением полевого жаворонка (*Alauda arvensis*), – в подгольцовом поясе.

Коэффициенты фаунистической общности смежных поясов наиболее высокие: лесного и подгольцового поясов – 70%, подгольцового и гольцового – 84%. Сходство фаун лесного и гольцового поясов существенно ниже – 55%.

На о-ве Онекотан 12 видов птиц (23%) населяют местообитания только одного высотного пояса, не заходя в соседние. Из числа таких видов лесному поясу свойственны 11, в том числе перепелятник (*Accipiter nisus*), вальдшнеп (*Scolopax rusticola*), сибирский пепельный улит (*Heteroscelus brevipes*), глухая кукушка (*Cuculus optatus*), пятнистый конек (*Anthus hodgsoni*), горная трясогузка (*Motacilla cinerea*), ворон (*Corvus corax*), юрок (*Fringilla montifringilla*), чечевица (*Carpodacus erythrinus*), камышовая овсянка (*Schoeniclus schoeniclus*), а также случайно залетный вид – черный коршун (*Milvus migrans*). Единственный субспецифичный вид гольцового пояса – полевой жаворонек, отсутствующий в типичных местообитаниях лесного и подгольцового поясов вулкана Креницына, но образующий локальные поселения на внепоясных участках разнотравно-луговой растительности у оз. Черное в окрестностях вулкана Немо. В подгольцовом поясе о-ва Онекотан специфичных видов птиц не отмечено.

В обследованной части о-ва Онекотан 17 видов птиц (32%) обитают в диапазоне высот, охватывающем не менее двух высотных поясов. Все три высотных пояса населяют 11 видов: сапсан (*Falco peregrinus*), зимняк (*Buteo lagopus*), гольцовый конек (*Anthus rubescens*), камчатская трясогузка (*Motacilla lugens*), золотистый дрозд (*Turdus chrysolaus*), соловей-красношейка (*Calliope calliope*), охотский сверчок (*Locustella ochotensis*), кедровка (*Nucifraga caryocatactes*), китайская зеленушка (*Chloris sinica*), чечетка (*Acanthis flammea*), щур (*Pinicola enucleator*).

Таблица

Население птиц о-ва Онекотан (ос./км²)

Виды	Открытая океаническая акватория в 2–5 км от берега	Прибойная полоса и прибрежная акватория (до 1 км от берега)	Разнообразие на прибрежных крутых склонах и террасах	Внепоясные разнотравные луга с куртинами кустарников	Лесной пояс: лес в долинах водотоков	Лесной пояс: лес на водоразделах	Подгольцовый пояс: заросли кустарников и разнотравье	Горная тундра гольцового пояса
Тундряная куропатка (<i>Lagopus muta</i> (Montin, 1781))	–	–	–	–	–	–	0,8	1,8
Каменушка (<i>Histrionicus histrionicus</i> (Linnaeus, 1758))	–	49,9	–	–	–	–	–	–
Горбоносый турпан (<i>Melanitta deglandi</i> (Bonaparte, 1850))	–	1,0	–	–	–	–	–	–
Гоголь (<i>Bucephala clangula</i> (Linnaeus, 1758))	–	0,1	–	–	–	–	–	–
Длинноносый крохаль (<i>Mergus serrator</i> Linnaeus, 1758)	–	0,1	–	–	–	–	–	–
Краснозобая гагара (<i>Gavia stellata</i> (Pontoppidan, 1763))	0,06	0,3	–	–	–	–	–	–
Белошейная гагара (<i>Gavia pacifica</i> (Lawrence, 1858))	–	0,3	–	–	–	–	–	–
Темноспинный альбатрос (<i>Phoebastria immutabilis</i> (Rothschild, 1893))	0,1	–	–	–	–	–	–	–
Глупыш (<i>Fulmarus glacialis</i> Linnaeus, 1761)	125,5	8,3	–	–	–	–	–	–
Тонкоклювый буревестник (<i>Ardenna tenuirostris</i> (Temminck, 1836))	11,2	–	–	–	–	–	–	–
Северная качурка (<i>Oceanodroma leucorhoa</i> (Vieillot, 1817))	2,1	–	–	–	–	–	–	–
Сизая качурка (<i>Oceanodroma furcata</i> (J.F. Gmelin, 1789))	0,9	–	–	–	–	–	–	–
Берингов баклан (<i>Phalacrocorax pelagicus</i> Pallas, 1811)	2,4	0,5	–	4,8	–	–	–	–
Краснолицый баклан (<i>Phalacrocorax urile</i> (J.F. Gmelin, 1789))	1,4	15,8	–	3,0	–	–	–	–
Сапсан (<i>Falco peregrinus</i> Tunstall, 1771)	0,06	0,05	0,05	0,1	0,1	–	0,2	0,1
Черный коршун (<i>Milvus migrans</i> (Boddaert, 1783))	–	–	–	–	0,3	–	–	–
Белоплечий орлан (<i>Haliaeetus pelagicus</i> (Pallas, 1811))	–	–	0,04	–	–	–	–	–
Перепелятник (<i>Accipiter nisus</i> (Linnaeus, 1758))	–	–	–	–	–	0,1	–	–
Зимняк (<i>Buteo lagopus</i> (Pontoppidan, 1763))	–	0,1	0,2	–	0,4	0,1	1,5	0,1
Вальдшнеп (<i>Scolopax rusticola</i> Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	0,3	0,3	–	–
Сибирский пепельный улит (<i>Heteroscelus brevipes</i> (Vieillot, 1816))	–	0,5	–	–	1,6	1,1	–	–
Перевозчик (<i>Actitis hypoleucos</i> (Linnaeus, 1758))	–	0,3	–	–	–	–	–	–
Берингийский песочник (<i>Calidris ptilocnemis</i> (Coues, 1873))	–	0,7	–	–	–	–	–	–
Короткохвостый поморник (<i>Stercorarius parasiticus</i> (Linnaeus, 1758))	0,2	–	–	–	–	–	–	–
Тихоокеанская чайка (<i>Larus schistisagus</i> Stejneger, 1884)	15,2	12,2	7,6	4,8	0,2	–	0,4	–
Серокрылая чайка (<i>Larus glaucescens</i> J.F. Naumann, 1840)	–	0,4	–	–	–	–	–	–
Моевка (<i>Rissa tridactyla</i> (Linnaeus, 1758))	0,07	–	–	–	–	–	–	–
Тонкоклювая кайра (<i>Uria aalge</i> (Pontoppidan, 1763))	21,4	4,2	–	–	–	–	–	–
Толстоклювая кайра (<i>Uria lomvia</i> (Linnaeus, 1758))	0,2	–	–	–	–	–	–	–
Тихоокеанский чистик (<i>Cephus columba</i> Pallas, 1811)	1,5	28,5	–	–	–	–	–	–
Большая конюга (<i>Aethia cristatella</i> (Pallas, 1769))	10,7	–	–	–	–	–	–	–

Виды	Открытая океаническая акватория в 2–5 км от берега	Прибойная полоса и прибрежная акватория (до 1 км от берега)	Разнотравье на прибрежных крутых склонах и террасах	Внепоясные разнотравные луга с куртинами кустарников	Лесной пояс: лес в долинах водотоков	Лесной пояс: лес на водоразделах	Подгольцовый пояс: заросли кустарников и разнотравье	Горная тундра гольцового пояса
Топорок (<i>Lunda cirrhata</i> (Pallas, 1769))	29,8	1,7	–	–	–	–	–	–
Глухая кукушка (<i>Cuculus optatus</i> Gould, 1845)	–	–	–	–	0,9	1,6	–	–
Полевой жаворонок (<i>Alauda arvensis</i> Linnaeus, 1758)	–	–	0,3	43,8	–	–	–	4,7
Пятнистый конек (<i>Anthus hodgsoni</i> Richmond, 1907)	–	–	0,3	–	2,4	2,5	–	–
Гольцовый конек (<i>Anthus rubescens</i> (Tunstall, 1771))	–	0,8	1,1	28,2	9,6	13,2	78,0	131,2
Горная трясогузка (<i>Motacilla cinerea</i> Tunstall, 1771)	–	–	–	–	0,3	–	–	–
Камчатская трясогузка (<i>Motacilla lugens</i> Gloger, 1829)	–	3,3	6,7	13,1	37,6	10,0	2,7	8,0
Крапивник (<i>Troglodytes troglodytes</i> (Linnaeus, 1758))	–	–	1,6	–	48,0	18,3	4,9	–
Золотистый дрозд (<i>Turdus chrysolaus</i> Temminck, 1832)	–	–	0,5	17,9	181,2	170,1	34,9	16,3
Соловей-красношейка (<i>Calliope calliope</i> (Pallas, 1776))	–	–	0,3	6,0	76,3	105,4	48,8	31,3
Охотский сверчок (<i>Locustella ochotensis</i> (Middendorff, 1853))	–	–	–	4,3	16,6	43,4	6,9	29,7
Пеночка-таловка (<i>Phylloscopus borealis</i> (J.H. Blasius, 1858))	–	–	0,5	19,7	102,2	81,4	22,2	–
Кедровка (<i>Nucifraga caryocatactes</i> (Linnaeus, 1758))	–	–	–	–	23,7	16,6	1,8	0,8
Ворон (<i>Corvus corax</i> Linnaeus, 1758)	–	–	0,1	–	0,5	0,4	–	–
Юрок (<i>Fringilla montifringilla</i> Linnaeus, 1758)	–	–	–	–	0,4	–	–	–
Китайская зеленушка (<i>Chloris sinica</i> (Linnaeus 1766))	–	–	0,3	5,4	10,0	8,1	3,2	5,2
Чечетка <i>Acanthis flammea</i> (Linnaeus 1758))	–	–	0,9	–	3,2	6,2	11,6	6,1
Сибирский горный вьюрок (<i>Leucosticte arctoa</i> (Pallas, 1811))	–	–	–	–	–	–	4,0	0,8
Чечевица (<i>Carpodacus erythrinus</i> (Pallas, 1770))	–	–	–	–	0,6	–	–	–
Щур (<i>Pinicola enucleator</i> (Linnaeus, 1758))	–	–	–	23,6	11,2	34,6	79,3	13,4
Камышовая овсянка (<i>Schoeniclus schoeniclus</i> (Linnaeus, 1758))	–	–	–	–	0,8	2,2	–	–
Сизая овсянка (<i>Ocyris variabilis</i> (Temminck, 1836))	–	–	–	–	37,4	36,0	5,0	–
Всего	223	129	20	175	566	552	306	221

Выявлена пространственная дифференциация авифауны в пределах сухопутных местообитаний ($n = 4$) на высотах 15–200 м над ур. м. Лес в долинах водотоков населяет 25 видов птиц, лес на водоразделах – 20 видов, внепоясные участки лугового разнотравья с куртинами кустарников у оз. Черное – 13 видов, разнотравье на крутых склонах и плоских террасах океанического побережья – 15 видов птиц. В сухопутных местообитаниях внутренних частей о-ва Онекотан видовое разнообразие авифауны ($n = 25$, 47%) максимально в долинных лесах из ольховника древовидной фор-

мы с сомкнутостью крон близкой к 0,9 и имеющих наиболее полный вертикальный спектр ярусов фитоценоза.

В целом в сухопутных местообитаниях всех обследованных пунктов ($n = 8$) о-ва Онекотан мы зарегистрировали 31 вид, в обследованных пунктах побережья и сопредельной акватории ($n = 4$) – 29 видов.

Показатель представленности общего списка видов ($n = 53$), зарегистрированных на учетах 2024 г., в отдельных обследованных лесных местообитаниях ($n = 2$) 38–47%, в мозаичных местообитаниях из

разнотравья и зарослей кустарников ($n = 2$) – 24–32%, в горной тундре ($n = 1$) – 26%, на побережье и сопредельной акватории ($n = 4$) 28–40%.

Одновременно во всех или почти всех типах сухопутных местообитаний ($n = 4–6$) о-ва Онекотан зарегистрировано 14 видов птиц, формирующих общее фаунистическое ядро: сапсан, зимняк, тихоокеанская чайка (*Larus schistisagus*), голь-

цовый конек, камчатская трясогузка, крапивник (*Troglodytes troglodytes*), золотистый дрозд, соловей-красношейка, охотский сверчок, пеночка-таловка (*Phylloscopus borealis*), кедровка, китайская зеленушка, чечетка, шур (рис. 1–4). Охотский сверчок и шур избегают морского побережья, но населяют при этом все прочие обследованные сухопутные местообитания.



Рис. 1. Крапивник (*Troglodytes troglodytes* (Linnaeus, 1758)) (фото Е.Н. Баркановой)

Fig. 1. Wren (*Troglodytes troglodytes* (Linnaeus, 1758)) (photo by E.N. Barkanova)



Рис. 2. Соловей-красношейка (*Calliope calliope* (Pallas, 1776)) (фото Е.Н. Баркановой)

Fig. 2. Rubythroat (*Calliope calliope* (Pallas, 1776)) (photo by E.N. Barkanova)



Рис. 3. Золотистый дрозд (*Turdus chrysolaus* (Temminck, 1832)) (фото Е.Н. Баркановой)

Fig. 3. Golden Blackbird (*Turdus chrysolaus* (Temminck, 1832)) (photo by E.N. Barkanova)



Рис. 4. Кедровка (*Nucifraga caryocatactes* (Linnaeus, 1758)) (фото Е.Н. Баркановой)

Fig. 4. Nutcracker (*Nucifraga caryocatactes* (Linnaeus, 1758)) (photo by E.N. Barkanova)

Выявлен ряд видов ($n = 22$), пребывание каждого из которых на о-ве Онекотан зарегистрировано только в каком-либо одном из обследованных местообитаний ($n = 8$).

С океаническим побережьем и сопредельной акваторией экологически связаны 24 вида, в том числе с песчаными пляжами в полосе прибоя – перевозчик (*Actitis hypoleucos*) и берингийский песочник (*Calidris ptilocnemis*), с узкой полосой прибрежной акватории – каменушка (*Histrionicus histrionicus*), горбоносый турпан (*Melanitta deglandi*), гоголь (*Bucephala clangula*), длинноносый крохаль (*Mergus serrator*), белошейная гагара (*Gavia pacifica*), с открытой океанической акваторией – темноспинный альбатрос (*Phoebastria immutabilis*), тонкоклювый буревестник (*Ardenna tenuirostris*), северная качурка (*Oceanodroma leucorhoa*), сизая качурка (*Oceanodroma furcata*), короткохвостый поморник (*Stercorarius parasiticus*), моевка (*Rissa tridactyla*), большая конюга (*Aethia cristatella*). При этом одиночные тихоокеанские чайки регулярно встречались также в полете над сухопутными местообитаниями внутренних частей острова, а берингов баклан (*Phalacrocorax pelagicus*) и краснолицый баклан (*Phalacrocorax urile*) – на оз. Черное.

Одним-двумя пунктами лесных местообитаний в 2024 г. было ограничено пребывание горной трясогузки, сибирского пепельного улиты, вальдшнепа, выюрка, камышовой овсянки, чечевицы. Вероятно, распространение указанных видов на о-ве Онекотан не ограничивается единичными пунктами тех местообитаний, где они зарегистрированы в 2024 г., и они могут встречаться и в других частях острова со сходными экологическими условиями.

Ряд видов имеют другую специфику пространственно-биотопического распределения. Полевой жаворонок, широко распространенный вид открытых пространств, в условиях о-ва Онекотан экологически связан, с одной стороны, с низкорослыми вересчатниками гольцового пояса, с другой – с внепоясными разнотравно-луговыми растительными сообществами, формирующимися, например, на высоте около 100 м над ур. м. в окрестностях оз. Черное у подножия вулкана Немо или на приокеанических террасах, уровень поверхности которых не превышает 15 м над ур. м. Крапивник, кедровка и сизая овсянка (*Ocyris variabilis*) населяют лесной и подгольцовый пояса. При этом кедровка также встречается в гольцовом поясе, а крапивник – на высоких крутых океанических берегах, заросших густым высокотравьем.

Коэффициенты общности локальных авифаун сухопутных местообитаний ($n = 6$) о-ва Онекотан варьируют в пределах 51–84% (в подавляющем большинстве случаев ($n = 8$) – выше 60%). Коэффициент общности локальных авифаун обследованных участков прибрежной и открытой океанической акватории – 47%.

Согласно отрывочным данным [Yamashina, 1931; Гизенко, 1955; Велижанин, 1973; Нечаев, 2005; Артюхин и др., 2001; Артюхин, 2009], ранее было известно о пребывании на о-ве Онекотан и сопредельной акватории 85 видов птиц. В 2024 г. на о-ве Онекотан нами зарегистрировано 53 вида птиц, в т. ч. впервые 9 видов: гоголь, вальдшнеп, перевозчик, сибирский пепельный улит, белошейная гагара, перепелятник, черный коршун, юрок, чечетка. Таким образом, общий список видов о-ва Онекотан насчитывает теперь 94 вида. Актуальна также информация 2024 г. о регионально редких локально распространенных птицах (серокрылая чайка (*Larus glaucescens*), курильский подвид тихоокеанского чистика (*Cephus columba snowi*), камышовая овсянка), в том числе занесенных в Красную книгу Российской Федерации [2021] (белоплечий орлан (*Haliaeetus pelagicus*), сапсан, южнокамчатский подвид берингийского песочника (*Calidris ptilocnemis kurilensis*)).

Показатель представленности общей авифауны о-ва Онекотан ($n = 53$) на всей обследованной в 2024 г. сухопутной территории (где в целом отмечен 31 вид) 58%, на всей обследованной в 2024 г. части побережья и сопредельной акватории (где в целом отмечено 29 видов) 55%.

Среди всех видов птиц ($n = 53$), отмеченных в 2024 г. на о-ве Онекотан, к гнездящимся и вероятно гнездящимся отнесены 35 видов (66%), к гнездящимся (вероятно гнездящимся) и наблюдавшимся при этом на кочевках или миграциях – 3 вида (6%), к кочующим или мигрирующим – 14 видов (26%), к залетным – 1 вид (2%). Некоторые размножающиеся на острове сухопутные виды (сапсан, кедровка, соловей-красношейка, золотистый дрозд, гольцовый конек, сибирский горный выюрок, шур) представлены подвидами, широко распространенными в пределах Большой Курильской гряды. Ряд других гнездящихся видов ($n = 7$) представлены северными подвидами (*Accipiter nisus pallens*, *Buteo lagopus kamchatkensis*, *Alauda arvensis pekinensis*, *Locustella ochotensis subcerthiola*, *Phylloscopus borealis examinandus*, *Ocyris variabilis musicus*, *Schoenichus schoenichus nortoniensis*), распространенными в т. ч. и на п-ове Камчатка. Гнездящихся подвидовых эндемиков северных островов Курильской гряды отмечено два: курильская тундряная куропатка (*Lagopus muta kurilensis*), северокурильский крапивник (*Troglodytes troglodytes kurilensis*).

Таксономическая структура авифауны ($n = 53$), выявленной в 2024 г. на о-ве Онекотан, включает в себя 10 отрядов. По числу представленных видов преобладают воробьеобразные (Passeriformes) ($n = 20$, 38%), ржанкообразные (Charadriiformes) ($n = 13$, 24%), буревестникообразные (Procellariiformes) ($n = 5$, 9%),

гусеобразные (Anseriformes) ($n = 4$, 7%), ястребообразные (Accipitriformes) ($n = 4$, 7%), суммарно составляющие 85%.

Северная часть Большой Курильской гряды, в том числе и о-в Онекотан, находятся на восточной окраине Палеарктического фаунистического подцарства. Поэтому закономерно, что в зоогеографическом отношении оригинальность местной авифауны состоит из сочетания элементов, относящихся к 9 фаунистическим комплексам. По числу представленных видов наиболее значимы пацифический ($n = 9$, 18%), сибирский ($n = 8$, 16%), дальневосточный островной ($n = 6$, 11%), суммарно составляющие 45%, а также широко распространенные виды ($n = 12$, 22%).

Весьма специфичны дальневосточные островные виды, центр становления которых связан с Дальним Востоком, а современный ареал частично или полностью (в разных комбинациях) охватывает п-ов Камчатку, о-в Сахалин, Курильские и Японские о-ва. Среди них: 1) охотские виды (белоплечий орлан, тихоокеанская чайка, охотский сверчок, камчатская трясогузка) распространены преимущественно вокруг Охотского моря – на о-ве Хоккайдо, о-ве Сахалин, Курильских о-вах, иногда на п-ове Камчатка, местами на материковом побережье; 2) охотско-японские виды (золотистый дрозд, сизая овсянка) гнездятся в Центральной и Северной Японии, но не проникают далеко к югу и на Корейский п-ов; к северу распространены на большей части о-ва Сахалин и Курильских о-вах, иногда достигая Камчатки (сизая овсянка).

В пацифический комплекс входят темноспинный альбатрос, тонкоклювый буревестник, связанный с Южной Пацификой, а также значительное число видов ($n = 7$), генетически более определенно связанных с Северной Пацификой: сизая качурка, берингов баклан, краснолицый баклан, тихоокеанский чистик, большая конюга, топорок (*Fratercula cirrhata*), серокрылая чайка.

Менее значимы в авифауне о-ва Онекотан представители арктического ($n = 5$, 9%) и сибирско-американского ($n = 5$, 9%) типов фауны. Еще меньше на облик авифауны о-ва Онекотан влияют китайские ($n = 3$, 6%), тибетские ($n = 1$, 2%) виды, и виды, происхождение которых связано с океанами Северного полушария ($n = 4$, 7%), – глупыш (*Fulmarus glacialis*), северная качурка, тонкоклювая кайра (*Uria aalge*). Суммарная доля этих видов, играющих второстепенную роль в местных сообществах птиц, не превышает 33%. При этом некоторые из них, например сибирско-американский вид каменушка, появляются в большом числе у морского побережья о-ва Онекотан в период осенней миграции.

На побережье о-ва Онекотан и сопредельной акватории зарегистрировано 15 видов морских птиц и 10 видов, экологически связанных с морскими местообитаниями в какие-либо периоды своего жизненного цикла. Суммарно этот комплекс видов ($n = 25$) составляет 27% от общего списка морской авифауны Дальнего Востока России ($n = 91$) [Артюхин, Бурканов, 1999; Артюхин и др., 2001].

Прибрежные местообитания о-ва Онекотан и сопредельная океаническая акватория привлекают пролетные широко распространенные (гоголь, перевозчик) и тундровые виды (краснозобая и белошейная гагары, берингийский песочник, короткохвостый поморник), виды, экологически тесно связанные с морской средой обитания во внегнездовой период (каменушка, горбоносый турпан, длинноносый крохаль), а также настоящие морские виды птиц (берингов и краснолицый бакланы, тихоокеанская чайка, тихоокеанский чистик). В океане, на удалении 2–5 км от побережья, зарегистрированы темноспинный альбатрос, глупыш, тонкоклювый буревестник, северная и сизая качурки, моевка, тонкоклювая кайра, толстоклювая кайра (*Uria lomvia*), большая конюга, топорок.

Горную специфику авифауны о-ва Онекотан определяют виды ($n = 7$, 13%), экологически тесно связанные с сухопутными или водно-околоводными элементами альпийского ландшафта на всем пространстве своего ареала (тундряная куропатка, каменушка, гольцовый конек, сибирский горный вьюрок) или значительной его части (сибирский пепельный улит, горная трясогузка, соловей-красношейка). Широкое распространение на о-ве Онекотан кедрового стланика предопределило также наличие здесь специфического орнитокомплекса, весьма характерного для подгольцового пояса гор Северо-Восточной Азии. Этот комплекс представлен кедровкой и щуром, экологически и географически неразрывно связанных с подгольцовыми зарослями кедрового стланика.

На склонах Кольцевого хребта плотность населения птиц максимальна в нижней части высотного профиля – в лесных местообитаниях лесного пояса (552–566, в среднем – 559 ос./км²), в гольцовом поясе на вершине кальдеры вулкана минимальна (221 ос./км²), а в подгольцовом поясе имеет промежуточное значение (306 ос./км²) (см. таблицу). В аналогичных сухопутных древесно-кустарниковых и травянистых местообитаниях более южных островов плотность населения несколько выше: на о-ве Уруп 610 ос./км², на о-ве Итуруп – 757 ос./км² [Романов и др., 2024].

На о-ве Онекотан плотность населения птиц сокращается в 1,8 раза при переходе из лесного пояса в подгольцовый, и в 1,4 раза при переходе из

подгольцового пояса в гольцовый. Выявленная закономерность соответствует общему понижению продуктивности сообществ животных от подножий к вершинам гор и демонстрирует относительную автономность формирования населения птиц каждого высотного пояса. Это подтверждается тем, что уровень сходства населения лесного и подгольцового поясов составляет 24%, лесного и гольцового – 18% и лишь подгольцового и гольцового значительно больше – 43%.

Во внепоясных разнотравно-луговых местообитаниях на высоте около 100 м над ур. м. плотность населения птиц составляет 175 ос./км², а на крутых склонах и плоских террасах океанического побережья не превышает 20 ос./км².

На о-ве Онекотан плотность населения птиц в прибрежной акватории и прибойной полосе со скалистыми обрывами и песчаными пляжами – 129 ос./км², на сопредельной океанической акватории – 223 ос./км². Плотность населения птиц на побережье и сопредельной морской акватории о-ва Уруп 536 ос./км², о-ва Итуруп – 607 ос./км² [Романов и др., 2024].

Коэффициенты сходства населения в обследованных сухопутных местообитаниях ($n = 5$) о-ва Онекотан составили 2–43% (в большинстве случаев ($n = 6$) – ниже 20%), на обследованных участках прибрежной и открытой океанической акватории – 9%.

Среди птиц, обитающих одновременно в трех высотных поясах, выявлены виды, имеющие максимальное обилие в лесном поясе и уменьшающие численность от подножий к вершинам (золотистый дрозд, соловей-красношейка, кедровка), виды с максимальным обилием в гольцовом поясе и уменьшающие численность от вершин к подножьям (гольцовый конек), виды, имеющие в подгольцовом поясе максимальное (зимняк, чечетка, шур) или минимальное обилие (камчатская трясогузка, охотский сверчок).

Плотности населения птиц в лесах долин водотоков (566 ос./км²) и в лесах на водоразделах (552 ос./км²) почти одинаковы. При этом ряд видов ($n = 9$), в целом широко распространенных в лесах, находят оптимальные условия и заселяют наиболее плотно лишь один из двух типов лесных местообитаний. Установлено, что обилие камчатской трясогузки, крапивника, пеночки-таловки, кедровки выше в долинах рек и ручьев, а обилие соловья-красношейки, охотского сверчка, чечетки, шура – на плакорах.

Обилие некоторых видов ($n = 7$), широко встречающихся по всей океанической акватории, достигало максимальных значений лишь на определенных ее участках. Например, установлено, что на открытой океанической акватории на значительном (2–5 км) удалении от о-ва Онекотан обилие глупыша, беринго-

ва баклана, тонкоклювой кайры и топорка составляет 125,0; 2,4; 21,4; 29,8 ос./км², а на акватории вблизи островного побережья не превышает соответственно 8,3; 0,5; 4,2; 1,7 ос./км². В противоположность этому обилие распространенных преимущественно вдоль побережья краснозобой гагары (*Gavia stellata*), краснолицего баклана, тихоокеанского чистика составляет в неширокой полосе акватории, окаймляющей островную сушу 0,3; 15,8; 28,5 ос./км², а на открытой океанической акватории не превышает соответственно 0,06; 1,4; 1,5 ос./км² (см. табл.).

В населении птиц лесного пояса численно доминируют золотистый дрозд, соловей-красношейка, пеночка-таловка, подгольцового – гольцовый конек, золотистый дрозд, соловей-красношейка, шур, гольцового – гольцовый конек, соловей-красношейка, охотский сверчок. Полевой жаворонок – единственный специфический доминант в населении птиц мозаичных местообитаний из лугового разнотравья и куртин кустарников у оз. Черное в окрестностях вулкана Немо. Среди субдоминантов наиболее многочисленны в лесных местообитаниях камчатская трясогузка, крапивник, охотский сверчок, кедровка, шур, сизая овсянка, в подгольцовых мозаичных местообитаниях – пеночка-таловка и чечетка, в мозаичных местообитаниях гольцового пояса – золотистый дрозд и шур.

В населении птиц океанической акватории ($n = 2$) численно доминируют 7 видов, в том числе в ее прибрежной части – каменушка, краснолицый баклан, тихоокеанская чайка, тихоокеанский чистик, а на значительном удалении от берега – глупыш, тонкоклювая кайра, топорок. На открытой океанической акватории среди субдоминантов наиболее многочисленны тонкоклювый буревестник, тихоокеанская чайка, большая конюга.

ВЫВОДЫ

Авифауна о-ва Онекотан значительно беднее авифаун более южных о-вов Большой Курильской гряды, что согласуется с закономерностью сокращения видового богатства в северном направлении. Авифауна о-ва Онекотан формируется представителями 10 отрядов с преобладанием воробьеобразных, ржанкообразных, гусеобразных, буревестникообразных, ястребообразных, суммарно составляющих 85%.

Структура авифауны о-ва Онекотан соответствует ландшафтно-экологическим особенностям островных территорий Северной Пацифики, расположенных у восточных окраин Северной Евразии, а качественная однородность обследованных местообитаний обусловлена повсеместным преобладанием представителей одних и тех же отрядов, фаунистических комплексов и экологических

групп. Коэффициенты взаимной общности авифауны океанических участков 47%, сухопутных местообитаний – близки к 60% или выше.

Общность фауны птиц поддерживается в горизонтальной плоскости видами, широко распространенными одновременно в большинстве обследованных пунктов, а в вертикальной – одновременно населяющими смежные высотные пояса. Широкое вертикальное распространение многих видов птиц определяет значительное общее биоразнообразие по всему высотному профилю и, как следствие, сохраняет высокую потенциальную возможность успешного эволюционного развития горных сообществ птиц и формирования горно-островной авифауны в целом.

Зоогеографическая оригинальность местной авифауны обусловлена сочетанием элементов палеоарктического, сибирского, дальневосточного островного, арктического фаунистических комплексов, сибирско-американских и широко распространенных видов. Авифауна о-ва Онекотан, формирующаяся в системе общих зонально-ландшафтных и высотно-поясных закономерностей, объединяет экологические группы морских ($n = 15$), водно-околоводных внутренних водоемов ($n = 10$), сухопутных ($n = 28$), в т. ч. горных ($n = 7$) видов.

В условиях высотной поясности о-ва Онекотан с высотой сокращаются видовое богатство, плотность населения птиц, обилие большинства видов. Авифауна лесного пояса насчитывает 26 видов, подгольцового – 17, гольцового – 14, внепоясных разнотравно-луговых местообитаний внутри острова – 13, разнотравных лугов на крутых склонах и плоских террасах океанического побережья – 15, на океанической акватории и побережье – 29 видов, при плотности населения соответственно 559, 306, 221, 175, 20, 129–223 ос./км².

На о-ве Онекотан 17 видов (32%) обитают в широком диапазоне высот, охватывающем не менее двух высотных поясов. Ареалы таких видов имеют четко выраженную трехмерную структуру.

Показатель представленности общего списка видов ($n = 53$), зарегистрированных на учетах 2024 г., в отдельных обследованных лесных местообитаниях ($n = 2$) составляет 38–47%, в мозаичных местообитаниях из разнотравья и зарослей кустарников ($n = 2$) – 24–32%, в горной тундре ($n = 1$) – 26%, в местообитаниях побережья и сопредельной акватории ($n = 4$) 28–40%.

Коэффициент общности локальных авифауны сухопутных местообитаний составляет 51–84% (в большинстве случаев ($n = 8$) – выше 60%), обследованных участков прибрежной и открытой океанической акватории – 47%. Коэффициент сходства населения птиц сухопутных местообитаний составляет 2–43% (в большинстве случаев ($n = 6$) – ниже 20%), на обследованных участках прибрежной и открытой океанической акватории – 9%.

В населении птиц лесного пояса численно доминируют золотистый дрозд, соловей-красношейка, пеночка-таловка, подгольцового – гольцовый конек, золотистый дрозд, соловей-красношейка, щур, гольцового – гольцовый конек, соловей-красношейка, охотский сверчок. Полевой жаворонок – единственный специфический доминант в населении птиц внепоясных местообитаний из лугового разнотравья и кустарников у оз. Черное в окрестностях вулкана Немо.

В населении птиц обследованных участков океанической акватории численно доминируют 7 видов, в том числе в ее прибрежной части – каменушка, краснолицый баклан, тихоокеанская чайка, тихоокеанский чистик, а на значительном удалении от берега – глупыш, тонкоклювая кайра, топорок.

Благодарности. Авторы благодарны Министерству обороны Российской Федерации и Русскому географическому обществу за организацию экспедиции. Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды», гостемы «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды» (ЦИТИС № 121051100137-4), гостемы «Таксономический и биохронологический анализ животного мира как основа изучения и сохранения структуры биологического разнообразия» (ЦИТИС № 121032300105-0).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артюхин Ю.Б. Заметки о птицах Курильских островов // Русский орнитологический журнал. Т. 18. Экспресс-выпуск № 501. 2009. С. 1315–1318.
- Артюхин Ю.Б., Бурканов В.Н. Морские птицы и млекопитающие Дальнего Востока России: полевой определитель. М.: АСТ, 1999. 224 с.
- Артюхин Ю.Б., Трухин А.М., Корнев С.И. и др. Кадастр колоний морских птиц Курильских островов // Биология и охрана птиц Камчатки. 2001. № 3. С. 3–59.
- Велижанин А.Г. Обзор птиц Северных Курильских островов // Труды Биологического ин-та СО АН СССР. Новосибирск, 1973. Вып. 16. С. 234–259.
- Воробьев Д.П. Растительность Курильских островов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 92 с.

- Гизенко А.И. Птицы Сахалинской области. М.: АН СССР, 1955. 328 с.
- Кищинский А.А. Орнитофауна северо-востока Азии. М.: Наука, 1988. 288 с.
- Коблик Е.А., Архипов В.Ю. Фауна птиц стран Северной Евразии в границах бывшего СССР: списки видов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 171 с.
- Красная книга Российской Федерации. Том «Животные». 2-е изд. М.: Изд-во ВНИИ Экологии, 2021. 1128 с.
- Лобков Е.Г., Колотилин Н.Е., Лакомов С.П. и др. Дополнения к фауне птиц Северных Курильских островов (Шумшу и Парамушир) // Русский орнитологический журнал. 2015. Т. 24. Экспресс-выпуск № 1122. С. 1028–1041.
- Наумов Р.Л. Птицы в очагах клещевого энцефалита Красноярского края: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ИМПИТМ им. Е.И. Марциновского, 1964. 19 с.
- Нечаев В.А. Обзор фауны птиц (Aves) Сахалинской области // Растительный и животный мир острова Сахалин: материалы Международного сахалинского проекта. Владивосток: Дальнаука, 2005. Ч. 2. С. 246–327.
- Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М.: Наука, 1982. 287 с.
- Подковыркин Б.А. Список птиц северной части Курильской гряды // Зоологический журнал. 1955. Т. 34. № 6. С. 1379–1385.
- Равкин Ю.С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск, 1967. С. 66–75.
- Романов А.А., Коблик Е.А., Редькин Я.А. Пространственная организация населения птиц островов Уруп и Итуруп (Курильские острова) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. Т. 79. № 1. С. 103–113.
- Штегман Б.К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики // Фауна СССР. Птицы. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. Т. 1. Вып. 2. 157 с.
- Yamashina Y. Die Vogel der Kurilen, J. fur Ornithologie, 1931, jg. 79, no. 4, p. 491–541.

Поступила в редакцию 26.03.2025

После доработки 16.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL STRUCTURE OF BIRD POPULATION ON THE ONEKOTAN ISLAND (THE NORTHERN KURIL ISLANDS)

A.A. Romanov¹, Ya.A. Red'kin², E.A. Koblik³, P.A. Smirnov⁴, E.N. Barkanova⁵, A.N. Kalandadze⁶

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography

² Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch of RAS

^{2-4, 6} Lomonosov Moscow State University, Museum of Zoology

⁵ The Gornoe village, Kurilsk district, Sakhalin region

¹ Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: putorana05@mail.ru

² Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Biology; e-mail: yardo@mail.ru

³ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Biology; e-mail: koblik@zmmu.msu.ru

⁴ Zoologist; e-mail: dryocopus@rambler.ru

⁵ Animal Photographer; e-mail: bobr72_72@mail.ru

⁶ Zoologist; e-mail: annwolf95@mail.ru

The ecological and geographical structure of bird population on the Onekotan Island was analyzed using the technique of route count along the transects of unlimited width. The avifauna of the Onekotan Island forms under the system of general zonal-landscape and altitudinal-belt patterns and unites ecological groups of marine and terrestrial species, including mountain ones ($n = 7$). The zoogeographic originality of the avifauna is due to a combination of elements of the Pacific, Siberian, Far Eastern island, and Arctic faunistic complexes, as well as Siberian-American and widespread species. The species richness, bird population density, and abundance of most species decrease with altitude. There are 26 species in the avifauna of the forest belt, 17 in the subalpine belt, 14 in the alpine belt, and 29 species in the marine and coastal areas, with population densities of 559, 306, 221, and 129–223 ind./km², respectively. Dominants or subdominants in the population of terrestrial habitats include the Buff-bellied Pipit, Brown-headed Thrush, Siberian Rubythroat, Middendorff's Warbler, Arctic Warbler, and Pine Grosbeak. Seven species numerically dominate in the population of the marine area, namely Harlequin Duck, Red-faced Cormorant, Slaty-backed Gull, and Pigeon Guillemot (in the coastal part), and Northern Fulmar, Common Guillemot, and Tufted Puffin (at a considerable distance from the coast).

Keywords: avifauna, population, species diversity, altitudinal belts, ocean,

Acknowledgements. The authors are grateful to the Ministry of Defense of the Russian Federation and the Russian Geographical Society for organizing the expedition. The study was carried out under the Program for the development of the Interdisciplinary scientific and educational school of the Lomonosov Moscow State University "The Future of the Planet and the Global Environmental Changes", the State Assignment

121051100137-4 “Spatio-temporal organization of ecosystems under the environmental changes” and the State Assignment 121032300105-0 “Taxonomic and bio-chorological analysis of the animal world as a basis for the study and preservation of the structure of biological diversity”.

REFERENCES

- Artjuhin Ju.B. Zametki o pticah Kuril'skih ostrovov [Notes on the Birds of the Kuril Islands], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 2009, T. 18, Ekspress-vypusk, no. 501, p. 1315–1318. (In Russian)
- Artjuhin Ju.B., Truhin A.M., Kornev S.I., Purtov S.Ju. Kadastr kolonij morskikh ptic Kuril'skih ostrovov [Cadastre of seabird colonies of the Kuril Islands], *Biologiya i ohrana ptic Kamchatki*, Moscow, 2001, no. 3, p. 3–59. (In Russian)
- Artyukhin Yu.B., Burkanov V.N. *Morskie ptitsy i mlekopitayushchie Dal'nego Vostoka Rossii: polevoi opredelitel'* [Seabirds and mammals of the Russian Far East: field guide], Moscow, AST Publ., 1999, 224 p. (In Russian)
- Gizenko A.I. *Pticy Sahalinskoj oblasti* [Birds of Sakhalin Region], Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1955, 328 p. (In Russian)
- Kischinskii A.A. *Ornitofauna severo-vostoka Azii* [Bird fauna of North-East Asia], Moscow, Nauka Publ., 1988, 288 p. (In Russian)
- Koblik E.A., Arkhipov V.Yu. *Fauna ptits stran Severnoi Evrazii v granitsakh byvshego SSSR: spiski vidov* [The fauna of birds of the countries of Northern Eurasia within the borders of the former USSR: lists of species], Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2014, 171 p. (In Russian)
- Krasnaja kniga Rossijskoj Federacii, Tom “Zhivotnye” [Red Book of the Russian Federation. Volume “Animals”], 2nd izdanie, Moscow, VNII Ekologija Publ., 2021, 1128 p. (In Russian)
- Lobkov E.G., Kolotilin N.E., Lakomov S.P., Marshuk S.P. Dopolnenija k faune ptic Severnyh Kuril'skih ostrovov (Shumshu i Paramushir) [Supplements to the bird fauna of the Northern Kuril Islands (Shumshu and Paramushir)], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, 2015, vol. 24, Ekspress-vypusk no. 1122, p. 1028–1041. (In Russian)
- Naumov R.L. *Ptitsy v ochagakh kleshchevogo entsefalita Krasnoyarskogo kraja*, avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Birds in the foci of tick-borne encephalitis of the Krasnoyarsk Territory], Moscow, In-te of Medical Parasitology and Tropical Medicine named after E.I. Martynovskiy Publ., 1964, 19 p. (In Russian)
- Nechaev V.A. [Overview of the bird fauna (Aves) of the Sakhalin region], *Rastitel'nyj i zhivotnyj mir ostrova Sahalin (Materialy Mezhdunarodnogo sahalinskogo proekta)* [Flora and Fauna of the Sakhalin Island (Materials of the International Sakhalin Project)], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2005, ch. 2, p. 246–327. (In Russian)
- Pesenko Yu.A. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh*. [Principles and methods of the quantitative analysis in faunal studies], Moscow, Nauka Publ., 1982, 287 p. (In Russian)
- Podkovyrkin B.A. Spisok ptic severnoj chasti Kuril'skoj grjady [List of birds of the northern Kuril ridge], *Zoologicheskij zhurnal*, 1955, vol. 34, no. 6, p. 1379–1385. (In Russian)
- Ravkin Yu.S. [About the procedures of bird count in forest landscapes], *Priroda ochagov kleshchevogo entsefalita na Altae* [The nature of the foci of tick-borne encephalitis in Altai], Novosibirsk, 1967, p. 66–75. (In Russian)
- Romanov A.A., Koblik E.A., Red'kin Ja.A. Prostranstvennaja organizacija naselenija ptic ostrovov Urup i Iturup (Kuril'skie ostrova) [Spatial organization of the bird population of the Urup and Iturup islands (Kuril Islands)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2024, vol. 79, no. 1, p. 103–113. (In Russian)
- Shtegman B.K. *Fauna SSSR, Ptitsy, t. 1, vyp. 2, Osnovy ornitogeograficheskogo deleniya Palearktiki* [Fauna of the USSR, Birds, vol. 1, iss. 2, Basics of the ornithogeographical division of the Palearctic region], Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1938, 157 p. (In Russian)
- Velizhanin A.G. Obzor ptic Severnyh Kuril'skih ostrovov [Birds Overview of the Northern Kuril Islands], *Trudy Biologicheskogo in-ta SO AN SSSR*, 1973, no. 16, Novosibirsk, p. 234–259. (In Russian)
- Vorob'ev D.P. *Rastitel'nost' Kuril'skih ostrovov* [Vegetation of the Kuril Islands], Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1963, 92 p. (In Russian)
- Yamashina Y. Die Vogel der Kurilen, *J. fur Ornithologie*, 1931, jg. 79, no. 4, p. 491–541.

Received 26.03.2025

Revised 16.04.2025

Accepted 20.05.2025

НОВЕЙШИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АГЛОМЕРАЦИИ АСТАНЫ

А.Ж. Абилов¹, А.Г. Махрова², С.Г. Сафронов³, В.В. Яскевич⁴

^{1,4} *Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Институт архитектуры и строительства имени Т.К. Басенова*

^{2,3} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России*

¹ Проф., д-р архитектуры; e-mail: aabilov1@mail.ru

² Вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: almah@mail.ru

³ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: saffff@mail.ru

⁴ Ст. преподаватель; e-mail: v.yaskevich@satbayev.university

Цель данной статьи состоит в том, чтобы на основе данных официальной статистики и результатов социологических опросов 2015 и 2024 гг. выявить особенности современного этапа развития агломерации Астаны, включая градиенты между центром агломерации и его окружением. Столичная агломерация, несмотря на увеличение коэффициентов развитости, по-прежнему растет в основном за счет стремительно растущей столицы при довольно медленном развитии пригородной зоны. Основной вклад в рост населения вносит миграция при сохранении естественного прироста, высокими значениями которого выделяется лишь столица и часть ближайших пригородов. Миграционная привлекательность агломерации ограничивается Астаной, городом-спутником Косшы и ближайшим Целиноградским районом. Для территорий, расположенных за пределами 30-километровой зоны доступности, характерна устойчивая депопуляция. Пока столица не стимулирует быстрое экономическое развитие пригородов, в которых развиваются отрасли аграрно-промышленного комплекса и обслуживающие производства, связанные со строительной индустрией. Несмотря на сохраняющийся сильный разрыв между столицей и окружающими поселениями в уровне доходов населения трудовая маятниковая миграция пока развивается медленно. Согласно результатам социологических опросов, существенных изменений времени доступности Астаны из поселений пригородной зоны не происходит из-за недостаточной транспортной связности столицы и ее окружения. Как показывают данные опросов, низкий уровень обеспеченности пригородной зоны местами приложения труда и сферой услуг приводят к небольшому росту интенсивности трудовых маятниковых миграций, которые сохраняют центр-периферийный характер. Ввод многоквартирного жилья преимущественно в самой столице и в новых микрорайонах г. Косшы стало маркером, разделяющим Астану и ее преимущественно сельские пригороды. В них основные объемы нового жилья строятся индивидуальными застройщиками и концентрируются в непосредственно примыкающих к столице муниципалитетах. При этом инфраструктурная обустроенность и уровень благоустройства как новых, так и старых жилых массивов оставляет желать лучшего, что отмечается респондентами в ходе социологических обследований.

Ключевые слова: ядро и пригородная зона, социально-экономическое развитие, опросы населения, Казахстан

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.12

ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия привнесли в практику планирования и исследования городских агломераций немало нового: шире стали подходы к их определению, заметно изменилось соотношение ключевых факторов формирования, появляются новые институты регулирования их развития. С этих позиций большой интерес представляет опыт Казахстана, система городов которого сформировалась в условиях контрастного и разреженного расселения на большей части территории страны. При острой нехватке больших городов и значительных расстояниях между ними, а также общем слабом развитии форм крупногородского (агломерационного)

расселения власти страны особое внимание стали уделять крупнейшим городским агломерациям, которые рассматриваются как главные центры роста.

В 2023 г. в стране был принят «Закон о развитии агломераций», который закладывает юридическую базу для формирования совещательного органа, призванного координировать развитие крупных центров и их окружения. Этот документ, не акцентируя внимание на сущности агломераций и не конкретизируя их состав, из критериев делимитации останавливается лишь на двух наиболее важных: минимальной численности населения ядра (более 500 тыс. чел.) и интенсивности ежедневных трудовых маятниковых миграций в центр агломерации,

в которые должно быть вовлечено не менее 15% трудоспособного населения [О развитии..., 2023].

Несмотря на то что развитие городских агломераций давно является одним из приоритетов политики республиканских властей, исследований, посвященных их изучению, совсем немного. В большей части работ они рассматриваются в контексте общей тематики развития процессов урбанизации в Казахстане [Искалиев, 2017; Национальный доклад..., 2020; Нюсупова и др., 2022; Терещенко и др., 2016; OECD Urban..., 2017]. На этом фоне совсем небольшое количество трудов посвящено собственно городским агломерациям страны. Так, некоторые авторы изучают разные вопросы развития всех агломераций страны, ее отдельных регионов и городов-спутников [Кириллов, Махрова, 2011; Сатпаева, 2021; Abilov et al., 2023], а также отдельных агломераций или агломераций отдельных регионов [Акимжанов, Сафронов, 2014; Притворова, Косдаулетова, 2014]. При этом агломерации Астаны посвящена только одна работа, результаты которой базируются на данных социологического опроса, проведенного в 2015 г. [Абилов и др., 2017].

Цель настоящего исследования состоит в том, чтобы, опираясь, с одной стороны, на данные официальной статистики, а с другой – на материалы социологических опросов 2015 и 2024 гг., определить особенности современного этапа развития столичной агломерации, а также оценить градиенты между ее центром и пригородами. Учитывая динамизм развития столичной агломерации, акцент делается на анализе новейших сдвигов, произошедших за последнее десятилетие. Изменился ли уровень развитости столичной агломерации? Какова была динамика численности населения ядра и пригородной зоны? Каков был вклад в эту динамику естественного и механического движения? Что происходило с занятостью населения и его заработной платой? Как менялась структура экономики? Происходили ли какие-то подвижки в мобильности населения? Насколько население пригородной зоны удовлетворено условиями проживания в своем населенном пункте? На эти и другие вопросы отвечает данная статья, в чем и состоит ее новизна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящем исследовании использована комбинация данных официальной статистики и результатов социологических опросов, которые применялись на разных этапах работы. Для анализа численности населения были использованы данные переписей населения и информационной базы ТАЛДАУ. На основе последнего источника также были получены индикаторы состояния экономики и социальной сферы ядра и муниципалитетов при-

городной зоны. Для нивелирования случайных колебаний, которые могут быть особенно значимы на уровне низовых административно-территориальных образований и отдельных населенных пунктов, по всем показателям (за исключением численности населения) были рассчитаны среднегодовые значения за несколько лет.

Кроме статических данных в работе использованы результаты двух социологических опросов, что позволило оценить процессы, происходящие в агломерации, не только в зеркале цифр, но и глазами населения. Оба опроса 2015 и 2024 гг. проводились одновременно как в самом городе, так и в населенных пунктах, расположенных в зоне влияния Астаны, по одной методике, что позволяет анализировать в том числе и изменения в оценках населения. Для обеспечения репрезентативности количество анкет на каждом из опросных участков было пропорционально численности проживающего в них населения. Общее число полученных анкет (2110 и 2726), пригодных для обработки и анализа, было достаточным для переноса результатов в рамках выборочной совокупности на генеральную совокупность населения Астаны и ее окружения.

Методика данной работы состояла из ряда последовательных этапов, на первом из которых было показано место агломерации Астаны среди агломераций страны, в том числе на основе расчета коэффициентов развитости. Затем было проанализировано изменение численности населения ядра и пригородной зоны агломерации, а также демографические факторы их динамики на основе показателей численности населения, его естественного движения и миграции. На следующем этапе были изучены изменения в структуре занятости и заработной платы населения, а также динамика объемов ввода жилья и душевых показателей производства сельскохозяйственной и промышленной продукции. Исследование завершал анализ результатов социологических опросов о частоте, целях и направлениях поездок жителей пригородной зоны в столицу, а также об их удовлетворенности условиями проживания в своем населенном пункте.

Следует отметить, что, хотя границы агломерации Астаны установлены в ее Межрегиональной схеме территориального развития [Об утверждении..., 2017], в данной работе они делимитированы в более широких границах и включают в себя не только районы Акмолинской, но и два района Карагандинской области. Такой подход отвечает сложившейся в советской и постсоветской урбанистике практике выделения агломераций, население ядер которых превышает 1 млн чел., по двухчасовой изохроне транспортной доступности. Его правомерность косвенно подтверждается и резуль-

татами проведенных социологических опросов, о чем подробнее написано в соответствующем разделе статьи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Астанинская агломерация, которая развивается вокруг стремительно растущей столицы, в настоящее время уверенно входит в тройку крупнейших в Казахстане (табл. 1). По численности своего населения она уступает только Алматинской агломерации, однако по уровню развитости по-прежнему сильно отстает не только от нее, но и от Шымкентской агломерации. Несмотря на заметное увеличе-

ние коэффициента развитости в постсоветский период, его рост происходит в основном за счет ядра агломерации на фоне медленного развития других городских поселений, что отражает и резкое доминирование центра в общей численности населения (см. табл. 1). Модифицированный коэффициент развитости, дополнительно учитывающий крупные сельские населенные пункты людностью свыше 3 тыс. чел., показывает сохраняющееся отставание столицы и его окружения даже по сравнению с меньшими по людности агломерациями юга и запада республики, которые развиваются вокруг Тараза и Актау (соответственно 4,6 против 5,4 и 5,5) с более плотно заселенными пригородными зонами.

Таблица 1

Основные характеристики крупнейших агломераций Казахстана

Центр городской системы расселения	Население ядра, тыс. чел.	Городское население, тыс. чел.	Доля населения ядра в городском населении, %		Коэффициент развитости		Модифицированный коэффициент развитости*
	2022 г.	2022 г.	1989 г.	2022 г.	1989 г.	2022 г.	2022 г.
Алма-Ата	2030	2305	84	88	6,8	11,1	89,3
Шымкент	1112	1293	76	86	2,0	4,9	35,6
Караганда	509	858	55	59	6,6	4,6	4,6
Астана	1234	1335	80	92	1,1	4,1	4,3
Актобе	540	633	77	85	1,0	2,4	2,7

Примечание. *С учетом сел людностью свыше 3 тыс. чел.

Столичная агломерация, формирующаяся в последние десятилетия почти с нуля, в неидеальных природных условиях и разреженном расселении, у южной границы относительного освоенного ареала целинных земель, представляет собой яркий пример противоречивости современного этапа развития ведущих агломераций Казахстана, когда существуют не только объективные факторы, действующие «снизу», от территории, но есть и политическая воля, стремящаяся «сверху», особенно при достаточных финансовых ресурсах, управлять этим процессом.

При этом в отличие от Алматинской и Карагандинской агломераций, сложившихся в советский период, агломерация Астаны формируется в новых условиях, когда развитие уже не определяется логикой размещения производительных сил, как это было в советский период, а происходит при ограниченных инструментах воздействия со стороны государства на частный бизнес и экономику. Тем не менее финансовые и административные ресурсы Астаны, а также привлекательность быстро развивающегося третичного сектора экономики, представленного в том числе и его верхними этажами,

приводят к тому, что после периода территориальной экспансии и поглощения окружающих территорий, столица начала постепенно трансформировать и окружающее пространство.

Однако пригородная зона Астаны развивается все еще медленно, в том числе в результате расширения территории столицы в последние десятилетия и включения в ее состав пригородных поселков. Кроме нового города-спутника Косшы, к числу быстрорастущих можно отнести семь поселков с населением более 7 тыс. чел., которые расположены в пределах 30-километровой зоны на основных вылетных магистралях и лучше других связаны со столицей общественным транспортом. Три из них имеют исключительно селитебные функции, выполняя роль транзитного буфера на пути в Астану для части сельских жителей, не стремящихся радикально менять образ жизни или не имеющих достаточных средств для быстрого переселения в столицу.

Таким образом, в центре современной модели развития столичной агломерации лежит не вполне контролируемый рост ядра и формирование довольно аморфной зоны пригородов, когда вокруг Астаны нет городов-спутников с четкими функци-

ями. Бывшая хлебоприемная станция Алексеевка (ныне г. Акколь) у северной границы зоны тяготения Астаны и ближайший пригород Косшы, еще вчера бывший сельским поселением, вряд ли могут считаться ими в полной мере. Пока довольно расплывчаты и планы создания еще одного города вокруг поселка-райцентра Шортанды. Ускорить формирование пригородной зоны могло бы развитие сети скоростных электричек, но пока такие проекты не реализованы.

Численность населения и демографические факторы ее динамики. Для Астаны и ее окружения характерны особенности и проблемы динамики численности населения и внутренней структуры, свойственные многим молодым и слабоборазвитым агломерациям. Как уже отмечалось, ее главная черта – быстрый рост ядра как за счет расширения площади территории города, так и за счет межрегиональной миграции. В пределах при-

городной зоны более слабые, но также центростремительные миграции приводят к расширению зоны депопуляции окружающей территории, демографические ресурсы которой ограничены. При этом сама пригородная зона развивается довольно медленно, без четкого формирования функций и хозяйственной специализации городов-спутников, как это было принято в советской градостроительной практике.

Среди пригородных территорий в последние пятнадцать лет устойчивая положительная динамика численности населения отмечается только в Целиноградском районе и в расположенном в пределах его границ молодом городе-спутнике Косшы, известном своими майнинговыми фермами, который связан со столицей регулярным автобусным сообщением. Лишь в последние годы положительная динамика начала постепенно распространяться на юго-восток, в Аршалынский район (рис. 1).

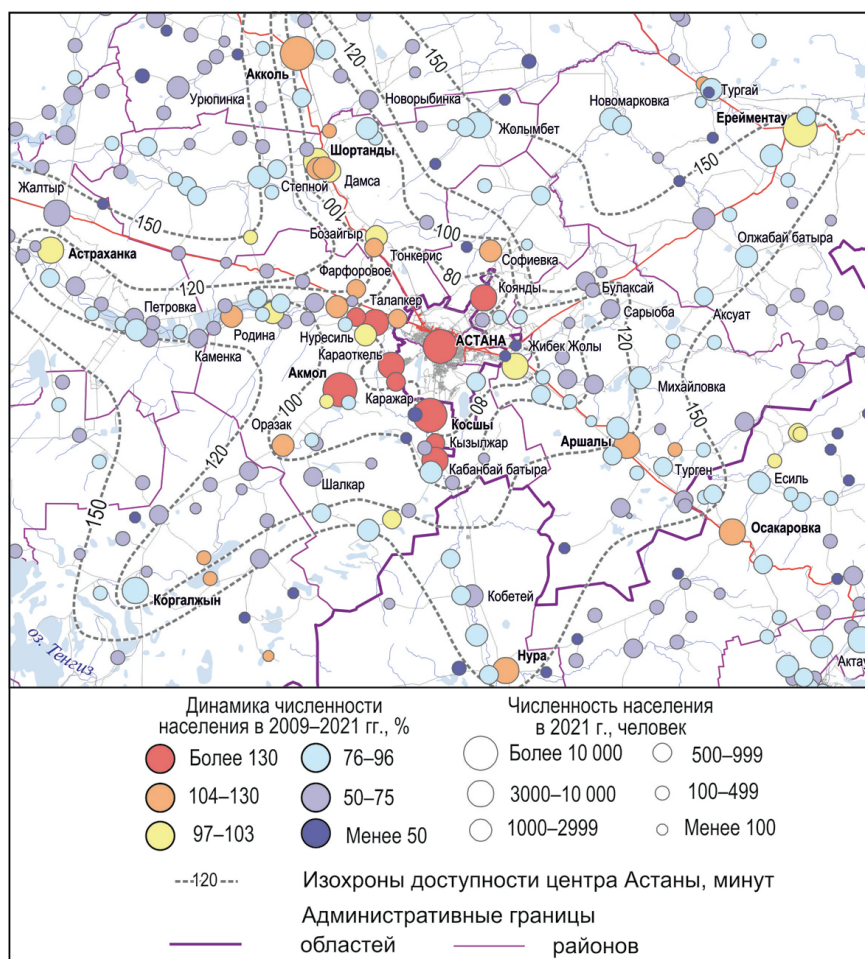


Рис. 1. Динамика численности населения населенных пунктов в зоне влияния Астанинской агломерации в 2009–2021 гг. Составлено по данным переписей населения РК. *Примечание.* Изохроны доступности приведены по результатам социологического опроса 2024 г.

Fig. 1. Population dynamics of settlements in the influence zone of the Astana agglomeration during 2009–2021. Compiled using the population census data of the Republic of Kazakhstan. *Note.* Isochrones of transport accessibility are based on the results of a 2024 sociological survey

Признаки роста вдоль Трансказахстанского транспортного коридора по направлению к Караганде можно рассматривать как проявление эффекта сближения по Г.М. Лаппо в виде развития агломераций навстречу друг другу [Лаппо, 1978]. С другой стороны, для этого есть и объективные предпосылки: на юго-востоке от современной столицы исторически сформировался один из наиболее южных массивов целинных пахотных земель в бассейне верхнего течения Ишима, который начал осваиваться переселенцами из центральной России еще в дореволюционный период.

При этом для большей части зоны влияния столичной агломерации, особенно расположенной за пределами 30-километровой зоны доступности, характерна устойчивая депопуляция. В последний межпереписной период лишь расположенные в ней райцентры имели небольшую положительную динамику за счет перехвата части направленной в столицу внутрирайонной миграции.

Таким образом, рост численности населения агломерации происходит преимущественно за счет ядра, доля которого за период после получения столичного статуса увеличилась в 4 раза, или на 20 процентных пункта. Темпы роста даже у ближайших пригородов заметно отстают от самой Астаны. На их фоне выделяется лишь ближайший спутник Косшы, в 2021 г. получивший статус города областного

значения, с населением около 60 тыс. чел., которому пока удастся сохранять свой вес (3,4%) в общей численности агломерации.

Миграционная привлекательность столичной агломерации ограничивается территорией Астаны, городом-спутником Косшы и ближайшим Целиноградским районом. Лишь в последние годы к ним медленно подтягивается практически примыкающий к столице с юго-востока Аршалинский район, до этого также имевший отрицательное сальдо миграций. Все остальные районы, которые находятся в зоне влияния Астаны, характеризуются сильным оттоком населения, интенсивность которого за последние годы увеличивается. Во внутрирегиональной миграции положительными значениями выделяются все те же два ближайших пригородных района, кроме которых никто пока не способен перехватить направленную к столице миграцию из других районов Акмолинской области (табл. 2).

Рост значения буферных функций г. Косшы, Целиноградского и в меньшей степени Аршалинского районов подтверждает заметный рост в последние годы их миграционного оборота (табл. 3). Большая подвижность населения ядра агломерации обеспечивается за счет общего увеличения интенсивности связей с регионами Казахстана, но прежде всего со второй столицей, Алматы, и районами ближайших Акмолинской и Карагандинской областей.

Таблица 2

Среднегодовые коэффициенты миграционного прироста/убыли по видам миграции, %

Район, город	В сумме			Внутрирегиональная			Межрегиональная			Внешняя		
	2011– 2015 гг.	2016– 2020 гг.	2021– 2024 гг.	2011– 2015 гг.	2016– 2020 гг.	2021– 2024 гг.	2011– 2015 гг.	2016– 2020 гг.	2021– 2024 гг.	2011– 2015 гг.	2016– 2020 гг.	2021– 2024 гг.
Косшы			56,8			7,4			48,3			1,1
Астана	21,6	37,5	36,5				21,1	38,4	35,9	0,5	–0,9	0,6
Целиноградский	22,8	22,2	17,0	1,8	5,2	4,7	19,4	16,8	11,9	1,5	0,2	0,3
Аршалинский	–3,9	–5,8	1,1	0,8	1,1	1,5	–3,2	–4,7	1,5	–1,5	–2,3	–1,8
Шортандинский	–1,4	–14,4	–17,6	0,7	0,7	–1,3	–1,1	–12,5	–15,2	–0,9	–2,7	–1,0
Осакаровский	–14,6	–17,2	–17,6	–11,9	–11,6	–12,0	0,2	–3,1	–4,2	–2,9	–2,5	–1,5
Нуринский	–17,9	–23,5	–23,4	–11,6	–10,7	–9,1	–4,7	–11,8	–13,6	–1,6	–1,0	–0,7
Астраханский	–20,4	–12,5	–24,2	–3,9	0,0	–3,1	–15,0	–10,7	–19,4	–1,5	–1,7	–1,7
Аккольский	–7,7	–10,4	–24,2	–4,2	–0,8	–4,9	–5,0	–7,8	–17,6	1,5	–1,8	–1,7
Ерейментауский	–23,3	–25,3	–29,4	–4,0	–3,0	–4,1	–19,8	–21,0	–25,2	0,5	–1,3	–0,1
Коргальжинский	–17,0	–28,0	–40,1	–2,0	–0,8	–4,1	–15,2	–27,2	–36,0	0,2	0,0	0,0

Источник: составлено по данным текущего учета Бюро национальной статистики.

Развитие столичной агломерации при сохранении естественного прироста населения, как в ядре, так и в пригородах, происходит на фоне ограниченности

демографических ресурсов самого Центрального Казахстана. В условиях разреженного сельского населения депопуляционные процессы, начавшиеся

из-за миграционного оттока 1990-х гг., лишь усилились. Устойчиво высокие значения коэффициентов естественного прироста сохраняет лишь растущая на миграции Астана и часть ближайших пригородов, а также, наоборот, скорее периферийный и более традиционный по репродуктивным установкам своего населения Коргалъджинский район (рис. 2). В остальных районах он заметно снижается, в том числе в результате переноса столицы и формирования на этой территории крупной агломерации.

Таблица 3

**Среднегодовые коэффициенты
миграционного оборота, %**

Район, город	2011– 2015 гг.	2016– 2020 гг.	2021– 2024 гг.
Астана	100,4	193	243,3
Косшы			212,3
Целиноградский	63,0	174	170,4
Аршалинский	34,7	80	130,4
Коргалъджинский	43,2	88	107,0
Шортандинский	43,6	84	98,8
Нулинский	51,4	87	94,3
Аккольский	44,5	110,8	94,0
Ерейментауский	36,5	81	92,7
Астраханский	29,5	64	91,1
Осакаровский	52,5	66	72,3

Источник: составлено по данным текущего учета Бюро национальной статистики.

Занятость и структура экономики. В структуре занятых в пределах Астанинской агломерации ведущая роль почти повсеместно принадлежит

отраслям сектора услуг (рис. 3). В столице и ее ближайшем молодом городе-спутнике Косшы за годы независимости получили развитие самые разные, в том числе его «верхние» этажи, связанные с финансовыми и информационными услугами, высшим образованием, высокотехнологичным здравоохранением. При этом для районов, расположенных на периферии агломерации, характерна скорее ложная терциаризация, когда в результате утраты в 1990-е гг. значительной части предприятий градообразующей базы выросла лишь относительная доля сферы услуг. Так, в структуре занятых в окраинных Коргалъджинском, Аккольском и Ерейментауском районах, как правило, преобладают отрасли социальной сферы, а промышленность представлена небольшими градообслуживающими предприятиями.

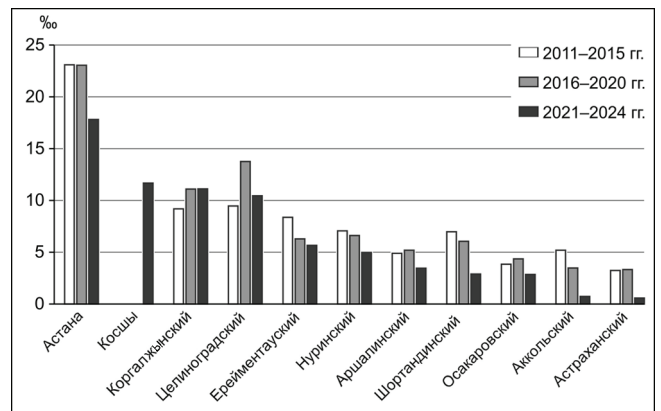


Рис. 2. Среднегодовые общие коэффициенты естественного прироста в 2011–2024 гг., %. Источник: составлено по данным Бюро национальной статистики

Fig. 2. Average annual general rates of natural population increase during 2011–2024, %. Source: compiled from data from the Office for National Statistics

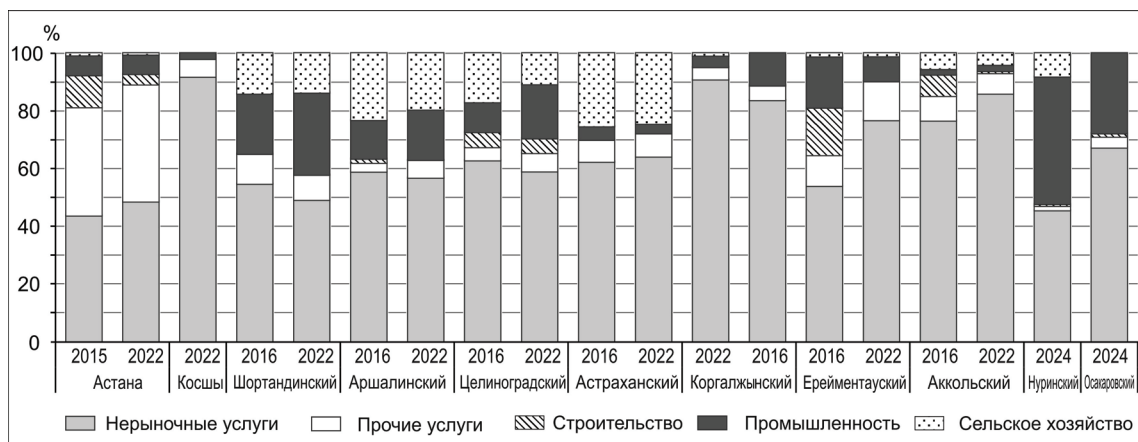


Рис. 3. Структура занятых по основным видам экономической деятельности, %. Источник: составлено по данным Бюро национальной статистики

Fig. 3. Structure of employees by main types of economic activity, %. Source: compiled from data from the Office for National Statistics

Доля реального сектора в структуре занятых более заметна в ближайших пригородных Целиноградском и Аршалинском районах. В последние годы здесь восстанавливаются и возникают новые предприятия строительной индустрии, пищевой промышленности и АПК, ориентированные на обслуживание нужд быстрорастущей столицы, вследствие чего доля вторичного сектора в занятости также выросла.

Отдельную группу составляют районы с повышенной долей занятых в горнодобывающей промышленности, напрямую не связанной с развитием агломерации: Шортандинский в Акмолинской области, а также Нуринский и Осакаровский в Карагандинской области.

Как и по другим показателям, по уровню заработной платы налицо разрыв между столицей и даже ближайшим пригородным Целиноградским районом. В большинстве же районов средние зарплаты лишь в последние годы вышли на уровень 60% от столичного (рис. 4). Относительно более высокую оплату труда в Шортандинском, Нуринском и Осакаровском районах обеспечивают предприятия горнодобывающей промышленности.

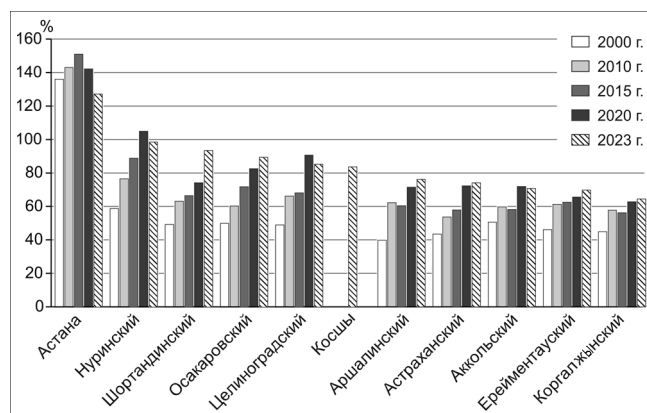


Рис. 4. Средняя заработная плата в 2000–2023 гг., % от средней по РК. Источник: составлено по данным Бюро национальной статистики

Fig. 4. Average wages in 2000–2023, % of the average in the Republic of Kazakhstan. Source: compiled from data from the Office for National Statistics

Основной объем вводимого жилья сосредоточен в пределах городской черты Астаны и пригородном Целиноградском районе. С заметным отставанием от них следуют город-спутник Косшы и Аршалинский район, в котором жилищное строительство концентрируется вдоль автотрассы на Караганду. Остальные районы ничем не выделяются (рис. 5А). Отличие Астаны связано с абсолютным доминированием крупных застройщиков, хотя достаточно много строят крупные девелоперы и в Косшы.

В то же время уже в ближайших сельских пригородах ситуация обратная: более 90% вводимого жилья приходится на индивидуальных застройщиков. Эта доля заметно меньше (около 80%) лишь в тех районах, где есть городские поселения или крупные предприятия, жители или работники которых могут обеспечивать хотя бы минимальный спрос на многоквартирное жилье (рис. 5Б).

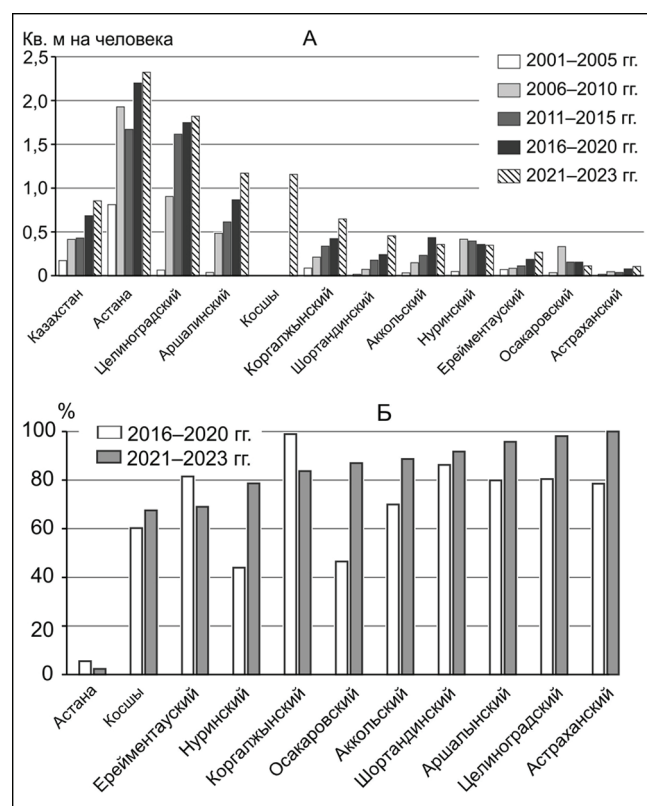


Рис. 5. Динамика ввода жилья: А – среднегодовые объемы ввода жилья, м² на 1 тыс. чел.; Б – доля жилья, построенного индивидуальными застройщиками, %. Источник: составлено по данным Бюро национальной статистики

Fig. 5. Dynamics of housing delivery: A – average annual housing delivery, sq. m per 1 thousand people; B – share of housing built by individual developers, %. Source: compiled from data from the Office for National Statistics

Динамика показателей сельскохозяйственного производства не позволяет напрямую связать ее с развитием столичной агломерации. Большие темпы характерны для Нуринского, Осакаровского, Астраханского районов, расположенных за пределами 30-километровой зоны доступности (рис. 6А). Там в традиционных ареалах развития зернового хозяйства идут процессы интенсификации, происходит распашка залежей, восстановление площадей в зонах орошаемого земледелия. В пригородной же зоне Астаны, прежде всего в Аршалинском районе, развиваются скорее отрасли переработки, кроме того,

статистически на динамику душевых показателей оказывает влияние рост численности населения.

На остальной территории динамика промышленного производства тесно связана с внешними факторами, мировой конъюнктурой и ценами на продукцию горнодобывающей промышленности (Шортандинский, Нуринский районы), (см. рис. 6Б). Основные инвестпроекты в пределах зоны непосредственного влияния Астаны связаны с размещением предприятий по производству строительных материалов и конструкций, а также АПК, ориентированных на рынок Астаны. При этом рост доли занятых в промышленности в столице по темпам заметно отстает от роста общей численности занятых.

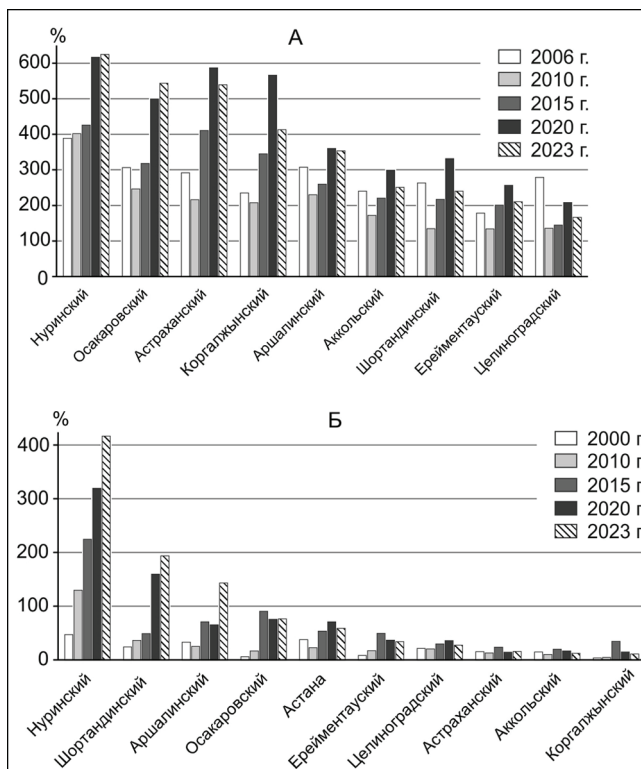


Рис. 6. Динамика душевого производства сельскохозяйственной (А) и промышленной (Б) продукции, % от средней по РК. Источник: составлено по данным Бюро национальной статистики

Fig. 6. Dynamics of per capita production of agricultural (A) and industrial (B) products, % of the average for the Republic of Kazakhstan. Source: compiled from data from the Office for National Statistics

Мобильность населения и удовлетворенность условиями проживания: результаты социологических опросов. Результаты социологических опросов, проведенных с интервалом почти в 10 лет (2015 и 2024 гг.), позволяют оценить те аспекты развития агломерации, по которым нет данных официальной статистики. Прежде всего к ним относятся изме-

нения в мобильности населения, включая частоту, причины и время поездок, а также удовлетворенность условиями проживания.

Сравнение ответов респондентов по частоте поездок показывает, что удельный вес населения, часто совершающих поездки в Астану с разными целями, заметно вырос. Так, доля категорий респондентов, которые ездят в столицу ежедневно и 2–3 раза в неделю, т. е. позволяют оценить потенциальный уровень вовлеченности населения в трудовые маятниковые миграции, увеличилась с 44 до 55%. Этот рост также служит косвенным подтверждением довольно слабого уровня развития пригородной зоны, которая не обладает достаточным количеством рабочих мест и объектов сферы услуг.

Как и можно было ожидать, результаты обоих опросов фиксируют, что частота поездок нарастает по мере уменьшения расстояния до столицы и улучшения транспортного сообщения. Традиционно минимальная доля поездок характерна для отдаленных райцентров, расположенных за границей зоны 1,5-часовой доступности (5–30% респондентов), а максимальная – для ближайшего пригорода (чуть менее 60%). Наиболее высокими значениями выделяются относительно новые поселки, пока еще слабо обеспеченные местами приложения труда и социальной инфраструктурой, которые непосредственно примыкают к городской черте Астаны (Кызылсуат, Караоткель, Жибек Жолы, Нурлы), а также ближайший город-спутник Косшы. Высокая доля поездок, которые совершаются ежедневно или 2–3 раза в неделю, наблюдается также в крупных селах к северо-востоку и юго-западу от столицы, связанных с ней интенсивным автобусным сообщением (Коянды, Талапкер). На северном направлении мобильность населения сдерживает недостаточное число рейсов безальтернативных пока автобусных маршрутов. При этом электрички в сторону как г. Акколь, так и п. Аршалы имеют не очень удобное расписание, низкую скорость и частоту движения.

Ответы о причинах поездок в столицу неплохо маркируют разные зоны трудовых маятниковых миграций, которые наиболее интенсивны в поселках Шалкар, Сарыоба и г. Косшы (50–80% респондентов). Средняя интенсивность компьютерных поездок характерна для поселков Акмол и Софиевка (30–50%), слабая – для поселков северного направления с худшей транспортной доступностью (20–30%), незначительная – для населенных пунктов, расположенных за пределами зоны часовой доступности (менее 16%). В то же время в поселках на периферии зоны влияния Астаны подавляющая часть респондентов посещают столицу ради мест досуга и развлечений. Посещение магазинов в качестве основной причины поездки указывают от 30

до 65% респондентов в разных частях агломерации. При этом их доля минимальна в г. Косшы с его более развитой сетью учреждений торговли, жители которого из-за близости к столице к тому же имеют возможность совмещать шопинг с ежедневными трудовыми поездками на работу в Астану.

Зоны частоты поездок жителей в Астану имеют заметно выраженную западную и северо-западную асимметрию, что во многом связано со сложившимся рисунком системы расселения (рис. 7А). Более засушливый юго-восток пока и менее интенсивно связан со столицей. Выявившееся в ходе социологического обследования несоответствие положения изохрон минимального времени доступности столицы с интенсивностью, частотой и структурой поездок по причинам свидетельствует о недоиспользовании возможностей железнодорожного сообщения в северном секторе агломерации. Опросы 2015 и 2024 гг. показали, что принципиальных изменений

времени доступности центра Астаны из основных поселков-райцентров в пределах агломерации не происходит. Более того, по оценкам респондентов, все чаще возникающие автомобильные пробки несколько увеличили время доступности п. Аршалы и г. Косшы.

Можно отметить, что зоны частоты поездок респондентов совпадают с зонами транспортной доступности Астаны, которые традиционно являются ключевым показателем для делимитации границ пригородных зон городских агломераций (см. рис. 7А, Б). Так, зона, в которую вошли населенные пункты, жители которых посещают Астану хотя бы раз в неделю, практически совпадает с территорией в границах двухчасовой транспортной доступности, которая в случае Астаны охватывает не только близлежащие к городу участки, но и более удаленные населенные пункты (Коргалжын, Астраханка, Акколь, Осакаровка и др.).

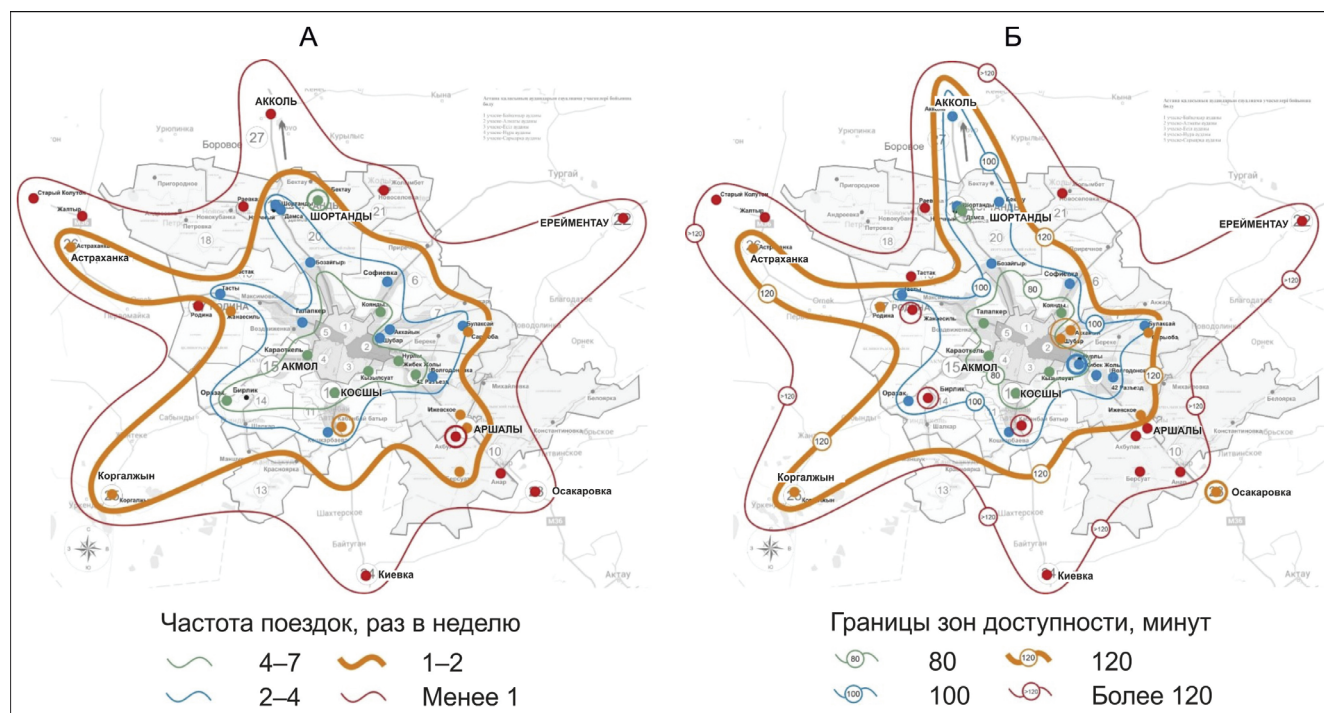


Рис. 7. Частота поездок и временные затраты на поездки респондентов в Астану: А – частота поездок; Б – затраты времени. *Источник:* составлено по результатам социологического опроса 2024 г.

Fig. 7. Frequency of trips and time spent on travel to Astana by respondents: A – frequency of trips; Б – time spent.

Source: compiled based on the results of a 2024 sociological survey

Стоит отметить, что *удовлетворенность местом проживания* кроме того, что существенно влияет на мобильность населения, также служит косвенным индикатором развитости поселений пригородной зоны. Структура ответов по обоим опросам изменилась слабо: по-прежнему около 60% всех опрошенных удовлетворены местом своего

проживания. В целом ответы респондентов формируются под влиянием двух факторов: отдаленности от столицы и возраста самого населенного пункта, что тесно связано со зрелостью среды проживания. Наибольшая степень удовлетворенности отмечается в удаленных населенных пунктах, прежде всего в старых райцентрах (более 70%) с относительно раз-

витой сетью предприятий обслуживания и жилфондом, унаследованными еще с советского периода. Малоподвижное население, редко выезжающее в столицу и не имеющее достаточного миграционного опыта для полноценного сопоставления условий жизни, в большей степени тяготеет к сельскому образу жизни.

Неудовлетворенность местом проживания оба опроса фиксируют или в неблагоустроенных селах на периферии агломерации, или в поселках пригородной зоны, в которых наглядно ощущаются преимущества жизни в столице, куда приходится, преодолевая пробки и теряя время, ездить на работу почти каждый день, что повышает остроту восприятия проблем своего населенного пункта. При этом в старых поселках внутренняя среда деградирует, а в новых проявляется ее незрелость.

Проблемы этих новых, как правило, быстро растущих населенных пунктов по-разному воспринимаются жителями в зависимости от того, проводят ли они большую часть времени в своем поселке, работая на месте, или заняты в Астане. Кроме того, такие поселения сильнее испытывают на себе проблемы транзитного положения как в результате размывания коренного населения за счет мигрантов, временно осевших на пути в столицу, так и в прямом смысле за счет выноса части обслуживающих столицу производств и инфраструктуры, группирующейся вдоль вылетных магистралей с увеличенным трафиком.

Население чаще всего реагирует на внешние индикаторы низкого качества среды, прежде всего, на уровень благоустройства и частоту маршрутов общественного транспорта. В отдельных случаях острее становится экологическая ситуация: в одних случаях из-за производственного воздействия (ГОК в поселке Жолымбет, или птицефабрика в п. Акмол), в других из-за почти круглосуточного транспортного потока (п. Аршалы). Более высокая степень неудовлетворенности отмечается в поселках с худшей транспортной доступностью Астаны, где нет возможности компенсировать нехватку качественных медицинских или социальных услуг, в том числе спортивно-оздоровительных, за счет столицы.

ВЫВОДЫ

В центре современной модели развития столичной агломерации лежит ускоренный рост ядра при довольно аморфной зоне пригородов, когда вокруг Астаны нет других городов-спутников, кроме довольно удаленного Акколя и ближайшего пригорода Косшы. Пригородная зона агломерации развивается довольно медленно, однако финансовых и административных ресурсов столицы хватает для того, чтобы после периода территориальной экспансии

и поглощения окружающих территорий постепенно начался процесс трансформации и пригородных территорий. Кроме нового города-спутника Косшы быстро растут шесть поселков с населением более 7 тыс. чел.; создание еще одного города планируется вокруг поселка-райцентра Шортанды. Ускорить формирование пригородной зоны могло бы развитие сети скоростных электричек, но пока такие проекты не реализованы.

Агломерацию Астаны можно отнести к относительно новому постсоветскому типу агломераций, рост людности которых происходит за счет ядра, стягивающего на себя основные миграционные потоки прежде всего из-за пределов региона, при замедленном росте численности населения пригородной зоны. При сохранении естественного прироста населения в ядре агломерации демографический потенциал окружающей территории ограничен: высокие значения естественного прироста сохраняет лишь растущая на миграции Астана и часть ближайших пригородов, в остальных районах он снижается.

Пока столица не стимулирует быстрое экономическое развитие пригородов: в них выносятся в основном обслуживающие производства, связанные со строительной индустрией и отраслями аграрно-промышленного комплекса. Для немногочисленных предприятий более технологичных отраслей пока достаточно северной промышленной зоны самой столицы. На этом фоне выделяется лишь Косшы своим дата-центром с планами на расширение предоставляемых информационных услуг, которые, однако, не дают много рабочих мест.

Несмотря на сохраняющийся сильный социально-экономический разрыв между столицей и окружающими поселениями в уровне доходов населения, трудовая маятниковая миграция пока развивается медленно. Согласно социологическим исследованиям, за последние почти 10 лет принципиальных изменений во времени доступности Астаны из поселений пригородной зоны не происходит в результате недостаточной транспортной связности столицы и ее окружения. Однако из-за низкого уровня обеспеченности пригородной зоны местами приложения труда и учреждениями сферы услуг опросы показывают небольшой рост интенсивности трудовых маятниковых миграций, которые сохраняют центр-периферийный характер с поправкой на уровень обеспеченности рабочими местами в отдельных населенных пунктах.

При доминировании многоэтажной застройки Астана разительно отличается даже от ближайших пригородов, которые имеют преимущественно малоэтажный сельский облик, что местами способствует консервации традиционных черт образа

жизни. Многоквартирное жилье возводится крупными застройщиками преимущественно в самой столице и в меньшей степени в новых микрорайонах г. Косшы. В других муниципалитетах пригородной зоны основные объемы нового жилья строятся индивидуальными застройщиками, концентрируясь

в непосредственно примыкающих к столице Целиноградском и Аршалинском акиматах. При этом инфраструктурная обустроенность и уровень благоустройства как новых, так и старых жилых массивов оставляет желать лучшего, что отмечается респондентами и в ходе социологических исследований.

Благодарности. Разделы «Численность населения и демографические факторы ее динамики», «Занятость и структура экономики» выполнены А.Г. Махровой и С.Г. Сафроновым в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова по теме «Современная динамика и факторы социально-экономического развития регионов и городов России и стран ближнего зарубежья» (№ 121051100161-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абилов А.Ж., Кусаинова Г.К., Махрова А.Г. Социологические исследования при анализе формирования городских агломераций Казахстана (на примере Астаны) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 4. С. 75–83.
- Акимжанов Х.Р., Сафронов С.Г. Социально-экономическая трансформация территориальной структуры Карагандинской агломерации // Региональные исследования. 2014. № 2. С. 86–96.
- Искалиев Д.Ж. Городское расселение Казахстана: тенденции и факторы // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 2. С. 131–146.
- Кириллов П.Л., Махрова А.Г. Сценарии демографического развития агломераций Казахстана // Демографическая ситуация в Казахстане: состояние и перспективы. Вопросы истории и археологии Западного Казахстана. 2011. № 2. С. 10–22.
- Лаппо Г.М. Развитие городских агломераций в СССР. М.: Наука, 1978. 152 с.
- Национальный доклад о человеческом развитии за 2019 г. Урбанизация как ускоритель инклюзивного и устойчивого развития в Казахстане. Нур-Султан: ПРООН в Республике Казахстан, 2020. 120 с.
- Нюсупова Г.Н., Тажиева Д.А., Кенеспаева Л.Б. Городское расселение Казахстана: история формирования и анализ текущей ситуации // Проблемы современной урбанизации: преемственность и новации: материалы Междунар. конф. М.: Изд-во геогр. факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, 2022. С. 5–11.
- Притворова Т.П., Косдаулетова Р.Е. Развитие агломерации в Восточном Казахстане: предпосылки и условия для роста // Вестн. Карагандинского ун-та. Сер. Экономика. 2014. № 1(73). С. 20–28.
- Самтаева З.Т. Анализ городов-спутников агломераций Казахстана // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 9(77). Ч. 1. С. 153–158.
- Терещенко Т.А., Мурзатаева М.М., Искалиев Д.Ж. Опорный каркас городского расселения в Западном Казахстане // Вестн. Тверского гос. ун-та. Сер.: География и геоэкология. 2016. № 2. С. 109–119.
- Abilov A.Z., Makhrova A.G., Safronov S.G. The Latest History of the Development of Kazakhstan's Urban Agglomerations, *Reg. Res. Russ.*, 2023, no. 13, p. 316–327, DOI: 10.1134/S2079970523700697.
- OECD Urban Policy Reviews: Kazakhstan. Paris: OECD Publ., 2017.
- Электронные ресурсы**
- О развитии агломераций: Закон Республики Казахстан от 01.01.2023 г. № 181-VII ЗРК // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2300000181> (дата обращения 10.02.2025).
- Об утверждении Межрегиональной схемы территориального развития Астанинской агломерации. Постановление Правительства Республики Казахстан от 8 ноября 2017 г. № 726 // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000726> (дата обращения 11.01.2025).

Поступила в редакцию 09.03.2025

После доработки 16.04.2025

Принята к публикации 20.05.2025

LATEST TRENDS IN THE ASTANA AGGLOMERATION DEVELOPMENT

A.J. Abilov¹, A.G. Makhrova², S.G. Safronov³, V.V. Jaskiewicz⁴

^{1,4} *Kazakh National Research Technical University named after K.I. Saptayev,
T.K. Bassenov Institute of Architecture and Civil engineering*

^{2,3} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography*

¹ *Professor, Doctor of Architecture; e-mail: aabilov1@mail.ru*

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

³ *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: saffff@mail.ru*

⁴ *Senior Lecturer; e-mail: v.yaskevich@satbayev.university*

The purpose of the article is to describe the current stage of the Astana agglomeration development, including gradients between the agglomeration center and its surroundings, based on official statistics and the results of 2015 and 2024 sociological surveys. Despite the increasing development coefficients the capital agglomeration is still coming up mainly due to the rapidly growing capital city itself with a rather slow development of the suburban area. The main contributor to the population growth is migration while the natural growth is stable, with higher values found only in the capital and some of the immediate suburbs. The migration attractiveness of the agglomeration is limited to Astana, the satellite town of Kosshy and the nearest Tselinograd district. The territories outside the 30-km accessibility zone are characterized by stable depopulation. So far, the capital does not stimulate rapid economic development of the suburbs, where the agro-industrial complex and services related to the construction industry are developing. Despite the persistently large gap between the capital and the surrounding settlements in the level of income of the population, labor-oriented commuting is still developing rather slowly. According to the results of sociological surveys, there are no significant changes in the access time of Astana from the suburban settlements because of insufficient transport connectivity between the capital and its surroundings. As the survey data show, the low availability of places of employment and services in the suburban zone leads to a slight increase in the intensity of labor-oriented commuting, which retains a center-periphery character. The delivery of multi-apartment housing mainly in the capital itself and in new microdistricts of the town of Kosshy has become a marker dividing Astana from its predominantly rural suburbs. In them, the new housing is mainly delivered by individual developers and concentrates in municipalities directly adjacent to the capital. At the same time, the infrastructure development and municipal improvement of both new and old residential areas leave much to be desired, which was noted by respondents during sociological surveys.

Keywords: core and suburban area, socio-economic development, population surveys, capital of Kazakhstan

Acknowledgements. The sections “Population size and demographic factors of its dynamics” and “Employment and structure of the economy” was prepared by A.G. Makhrova and S.G. Safronov under the State Assignment of the Lomonosov Moscow State University on the theme “Current dynamics and factors of socio-economic development of regions and cities of Russia and neighboring countries” (no. 121051100161-9).

REFERENCES

- Abilov A.Z., Makhrova A.G., Safronov S.G. The Latest History of the Development of Kazakhstan's Urban Agglomerations, *Reg. Res. Russ.*, 2023, no. 13, p. 316–327, DOI: 10.1134/S2079970523700697.
- Abilov A.Zh., Kusainova G.K., Makhrova A.G. Sotsiologicheskie issledovaniya pri analize formirovaniya gorodskih aglomeratsiy Kazakhstana (na primere Astany) [Sociological Studies for the Analysis of Formation of the Metropolitan Agglomerations in Kazakhstan (Case Study of the Astana City)], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 4, p. 75–83. (In Russian)
- Akimzhanov H.R., Safronov S.G. Sotsial'no-ekonomicheskaya transformatsiya territorial'noy struktury Karagandinskoy aglomeratsii [Socio-economic transformation of the territorial structure of the Karaganda agglomeration], *Regional'nyye issledovaniya*, 2014, no. 2, p. 86–96. (In Russian)
- Iskalyev D.Zh. Gorodskoye rasseleniye Kazakhstana: tendentsii i faktory [Urban settlement of Kazakhstan: trends and factors], *Nauka, Innovatsii, Tekhnologii*, 2017, no. 2, p. 131–146. (In Russian)
- Kirillov P.L., Makhrova A.G. Stsenarii demograficheskogo razvitiya aglomeratsiy Kazakhstana [Scenarios of demographic development of the agglomerations in Kazakhstan], *Demograficheskaya situatsiya v Kazakhstane: sostoyaniye i perspektivy, Voprosy istorii i arkheologii Zapadnogo Kazakhstana*, 2011, no. 2, p. 10–22. (In Russian)
- Lappo G.M. *Razvitiye gorodskikh aglomeratsiy v SSSR* [Development of urban agglomerations in the USSR], Moscow, Nauka Publ., 1978, 152 p. (In Russian)
- Natsional'nyy doklad o chelovecheskom razvitii za 2019 g. Urbanizatsiya kak uskoritel' inkluzivnogo i ustoychivogo razvitiya v Kazakhstane [National Human Development Report 2019. Urbanization as an Accelerator of Inclusive and Sustainable Development in Kazakhstan], Nur-Sultan, PROON v Respublike Kazakhstan Publ., 2020, 120 p. (In Russian)
- Nyusupova G.N., Tazhieva D.A., Kenespaeva L.B. [Urban settlement of Kazakhstan: history of formation and analysis of the current situation], *Problemy sovremennoy urbanizatsii: preymstvennost' i novatsii: materialy mezhdunarodnoy*

- konferentsii* [Problems of modern urbanization: continuity and innovation: materials of the international conference], Moscow, Geograficheskiy fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova, 2022, p. 5–11. (In Russian)
- OECD Urban Policy Reviews: Kazakhstan*, Paris, OECD Publ., 2017.
- Pritvorova T.P., Kosdauletova R.E. Razvitiye aglomeratsii v Vostochnom Kazakhstane: predposylki i usloviya dlya rosta [Development of an agglomeration in East Kazakhstan: prerequisites and conditions for growth], *Vestn. Karagandinskogo un-ta, Ser. Ekonomika*, 2014, no. 1(73), p. 20–28. (In Russian)
- Satpaeva Z.T. Analiz gorodov-sputnikov aglomeratsiy Kazakhstana [Analysis of satellite cities of the agglomerations in Kazakhstan], *Aktual'nyye nauchnyye issledovaniya v sovremennom mire*, 2021, no. 9(77), pt 1, p. 153–158. (In Russian)
- Tereshchenko T.A., Murzataeva M.M., Iskaliyev D.Zh. Opornyy karkas gorodskogo rasseleniya v Zapadnom Kazakhstane [The supporting framework of urban settlement in Western Kazakhstan], *Vestn. Tverskogo gos. un-ta. Ser.: Geografiya i geoekologiya*, 2016, no. 2, p. 109–119. (In Russian)
- Web sources*
- Ob utverzhdenii Mezhhreynal'noy skhemy territorial'nogo razvitiya Astaninskoy aglomeratsii. Postanovleniye Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 8 noyabrya 2017 g. no. 726 [On approval of the Interregional Scheme of Territorial Development of the Astana Agglomeration. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated November 8, 2017 no. 726.], *Informatsionno-pravovaya sistema normativnykh pravovykh aktov Respubliki Kazakhstan "Adilet"* [Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan "Adilet"], URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000726> (access date 11.01.2025).
- O razvitii aglomeratsiy: zakon Respubliki Kazakhstan ot 01.01.2023 g. no. 181-VII ZRK [On the development of agglomerations: Law of the Republic of Kazakhstan dated 01.01.2023 no. 181-VII ZRK], *Informatsionno-pravovaya sistema normativnykh pravovykh aktov Respubliki Kazakhstan "Adilet"* [Information and legal system of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan "Adilet"], URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z2300000181> (access date 10.02.2025).

Received 09.03.2025

Revised 16.04.2025

Accepted 20.05.2025

ЭТНОКОНТАКТНЫЕ ЗОНЫ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ: ДЕЛИМИТАЦИЯ И АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СОТОВЫХ ОПЕРАТОРОВ

Р.А. Бабкин

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, ст. науч. сотр.; ВНИИ труда Минтруда России, эксперт, канд. геогр. наук: e-mail: babkin_ra@mail.ru

В работе впервые в российской практике проведен комплексный анализ этноконтактных зон (ЭКЗ) Московского региона с использованием данных сотовых операторов о локализации абонентов – иностранных мигрантов. Для выделения ЭКЗ был применен адаптированный под специфику сотовых данных индекс этнической мозаичности Б.М. Эккеля (ИЭМ). Данный инструмент использовался прежде в основном для стран и регионов, а на внутригородском и внутриагломерационном уровне из-за отсутствия достоверных статистических баз не применялся. Высокое пространственное разрешение данных сотовых операторов позволило рассмотреть плотность межэтнических контактов на уровне локалитетов – ячеек размером 500×500 м. В результате анализа в Московском регионе было выявлено около 60 этноконтактных зон, существенно различающихся по пространственным и функциональным характеристикам. Подавляющая часть выделенных ЭКЗ расположена в Москве или в ближайших к ней городских округах Московской области. Предложена типология ЭКЗ, основывающаяся на ведущих факторах их происхождения. Так, появление пятой части всех ЭКЗ приурочено к крупным транспортно-пересадочным узлам (ТПУ) – аэропортам, автовокзалам, железнодорожным станциям и пересечениям крупных автомагистралей. Примерно столько же располагаются в спальных районах Москвы и ее городов-спутников с недорогим жильем и хорошей транспортной доступностью ядра агломерации. Еще один распространенный тип ЭКЗ формируется в районах активного жилищного строительства. Также выявлены специфические типы ЭКЗ, связанные с активной общественной, деловой и культурной жизнью иностранцев: вблизи крупных вузов и дипломатических представительств (на юго-западе Москвы), а также религиозных объектов. Наконец, развитие самых крупных ЭКЗ (Новомосковская, Юго-Восточная, Южнопортовая) связывается сразу с несколькими факторами, что позволяет выделять их в отдельный комплексный тип. Дополнительно для ЭКЗ были рассмотрены такие параметры, как площадь, выраженность на территории и объем потенциальных мигрантских контактов (ОПМК). Предполагается, что разработанный подход к делимитации и анализу ЭКЗ может стать одним из инструментов геоаналитики ЭКЗ и мониторинга рисков межэтнической конфликтогенности на локальном уровне.

Ключевые слова: иностранные мигранты, национальный состав, индекс этнической мозаичности Эккеля (ИЭМ)

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.4.13

ВВЕДЕНИЕ

Социальные конфликты, имеющие этническую природу, как правило, особенно опасны. Особую тревожность вызывают крупнейшие городские агломерации, являющиеся центрами концентрации разнообразных этносов и культур. Известный американский социолог Р. Парк отмечал, что в городе любое свойство человека усиливается, при этом это может быть как склонность к созиданию и творчеству, так и негативные стороны человеческой природы, такие как расизм или ксенофобия [Park et al., 1984]. Наилучшее, что в этих условиях может сделать наука – упредить угрозы путем подсвечивания рисков и возможных последствий. В свою очередь, географическая наука, оперируя пространственными атрибутами способна формировать территориальные маркеры угроз. Одними из них могут служить этноконтактные зоны (ЭКЗ).

Понятие «этноконтактная зона» в отечественной экономической географии берет свое начало с кон-

ца 1980-х гг. [Поспелов, Крупник, 1989]. При этом с тех пор оно активно используется в культурной географии в рамках концепции геоэтнокультурных систем [Теренина, Кроток, 2024].

В подавляющем числе случаев этноконтактное зонирование применяется на уровне регионов и выше. Однако, на наш взгляд, не менее актуально рассмотрение межэтнического взаимодействия на внутригородском уровне, поскольку именно города – места усиленного соприкосновения культур и народов. В этом контексте ЭКЗ представляют собой вполне конкретные исследовательские объекты, которые можно представить в виде территорий с наиболее интенсивными межэтническими контактами.

Истоки изучения контактности различных этнокультурных групп лежат в исследованиях зарубежных урбанистов – представителей «Чикагской школы экологии города»: Э. Берджесса, Р. Парка, Л. Вирта и др. «Чикагцы» еще в первой полови-

не XX в. активно занимались эмпирическими городскими исследованиями, дав методологическое развитие целому кусту социологических методов, таких как глубинные интервью, натурные наблюдения и социологические опросы. Отдельно стоит обратить внимание на многослойность исследований этих ученых, которые рассматривали городское пространство в экономическом, политическом и культурном срезе. Немаловажным был и этнический срез как один из ключевых для изучения первопричин социальной борьбы. Представители чикагской школы были социал-дарвинистами и рассматривали функционирование городского континуума через призму естественной борьбы между населяющими его социальными группами.

Согласно наиболее известной модели городского устройства Э. Берджесса за различными районами города в результате этого противостояния закрепляются определенные экономические и социальные роли [Park et al., 1984]. Кольцевая модель Э. Берджесса, несмотря на свою простоту и сильную аппроксимацию (она не учитывала многие важные факторы дифференциации, такие как рельеф местности, культурно-исторический базис транспортные артерии и т. д.), тем не менее получила большую популярность и стала прародительницей многих моделей. В частности, этнический фактор сегментации городского пространства проявляется в последующих моделях британских и американских социологов, привносящих в концентрическую модель Э. Берджесса секторную составляющую (например, модель Л. Вирта) [Park et al., 1984].

В современных городских исследованиях проблематика этнической стратификации городов, особенно пригородов, занимает одно из центральных мест. Поток прибывающих в пригороды мигрантов достиг таких объемов, что в американской урбанистике появились термины «бум пригородов» (boomburb) [Katz et al., 2005] и «этнопригороды» [Li, 1998]. При этом формируются как моноэтнические этнопригороды, так и пригороды с мозаичной этнической структурой – аналоги ЭКЗ. Вслед за американскими коллегами работы по изучению формирующихся пригородных этноанклавов появились и на примере городов Европы: Парижа [Grzegorzczuk, 2014], Милана [Membretti, Quassoli, 2015], городов Испании [Fernandez-Huertas Moraga et al., 2019].

С 1950-х гг. в зарубежной науке для оценки этнической стратификации стали использовать «индекс этнической фракционализации» [Posner, 2004] или близкий ему «индекс этно-лингвистической фракционализации» [Sturm, De Haan, 2015]¹, ко-

торые успешно применяются и в наши дни. Так, с помощью индекса этнической фракционализации была рассчитана гетерогенность муниципалитетов прибалтийских государств [Nemeth, 2013], Чехии [Krizkova, Simon, 2022], а несколько модифицированная методика применялась для оценки уровня сегрегации мигрантских групп по месту жительства в Швеции [Nielsen, Hennerdal, 2017].

В отечественной науке вопрос о необходимости оценки соотношения различных этнических групп в населении городов и регионов был поставлен еще в конце 1960-х В.В. Покшишевским [Покшишевский, 1969]. Им было введено понятие «этническая мозаичность» как показатель полиэтничности территории. Спустя несколько лет на материалах всесоюзной переписи населения 1970 г. Б.М. Эккель рассчитал «индекс этнической мозаичности» (ИЭМ) для всех регионов и республик СССР [Эккель, 1976], который фактически стал отечественным эквивалентом «индекса этнической фракционализации».

Этноконтактное районирование на основе ИЭМ получило определенную популярность у отечественных географов. За последние годы с его помощью были проанализированы наиболее многонациональный макрорегион России – Северный Кавказ [Лысенко и др., 2011], Северо-Запад России [Мананков, 2016] и многие регионы страны (прежде всего национальные республики): Якутия, Республика Алтай, Бурятия и др. Ряд работ был посвящен рассмотрению страны в целом [Дорофеева, Савоскул, 2010; Сафронов, 2015]. Отдельно стоит обратить внимание на работу [Теренина, Кроток, 2024], в которой авторы показали фазы формирования ЭКЗ на примере российских регионов.

Мы видим, что в виду лучшей статистики по национальному составу населения исследователи в основном рассматривают ЭКЗ в региональном масштабе. Внутригородской уровень рассмотрения представлен слабо и фактически ограничен Московским регионом. Для Москвы оценка плотности межэтнических контактов была проведена в работе [Вендина и др., 2019] на основе данных Всероссийской переписи населения 2010 г., а также в работе [Бабкин и др., 2024] на основе данных сотовых операторов. Обе работы оценивали этноконтактность Москвы на муниципальном уровне.

Как показывает практика, ИЭМ наилучшим образом оценивает теоретическую вероятность вступления представителей разных национальностей в межэтнические контакты [Теренина, 2022]. В то же время в большинстве случаев плотность межэтнического взаимодействия выше в городах, чем в сельской местности. В связи с этим Я.З. Гарипов предложил отдельный расчет ИЭМ только для го-

¹ В первом случае рассматривается разделения по этническому составу, а втором – по языковому.

родского населения, при помощи так называемого «индекса активного межэтнического общения» [Гарипов, 2015]. На наш взгляд, этот подход хотя и нивелирует многие погрешности индекса, но не до конца учитывает пространственную неравномерность внутри самих городов, которая зачастую может быть даже более выраженной в сравнении со статусной (городской/сельский населенный пункт). Поэтому вслед за [Теренина, 2022] автор считает необходимым использовать статистику на более детальном, чем региональный или муниципальный, уровне.

Новизна настоящего исследования заключается в рассмотрении территории Москвы и Подмосковья в разрешении локалитетов 500×500 м, что позволяет более детально взглянуть на пространственную картину межэтнических контактов, не затерянную особенностями административно-территориального деления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным источником информации, на основе которой выполнено настоящее исследование, стали предоставленные Департаментом информационных технологий Москвы данные операторов сотовой связи за 2023 г. С их помощью была проведена оценка количества иностранных мигрантов по принадлежности абонентов к категории населения «международная связь» по странам, что определялось в соответствии с паспортными данными о гражданстве абонента (если сим-карта российского оператора) или по данным о роуминге (если сим-карта зарубежного оператора).

Для оценки этнического разнообразия и плотности межэтнических контактов использовался индекс этнической мозаичности Эккеля, рассчитываемый по формуле: $IЭМ = 1 - \sum (P_i)^2$, где $(P_i)^2$ – доля i -й национальности ($i = 1, 2, \dots$) в исследованном полигоне [Эккель, 1976].

С некоторыми допущениями, на которых остановимся далее, имеющиеся данные сотовых операторов в разрезе стран выхода иностранцев были применены для расчета данного индекса. Как указывалось ранее, для полноты картины был рассмотрен наиболее детальный доступный для нас уровень пространственной иерархии – *локалитет* (ячейка площадью 0,25 км²) в двух временных промежутках – день и ночь. Этот вариант позволил комплексно взглянуть на плотность межэтнических контактов с учетом их внутрисуточных изменений:

– индекс для ночного населения рассчитывался на основе информации о преимущественном местонахождении абонента в ночные часы (с 23:00 до 6:00) за все дни календарного месяца;

– индекс для дневного населения рассчитывался на основе информации о преимущественном местонахождении абонента в дневные часы (с 10:00 до 17:00) за все дни календарного месяца.

Также данные о преимущественном нахождении всей совокупности иностранных граждан в ночные и дневные часы за все дни календарного месяца использовались автором для расчета показателя объема потенциальных мигрантских контактов (ОПМК), при помощи которого рассчитывались количественные характеристики ЭКЗ.

Отдельно стоит отметить ряд сложностей и методических ограничений, с которыми столкнулся автор в ходе своего исследования. Пожалуй наиболее слабой стороной данных является то, что они не учитывают мигрантов из зарубежных стран, являющихся российскими гражданами. Второе важное методологическое допущение, которым автор вынужден воспользоваться в силу специфики данных, – это замена в расчетах переменной «национальности», которая характерна для классического ИЭМ на «гражданство». Сотовые данные, в отличие от переписи не дают информации о национальности человека, предоставляя информацию только о стране его выхода. В-третьих, применяемый автором метод, фактически выносит за рамки рассмотрения представителей народов, проживающих внутри России. В то же время в защиту подхода нужно сказать, что он позволяет более акцентировано взглянуть на наименее интегрированную часть этнокультурных сообществ (мигранты, не имеющие российского гражданства).

Таким образом, несмотря на серьезные методические допущения, автор считает возможным применение данного источника информации для оценки плотности межэтнического взаимодействия и выделения ЭКЗ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плотность межэтнических контактов и этноконтактные зоны Московской агломерации. Как было показано в статье [Бабкин и др., 2024], ЭКЗ – это далеко не всегда места с наибольшей численностью или долей мигрантов. Это прежде всего локации, в которых формируются условия для пересечения многих этнокультурных групп. Исторически такими местами служили рынки: в постсоветской России они получили устойчивую ассоциацию с иностранной миграцией и стали ядрами концентрации иностранцев, причем, как правило, из многих этнических групп [Этнические..., 2015; Варшавер и др., 2021]. Помимо рынков, такими местами могут быть стройки, промышленные предприятия, транспортные узлы, а также университетские го-

родки или бизнес-центры. Так или иначе связка таких объектов с конкретными муниципалитетами (минимальными территориальными образованиями, по которым доступна официальная этностатистика) весьма условна. Внутренняя дифференциация муниципального образования может серьезно сглаживать ИЭМ. Отдельные части некоторых районов могут иметь практически однородную этническую структуру, а другие напротив – чрезвычайно мозаичную.

Уникальная возможность данных сотовых операторов рассчитать показатели в разрезе локалитетов позволяет «препарировать» районы, фактически связав плотность межэтнических контактов с конкретными объектами (группами объектов) и факторами, что не всегда возможно при рассмотрении на уровне единиц административно-территориального деления. Наконец, в разрезе локалитетов территориальная структура ЭКЗ вырисовывается более четко.

Если взглянуть на карту плотностей межэтнических контактов в ночные (рис. 1А) и дневные (см. рис. 1Б) часы, мы увидим, что ночная картина более показательна и выделяет большее число ЭКЗ. В свою очередь дневной рисунок в целом повторяет ночной, но с меньшими значениями коэффициента

(при этом наиболее крупные и связанные с местами занятости мигрантов ЭКЗ выявляются как в ночном, так и в дневном вариантах оценки).

Отчетливо видно (см. рис. 1А, Б), что на территории столичного региона есть несколько ареалов, состоящих из ячеек с ИЭМ свыше 0,6 (по классификации А.Г. Манакова – полиэтнические территории). Для группировки районов по типам этноконтактных зон использована шкала, предложенная А.Г. Манаковым: до 0,2 – невыраженные, 0,2–0,4 – неярко выраженные, 0,4–0,6 – ярко выраженные и свыше 0,6 – полиэтнические территории [Манаков, 2016]. На уровне муниципалитетов таких значений не выявляется: наивысшие величины ИЭМ наблюдаются у районов Люблино (0,45) и Раменки (0,43) [Бабкин и др., 2024]. При этом круглосуточный формат проявления высоких значений индекса говорит об наибольшей устойчивости этих ЭКЗ. Кроме того, можно выделить целый ряд менее выраженных контактных зон, делимитируемых на карте единичными красными локалитетами или проявляющимися только в ночные часы.

Характеристики этноконтактных зон. Основываясь на анализе полученной картины, мы можем выделить несколько ключевых характеристик ЭКЗ.

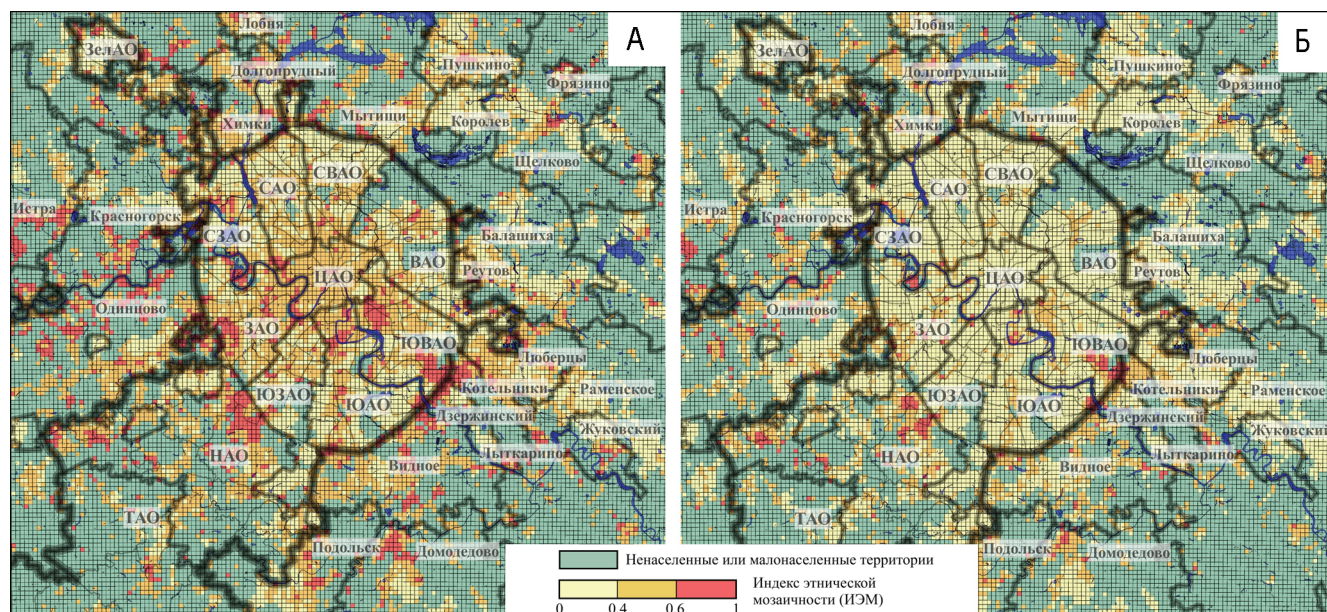


Рис. 1. Индекс этнической мозаичности (ИЭМ) по данным сотовых операторов в Москве и ближайшем Подмоскowie в ночное (А) и дневное (Б) время.

Источник: составлено автором по данным сотовых операторов (октябрь 2023 г.)

Fig. 1. Index of Ethnic mosaicism (IEM) according to data from mobile operators in Moscow and the nearest Moscow oblast at night (А) and day (Б).

Source: compiled by the author based on data from mobile operators (October 2023)

Среди количественных характеристик ЭКЗ, по нашему мнению, важными являются *площадь и объем потенциальных мигрантских контактов*

(ОПМК). Под ОПМК мы понимаем численность уникальных иностранных абонентов, преимущественно находившихся в ночное и/или дневное вре-

мя на рассматриваемой территории в рассматриваемом календарном месяце (октябрь 2023 г.).

Важной качественной характеристикой стоит считать *пространственную выраженность ЭКЗ*. Ее можно оценить экспертно, отталкиваясь от конфигурации ЭКЗ на карте:

– *ярко-выраженная* – ЭКЗ с выраженными рубежами, тяготеющими к определенным объектам на местности, и сплошным ареалом повышенных значений ИЭМ. В них четко делимитируется ядро с круглосуточным ИЭМ > 0,6.

– *выраженная* – ЭКЗ состоит из концентрированного ядра из локалитетов с ИЭМ > 0,6, при этом большая часть может быть представлена локалитетами с ИЭМ 0,4–0,6 или проявляется только в определенное время суток (как правило, в ночное время).

– *рыхлая* – разрозненные локалитеты с повышенными значениями ИЭМ, в которых значения ИЭМ превышают 0,4, при отсутствии выраженного ядра.

Наконец, важнейшим качественным основанием для типологии является *генезис* ЭКЗ – их происхождение под влиянием отдельных объектов (групп

объектов) в городском пространстве. Так, можно выделить ЭКЗ, связанные с крупными ТПУ, площадками нового жилищного строительства, торговли и т. д. (рассмотрим этот параметр более подробно далее).

В столичном регионе делимитируется несколько десятков значимых ЭКЗ, обладающих отчетливой пространственной структурой, площадью от 10 км² и более, и ОПМК в десятки и даже сотни тысяч человек в месяц (табл.). При этом на общем фоне выделяются три зоны-гиганта, заметно превосходящих остальные по своим характеристикам: Центральная, Юго-Восточная и Новомосковская. Отметим, что первая из них, несмотря на заметные размеры и большую численность находящихся там иностранных граждан, отличается весьма рыхлой пространственной структурой и, вероятно, представляет из себя совершенно особый объект изучения, фактически являясь ядром глобального города. Две другие ЭКЗ действительно служат яркими примерами урбанизированных ареалов с высокой концентрацией разнообразных этнокультурных групп.

Таблица

Крупнейшие этноконтактные зоны Московского региона

№	Название	Генезис	Выраженность	Суммарный ОПМК*	Площадь**
1	Центральная	Культурно-деловой	Рыхлая	243,7	22,4
2	Юго-Восточная	Комплексный	Ярко-выраженная	207,8	32,6
3	Новомосковская	Комплексный	Ярко-выраженная	147,8	39,6
4	Хорошево-Шелепихинская	Жилищно-строительный	Выраженная	92,4	9,4
5	Южнопортовая	Комплексный	Выраженная	86,4	16,4
6	Люберецкая	Спально-городской	Выраженная	78,5	26,6
7	Раменская	Культурно-деловой	Выраженная	77,4	14,7
8	ЗИЛ	Жилищно-строительный	Ярко-выраженная	65,5	10,2
9	Шереметьевская	Транспортно-узловой	Выраженная	59,1	21,4
10	Химкинская	Спально-городской	Выраженная	55,9	14,2
11	Обручевская	Культурно-деловой	Выраженная	52,8	6,2
12	Домодедовская	Транспортно-узловой/комплексный	Ярко-выраженная	45,6	28,1
13	Реутовская	Спально-городской	Выраженная	44,1	7,5
14	Гольяновская	Спально-городской	Выраженная	43,3	9,0
15	Одинцовская	Спально-городской	Рыхлая	40,0	16,4

Источник: составлено автором по данным сотовых операторов.

Примечания. *Сумма значений ОПМК для ночного и дневного времени. **Экспертно выделяемая совокупность сплошного распространения ячеек с ИЭМ свыше 0,4.

Типология этноконтактных зон. Наилучшим, по мнению автора, основанием для типологии ЭКЗ служит именно их генезис. Попробуем через призму факторов происхождения взглянуть более подробно на почти 60 выявленных в столичном регио-

не ЭКЗ. Состав, границы и классификация ЭКЗ не окончательные (рис. 2).

Первый тип ЭКЗ – жилищно-строительные. Генезис этих зон связан с вводом нового жилья и основной ролью трудовых мигрантов из-за рубежа в

строительном секторе столичного региона. Их особенность в том, что они не являются значимыми аттракторами для проживания мигрантов (это доказывают пониженные значения ИЭМ в ночные часы). Самым ярким примером этого типа является ЭКЗ ЗИЛ, расположенная на месте бывшей промзоны, ставшей одним из символов столичной реновации старопромышленных территорий. Аналогичную природу имеет еще несколько меньших по размеру московских ЭКЗ: Мневниковская, Хорошево-Шелепихинская, Тушинская (здесь также расположен крупный ТПУ), Некрасовская, Рудневская (в Косино-Ухтомском).

Целая плеяда ЭКЗ приурочена к крупным транспортно-логистическим узлам, что позволяет выделять *второй тип ЭКЗ – транспортно-узловые*. Наиболее

выраженными выступают ареалы вокруг аэропортов, в меньшей степени – рядом с железнодорожными и автовокзалами. Так, значимые ЭКЗ связаны с аэропортовыми комплексами всех основных аэропортов Московского авиационного узла (Шереметьево, Домодедово, Внуково и Жуковский; выделяются также близлежащее село Софьино и город Раменское), а также с прилегающими к ним территориями. Своими размерами и ОПМК особенно выделяются Шереметьевская и Домодедовская ЭКЗ. В случае с Домодедово, вдобавок к основному аэропорту, ориентированному на страны Средней Азии, здесь заметно действие факторов дешевого жилья, значительного числа логистических комплексов и строящихся новостроек (это приближает данную ЭКЗ к комплексному типу, о котором речь пойдет далее).

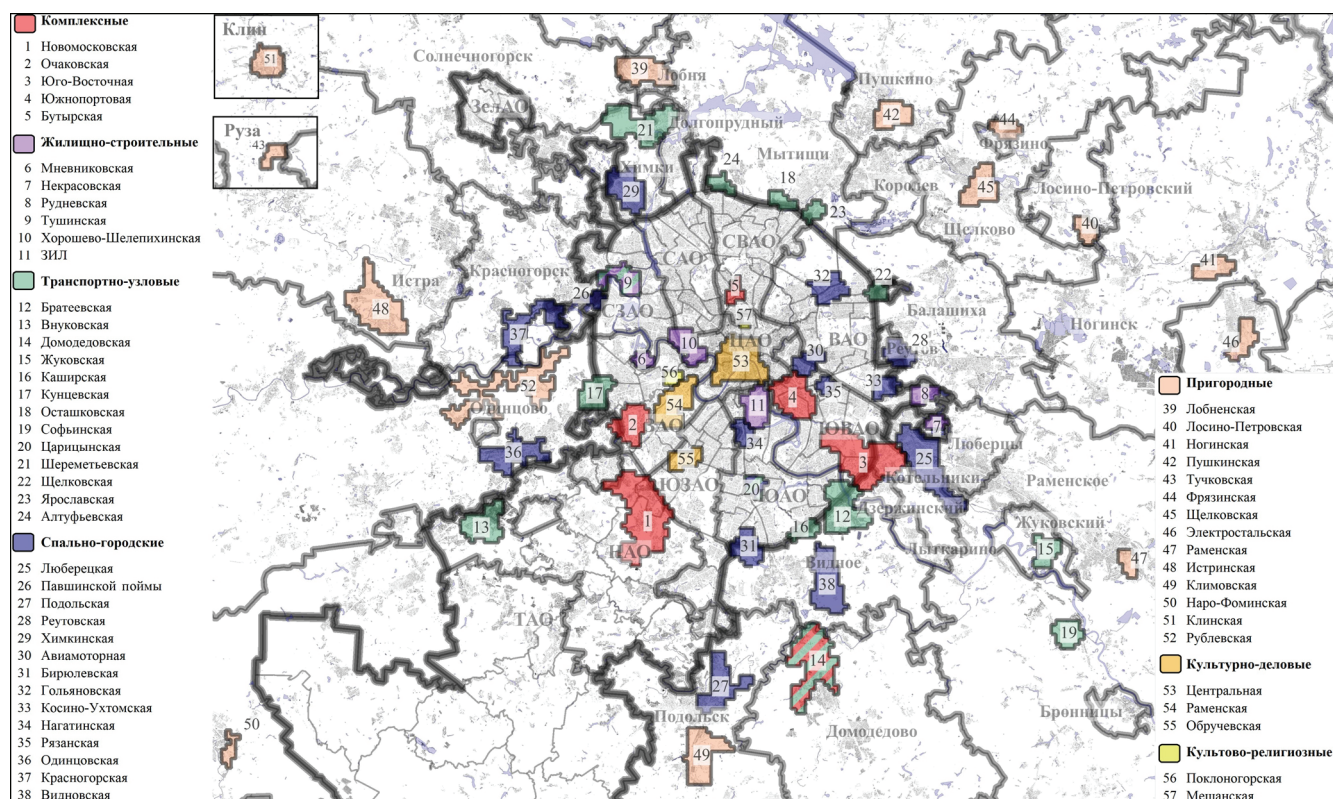


Рис. 2. Этноконтактные зоны Московского региона. *Источник:* составлено автором по данным сотовых операторов

Fig. 2. Ethnic contact zones of the Moscow region. *Source:* compiled by the author based on data from mobile operators

Отдельно стоит обратить внимание на восточную оконечность района Братеево, в которой можно выделить Братеевскую ЭКЗ (которую также можно рассматривать и как своего рода продолжение более крупной Юго-Восточной ЭКЗ), связанную с крупнейшим столичным автовокзалом «Южные ворота» вместе с одноименным торговым комплексом, которые являются значимым круглосуточным аттрактором для иностранных мигрантов.

Еще несколько активных, но меньших по размеру ЭКЗ сформировано в местах размещения торговых комплексов на границе Москвы и области (обычно развязки ключевых шоссе с МКАД). Примером такого типа может служить Осташковская ЭКЗ в Мытищах вокруг Мытищинской ярмарки и Осташковской развязки, а также Алтуфьевская, Ярославская, Каширская, Щелковская ЭКЗ в районах одноименных развязок. На западе Москвы

выделяется Кунцевская ЭКЗ, формирование которой сочетает в себе транспортно-логистические и оптово-торговые функции. Упомянутые примеры затрагивают только территории мест приложения труда мигрантов, поскольку расположены практически исключительно в местах коммерческой застройки. В то же время работающие здесь мигранты обычно проживают в близлежащей жилой застройке городов-спутников, стимулируя развитие в них ЭКЗ-спален.

Третий тип ЭКЗ – спально-городские располагаются в массиве спальных районов Москвы. Они приурочены к районам традиционно повышенной доли мигрантов в населении: Гольяновская, Царицынская (здесь имеет место и фактор расположения крупного ТПУ), Бирюлевская, Косино-Ухтомская, Нагатинская, Авиамоторная, Рязанская. Особенность этих зон – в значительном повышении показателя ИЭМ именно в ночные часы и весьма слабое его проявление днем. В связи с этим на рис. 1Б эти ЭКЗ слабо выражены.

К этому же типу можно отнести ЭКЗ, формирующиеся в городах-спутниках Москвы (обычно с хорошей транспортной связностью в виде метро или МЦД. Целесообразно выделять их в отдельный подтип.): Реутов, Люберцы, Химки, Подольск, Видное. Их признак – высокая подвижность мигрантов, т.к. их значимая часть работает в ядре агломерации. При этом повышенные значения плотности межэтнических контактов обычно имеют центральные части этих центров, где размещаются транспортные узлы и откуда удобнее совершать трудовые поездки в Москву. Кроме того, к ним тяготеет значительная часть объектов оптово-розничной торговли. В некоторых случаях это могут быть периферийные части городов. Например, ЭКЗ в Павшинской пойме и в районе Путилково (обе в периферийных частях городского округа Красногорск на границе с МКАД) связаны с новыми крупными жилыми массивами и удобным транспортным положением. Кроме того, есть примеры с большими по площади, но рыхлыми ЭКЗ, например Красногорская (центральная часть самого города) и Одинцовская.

Можно отметить, что часть московских городов-спутников не формируют выраженных ЭКЗ: в ближнем поясе такими примерами служат Балашиха, Железнодорожный (с 2015 г. в составе г.о. Балашиха), Сходня (в составе г.о. Химки), Королев. В этих центрах анализ локалитетов по ИЭМ не позволяет относить их территорию к ЭКЗ.

Четвертый тип ЭКЗ – пригородные – формируются в более удаленных городских центрах Московской области, менее связанных с рынком труда Москвы. Отметим, что они образуются далеко не во всех городах Подмосковья. Например, не выделяются

(повышенные значения могут наблюдаться в двух-трех локалитетах, но не формируют сплошного ареала) ЭКЗ в таких крупных городах, как Коломна, Серпухов, Егорьевск, Орехово-Зуево, Дубна. При этом ЭКЗ идентифицируются в Клину, Истре, Лобне, Фрязине, Щелкове, Лосино-Петровском, Пушкине, Раменском, Наро-Фоминске, Электростали и Ногинске. Помимо административных центров городских округов Московской области, выраженные ЭКЗ могут формироваться на базе второстепенных населенных пунктов: например, села Софьино в Раменском районе, что связано с наличием там крупных складских комплексов. Похожий пример – бывший город Климовск (ныне район Подольска). Есть и еще более необычные ситуации, например рабочий поселок Тучково в г.о. Руза выделяется как весьма выраженная для небольшого населенного пункта ЭКЗ, при том, что в самой Рузе повышенных значений ИЭМ не зафиксировано. Отдельно стоит отметить Рублевскую ЭКЗ – линейно вытянутую вдоль Рублево-Успенского шоссе группу локалитетов с высокими значениями ИЭМ.

Пятый тип ЭКЗ – комплексные. Их возникновение связано с сочетанием приведенных для предыдущих типов факторов: наличия мест приложения труда, недорогого жилья, а также активно ведущегося строительства или реновации промзон. К этому типу относится сверхкрупная Юго-Восточная ЭКЗ. Она формируется на территории сразу двух московских районов и трех городских округов Подмосковья. Наиболее устойчивые части данной зоны, сохраняющие высокую плотность межэтнических контактов как в дневные, так и в ночные часы, – это стык районов Люблино и Капотня с городом Котельники, а также части территории городов Дзержинский и Люберцы. Восточная часть района Люблино – место локализации крупнейшего столичного рынка «Садовод», куда в значительной мере переориентировалась этноторговля бывшего Черкизовского рынка. Расположенный сразу за МКАД микрорайон Котельников «Белая Дача», с одной стороны, служит местом размещения крупного торгового комплекса «МЕГА Белая Дача», а с другой – концентрирует доступное для работающих в «МЕГЕ» и «Садоводе» мигрантов жилье.

Еще один исполин – Новомосковская ЭКЗ, сформированный на территории нового столичного района Коммунарка (бывшие поселения Сосенское, Мосренген и Московский). Данная зона характеризуется сочетанием сразу нескольких факторов повышенной концентрации иностранных мигрантов. Во-первых, здесь локализуются крупные продуктовые и строительные рынки

(«Фуд Сити», «Славянский мир», «ЦСК», «Строй-мастер» и др.), объекты коммунальной и специальной инфраструктуры (например, крупнейшие столичные кладбища – Хованское и Востряковское). Во-вторых, это место наиболее активного жилищного строительства в Московском регионе: такие ЖК как «Саларьево Парк», «Скандинавия Юг», «Румянцево Парк», «Испанские кварталы», насчитывающие сотни тысяч квадратных метров жилья, служат местами притяжения десятков тысяч мигрантов-рабочих. Новостройки Новой Москвы привлекают иностранцев не только в качестве строителей, но и в качестве будущих жителей и арендаторов жилья, поскольку сочетают в себе относительную дешевизну, близость к местам занятости и неплохое транспортно-географическое положение.

Очаково-Матвеевская ЭКЗ на юго-западе столицы также является примером сочетания фактора жилищного строительства и наличия значительного числа мест приложения труда для иностранных мигрантов (промышленные и складские объекты, а также крупное Троекуровское кладбище). В Юго-Восточном административном округе на стыке районов Печатники, Текстильщики, Южнопортовый и Нижегородский располагается крупный ареал с повышенной плотностью межэтнических контактов – Южнопортовая ЭКЗ (большая ее часть тяготеет к реконструируемой промзоне «Южный порт»). На северо-востоке столицы примером формирования зоны вокруг торгово-промышленных предприятий, нового жилья и ТПУ служит небольшая Бутырская ЭКЗ.

Шестой тип ЭКЗ – культурно-деловые, которые, в отличие от предыдущих типов, приурочены к местам концентрации высококвалифицированных иностранцев: работников международных компаний, дипломатов, а также студентов вузов. К наиболее выраженных зонам такого типа стоит отнести Раменскую – в одноименном районе с высокой концентрацией посольств и кампусом МГУ имени М.В. Ломоносова и Обручевскую – место размещения корпусов РУДН. Повышенные значения плотности межэтнических контактов имеет также территория самого центра столицы в пределах Бульварного кольца, а также в перспективе в районе Москва-Сити (сейчас плохо делимитируется и входит в состав Хорошево-Шелепихинской ЭКЗ в связи с активно ведущимся в этом районе строительством). Пестрота межэтнических контактов в этих ЭКЗ – фактически проекция глобальных функций Москвы, ее роли в качестве международного делового и культурного центра.

Наконец, *седьмой тип ЭКЗ – культово-религиозные* – пока редок и представлен двумя весьма

размытыми ЭКЗ вблизи двух столичных мечетей: Поклоногорская ЭКЗ (вблизи Мемориальной мечети на Поклонной горе) и Мещанская ЭКЗ (около Соборной мечети в Мещанском районе). Тем не менее тенденции насыщения столичной агломерации мигрантами из мусульманских стран дают основания выделять такой тип в некоторой степени превентивно.

Представленная типология не является конечной и исчерпывающей. Во-первых, развитие большинства ЭКЗ обуславливается несколькими факторами. Несмотря на то что обычно можно выделить ведущий стимул, имеются и спорные случаи (например развитие Домодедовской ЭКЗ, несмотря на доминирующую роль аэропорта, связано и с жилищным строительством). Во-вторых, отдельный методологический вопрос касается стадийности развития и эволюции ЭКЗ. Можно утверждать, что отчасти параметр пространственной выраженности ЭКЗ отображает степень их зрелости, однако существуют примеры быстрого сворачивания даже очень мощных зон. Так, ЭКЗ в районе Черкизовского рынка долгое время была местом наиболее выраженных межэтнических контактов в столичном регионе, хотя сейчас она там не выделяется вовсе. В то же время разработка подходов к дальнейшему изучению ЭКЗ вполне может опираться на представленные параметры.

Так или иначе все представленные типы ЭКЗ (за исключением разве что культурно-делового типа) являются наиболее вероятным местом возникновения межэтнических конфликтов. Действительно, именно крупнейшие ЭКЗ, выявленные в данном исследовании, часто служат местами резонансных случаев столкновений на национальной почве. При этом необязательно они должны проявляться открыто. Даже нереализованный потенциальный конфликт сам по себе может иметь пагубные социальные и экономические последствия, поскольку нестабильность и неопределенность сокращают инвестиции и повышают издержки [Montalvo, Reynal-Querol, 2005]. Поэтому выявленные ЭКЗ, включая и те, в которых не было зафиксировано активных угроз межэтнических распри, должны обращать на себя повышенное внимание городских властей и правоохранительных органов.

ВЫВОДЫ

ЭКЗ – реально существующие территориальные структуры, изучение которых чрезвычайно актуально. Этот тезис подтверждают как международный опыт, в особенности тенденции к появлению этнопригородов в крупных западных городах, так и настоящее исследование. Традиционно применявшийся для изучения регионов и стран

ИЭМ Б.М. Эккеля при наличии соответствующей информационно-ресурсной базы в виде данных сотовых операторов о гражданстве абонентов вполне успешно может применяться и для внутрирегионального уровня. Несмотря на то что сведения о гражданстве нельзя в полной мере соотносить с национальным составом, адаптированная под специфику сотовых данных версия расчета ИЭМ и выделения ЭКЗ показывает свою релевантность, смещая при этом акценты в сторону рассмотрения контактов между различными мигрантскими сообществами и вмещающим социумом, что, вероятно, даже более актуально нежели классический анализ межэтнических контактов.

Примененный в работе подход позволил выявить на территории Московского региона порядка шестидесяти ЭКЗ, локализованных преимущественно в самой столице и в ближайших к ней городах-спутниках. Существенные отличия между делимитированными ЭКЗ потребовали разработки параметров их оценки и типологии. При этом генетический фактор предложен в качестве основополагающего типологического критерия. Дополнительными параметрами, которые позволяют более акцентировано взглянуть на ЭКЗ, можно считать площадь и выраженность границ, а также ОПМК – показатель, характеризующий среднемесячное число мигрантов, большую часть времени находящихся на территории ЭКЗ.

Происхождение почти всех ЭКЗ в столичном регионе прямо или опосредованно связано с занятостью мигрантов и чаще всего их можно приурочить к конкретным объектам или их группам. Так, четверть ЭКЗ сформировано на основе крупных ТПУ, а появление таких крупных ЭКЗ, как Шереметьевская, Домодедовская, Царицынская или Братеевская, напрямую связано с объектами транспортно-логистической инфраструктуры.

Другим распространенным местом проявления ЭКЗ служат зоны активного жилищного строительства. Строительный сектор – одно из основных мест приложения труда иностранных мигрантов, а стройки, по крайней мере, на время, становятся ареалами повышенного межэтнического взаимодействия. Две крупнейшие ЭКЗ этого типа – Хорошево-Шелепихинская и ЗИЛ, входят в десятку крупнейших в столичном регионе.

Косвенно с рынком труда связаны спально-городские ЭКЗ, которые из-за своего недорогого жилья и близостью к местам занятости становятся местом повышенной концентрации мигрантов. При этом это могут быть как периферийные районы самой Москвы (Гольяново, Бирюлево, Косино-Ухтомский), так и города-спутники Москвы (Люберцы, Химки, Реутов, Одинцово и т. д.).

Крупнейшие ЭКЗ обычно сочетают в себе все перечисленные выше факторы: там есть транспортные узлы, ведется новое жилищное строительство, имеется доступное низкоквалифицированным мигрантам жилье. Кроме того, именно здесь концентрируются наиболее емкие места приложения труда, прежде всего – объекты оптовой торговли. Именно к такому типу относятся две самые крупные столичные ЭКЗ – Юго-Восточная и Новомосковская, имеющие площадь по 30–40 км² и ОПМК по 150–200 тыс. чел. в месяц.

Помимо перечисленных, специфическими типами ЭКЗ можно назвать зоны, связанные с активной общественно-деловой жизнью иностранцев в районах расположения крупных вузов, дипломатических представительств, да и просто в центре Москвы. Также редким и пока не очень выраженным типом являются ЭКЗ, связанные с религиозно-культурными местами.

Отдельно стоит обратить внимание на постоянство самих ЭКЗ, в силу весьма жесткой привязки их подавляющего числа к трудовым аттракторам. При этом вне зависимости от того будут ли это торговые комплексы, логистические центры при ТПУ или строительные площадки, их устойчивость всецело зависит от мест трудового притяжения, которые могут достаточно быстро появляться, трансформироваться и даже исчезать (как это произошло с Черкизовским рынком или Покровской овощебазой в Бирюлево).

Так или иначе ЭКЗ – это места усиленного соприкосновения разных этнических и культурных групп, а значит, и потенциальные зоны возникновения конфликтов на национальной или религиозной почве. В этой связи в целях превентивного выявления повышенных рисков межэтнических конфликтов в интересах органов власти осуществлять мониторинг развития ЭКЗ, их роста и изменения ключевых характеристик на регулярной основе, в том числе используя апробированный в настоящей работе подход.

В то же время нужно иметь в виду и то, что контактность может приводить не только к конфликтам, но и к деятельному этнокультурному симбиозу. И хотя мы говорим о том, что к ЭКЗ должно быть обращено повышенное внимание при реализации культурной и миграционной политики, однако не утверждаем, что для городского сообщества они несут исключительно угрозу. В действительности ЭКЗ в нашем представлении – это не только зоны повышенного риска, но и территории для реализации деятельного межкультурного диалога, а также площадки для медиации возникающих межнациональных разногласий.

Благодарности. Автор выражает благодарность Департаменту информационных технологий правительства г. Москвы за возможность использовать предоставленные данные о передвижениях абонентов сотовой связи для написания данной работы.

Статья подготовлена в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 24-77-00047 «Этнокультурные сообщества в Москве и Московской области: пространственно-временной анализ в интересах формирования региональной политики в области расселения иностранных мигрантов») в РЭУ имени Г.В. Плеханова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабкин Р.А., Махрова А.Г., Медведникова Д.М. Иностранные мигранты в Московской агломерации: пространственно-временной анализ на основе данных сотовых операторов // *Известия РАН. Серия географическая*. 2024. Т. 88. № 2. С. 105–118. DOI: 10.31857/S2587556624020014.
- Варшавер Е.А., Рочева А.Л., Иванова Н.С. Факторы и механизмы складывания мест резидентной концентрации мигрантов вокруг рынков // *Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены*. 2021. № 5. С. 425–449. DOI: 10.14515/monitoring.2021.5.1939.
- Вендина О.И., Панин А.Н., Тикунов В.С. Социальное пространство Москвы: особенности и структура // *Известия РАН. Серия географическая*. 2019. № 6. С. 3–17. DOI: 10.31857/S2587-5566201963-17.
- Гарипов Я.З. О методике количественного измерения уровня межэтнического общения // *Вестник экономики, права и социологии*. 2015. № 3. С. 194–197.
- Дорофеева Д.Ю., Савоскул М.С. Изменение этнической мозаичности регионов России // *Этническая демография: сборник. Сер. Демографические исследования* / под ред. И.А. Даниловой, О.А. Хараевой. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 72–93.
- Лысенко А.В., Водопьянова Д.С., Азанов Д.С. Этноконтактные зоны Северного Кавказа // *Вестн. Ставропольского гос. ун-та*. 2011. № 3. С. 165–170.
- Манаков А.Г. Динамика этнической мозаичности территорий Северо-Западной России в 1897–2010 гг. // *Региональные исследования*. 2016. № 2(52). С. 72–83.
- Покишиевский В.В. Этнические процессы в городах СССР и некоторые проблемы их изучения // *Советская этнография*. 1969. № 5. С. 3–15.
- Поспелов Е.М., Крупник И.И. Этноконтактные зоны в европейской части СССР (география, динамика, методы изучения). М.: Изд-во Моск. фил. Геогр. об-ва СССР, 1989. 164 с.
- Сафронов С.Г. Современные тенденции трансформации этнического состава населения России // *Балтийский регион*. 2015. № 3(25). С. 138–153. DOI: 10.5922/2074-9848-2015-3-9.
- Терпина Н.К. Индекс этнической контактности как инструмент изучения территорий со смешанным национальным составом населения // *Псковский региональный журнал*. 2022. Т. 18. № 1. С. 101–116. DOI: 10.37490/S221979310018427-2.
- Терпина Н.К., Кроток Р.Н. Изменение этнической неоднородности регионов России в 2010–2020 годах в свете концепции этноконтактных зон // *География и природные ресурсы*. 2024. Т. 45. № 4. С. 5–15. DOI: 10.15372/GIPR20240401.
- Эккель Б.М. Определение индекса мозаичности национального состава республик, краев и областей СССР // *Советская этнография*. 1976. № 2. С. 33–42.
- Этнические рынки в России: Пространство торга и место встречи / под ред. В.И. Дятлова, К.В. Григоричева. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. 343 с.
- Fernandez-Huertas Moraga J., Ferrer-i-Carbonell A., Saiz A. Immigrant locations and native residential preferences: Emerging ghettos or new communities? *Journal of Urban Economics*, 2019, vol. 112, p. 133–151.
- Grzegorzczak A. The Paris suburbs – blessed or cursed? Suburbanization Versus Peripheral Sustainability of Rural-Urban Areas Fringes, Urban Development and Infrastructure Series, M. Czerny, G. Hoyos Castillo (eds.), 2014, NY, Nova Publ., p. 89–102.
- Katz B., Berube A., Lang R. Redefining Urban and Suburban America: Evidence from Census 2000, Brookings Institution Press, 2003, 305 p.
- Krizkova I., Simon M. Measuring residential segregation of non-European migrants using the individualised neighbourhood method: How does Czechia fit to the European landscape? *Applied Geography*, 2022, vol. 144, p. 102730.
- Li W. Anatomy of a New Ethnic Settlement: The Chinese Ethnoburb in Los Angeles, *Urban Studies*, 1998, vol. 35(3), p. 479–501.
- Membretti A., Quassoli F. Discriminare in tempo dicrisi. La relazione tra immigrati e agenzie immobiliari a Milano e Pavia, *Mondi Migranti*, 2015, vol. 1, p. 169–189.
- Montalvo J.G., Reynal-Querol M. Ethnic Polarization, Potential Conflict, and Civil Wars, *American Economic Review*, 2005, vol. 95(3), p. 796–816.
- Nemeth A. Ethnic diversity and its spatial change in Latvia, 1897–2011, *Post-Soviet Affairs*, 2013, 34 p.
- Nielsen M., Hennerdal P. Changes in the residential segregation of immigrants in Sweden from 1990 to 2012: Using a multi-scalar segregation measure that accounts for the modifiable areal unit problem, *Applied Geography*, 2017, vol. 87, p. 73–84.
- Park R., Burgess E., McKenzie R. The City. Social Science. University of Chicago Press (repr. 1925), 1984, 239 p.
- Posner D.N. Measuring Ethnic Fractionalization in Africa, *American Journ. of Political Science*, 2004, vol. 48(4), p. 849–863.
- Sturm J., De Haan J. Income Inequality, Capitalism, and Ethno-Linguistic Fractionalization, *The American Economic Review*, 2015, vol. 105(5), p. 593–597.

Поступила в редакцию 11.03.2025
После доработки 24.04.2025
Принята к публикации 20.05.2025

ETHNIC CONTACT ZONES IN THE MOSCOW REGION: DELIMITATION AND ANALYSIS BASED ON THE DATA FROM MOBILE OPERATORS

R.A. Babkin

Plekhanov Russian University of Economics, Senior Scientific Researcher; All-Russian Research Institute of Labor, Ministry of Labor of Russia, Expert, Ph.D. in Geography; e-mail: babkin_ra@mail.ru

For the first time in Russia the study provides a comprehensive analysis of ethnic contact zones (ECZ) in the Moscow region using data on the location of foreign migrant users from the mobile operators. The B.M. Eckel's Index of Ethnic Mosaicity (IEM), tailored to the specific features of cellular data, has been used to identify the ECZs. Previously, the index has been primarily calculated for countries and regions. It was not applied at the intra-urban and intra-agglomeration levels because of the lack of reliable statistical databases. The high spatial resolution of cellular operator data allowed for the consideration of interethnic contact density at the level of localities measuring 500×500 m². As a result of the analysis, approximately 60 ECZ were identified in the Moscow region, which differ significantly in their spatial and functional characteristics. Most of these areas are located in or near Moscow or in the closest urban districts. A typology of ECZ is proposed based on the leading factors of their origin. About one-fifth of all ECZ coincides with major transport hubs, such as airports, bus and railway stations, and the intersection of major highways. Approximately the same number of ECZ is in the residential areas of Moscow and its satellite cities, with affordable housing and good transport accessibility to the center of the agglomeration. Another common type of ECZ is formed in the areas of active housing development. Specific types of ECZs associated with social, business, and cultural activities of foreigners have also been identified near large universities, diplomatic missions, and religious sites. Finally, the development of the largest ECZ (Novomoskovskaya, Yugo-Vostochnaya, and Yuzhnoportovaya) could be attributed to several factors at once, making them a specific complex type of ECZ. In addition, other parameters such as the area, the amount of potential migrant contacts, and their intensity within a given territory were taken into account. It is believed that the developed approach to ECZ delimiting and analyzing may become one of the tools for geospatial analytics of ECZ and monitoring risks of inter-ethnic conflict at a local level.

Keywords: foreign migrants, national composition, Eckel's index of ethnic mosaicity (IEM)

Acknowledgements. The author is grateful to the Department of Information Technologies of Moscow for the opportunity to use their data on the movements of mobile network subscribers for this study. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 24-77-00047 "Ethno-cultural communities in Moscow and the Moscow oblast: a spatio-temporal analysis in the interests of forming a regional policy in the field of resettlement of foreign migrants") at the Plekhanov Russian University of Economics.

REFERENCES

- Babkin R.A., Mahrova A.G., Medvednikova D.M. Inostrannye migranty v Moskovskoy aglomeratsii: prostranstvenno-vremennoy analiz na osnove dannyh sotovyyh operatorov [Foreign Migrants in the Moscow Agglomeration: Spatio-Temporal Analysis Based on Mobile Network Operator Data], *Izvestiya Rossijskoy akademii nauk, Ser. geograficheskaya*, 2024, no. 2(88), p. 105–118, DOI: 10.31857/S2587556624020014. (In Russian)
- Dorofeeva D.Yu., Savoskul M.S. [Changes in the ethnic mosaic of Russian regions], I.A. Danilova, O.A. Kharaeva (eds.), *Etnicheskaya demografiya* [Ethnic demography], Ser.: Demograficheskie issledovaniya, Moscow, MAKSS Press Publ., 2010, p. 72–93. (In Russian)
- Eckel B.M. Opredelenie indeksa mozaichnosti natsionalnogo sostava respublik, krayev i oblastey SSSR [Determination of the mosaic index of the national composition of the republics, territories and regions of the USSR], *Sovetskaya etnografiya*, 1976, no. 2, p. 33–42. (In Russian)
- Etnicheskie rynki v Rossii: prostranstvo torga i mesto vstrechi* [Ethnic Markets in Russia: Space of Bargaining and Place of Meeting], V. Dyatlov, K. Grigoriev (eds.), Irkutsk, Publishing House of ISU, 2015, 343 p. (In Russian)
- Fernandez-Huertas Moraga J., Ferrer-i-Carbonell A., Saiz A. Immigrant locations and native residential preferences: Emerging ghettos or new communities? *Journal of Urban Economics*, 2019, vol. 112, p. 133–151.
- Garipov Ya.Z. O metodike kolichestvennogo izmereniya urovnya mezhetnicheskogo obscheniya [About a Technique of Quantitative Measurement of the Level of Interethnic Communication], *Vestnik ekonomiki, prava i sociologii*, 2015, no. 3, p. 194–197. (In Russian)
- Grzegorzczak A. The Paris suburbs – blessed or cursed? Suburbanization Versus Peripheral Sustainability of Rural-Urban Areas Fringes, *Urban Development and Infrastructure Series*, M. Czerny, G. Hoyos Castillo (eds.), 2014, NY, Nova Publ., p. 89–102.
- Katz B., Berube A., Lang R. *Redefining Urban and Suburban America: Evidence from Census 2000*, Brookings Institution Press, 2003, 305 p.
- Krzkova I., Simon M. Measuring residential segregation of non-European migrants using the individualised neighbourhood method: How does Czechia fit to the European landscape? *Applied Geography*, 2022, vol. 144, p. 102730.

- Li W. Anatomy of a New Ethnic Settlement: The Chinese Ethnurb in Los Angeles, *Urban Studies*, 1998, vol. 35(3), p. 479–501.
- Lysenko A.V., Azanov D.S., Vodopyanova D.S. Etnokontaktne zony Severnogo Kavkaza [Ethnocontact zones of the North Caucasus], *Vestnik Stavropol'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, vol. 3, p. 165–170. (In Russian)
- Manakov A.G. Dinamika etnicheskoy mozaichnosti territorij Severo-Zapadnoj Rossii v 1897–2010 gg. [Dynamics of Ethnic Fractionalization of Territories in North-West Russia in 1897–2010], *Regional'nye issledovaniya*, 2016, vol. 2 (52), p. 72–83 (In Russian)
- Membretti A., Quassoli F. Discriminare in tempo dicrasi. La relazione tra immigrati e agenzie immobiliari a Milano e Pavia, *Mondi Migranti*, 2015, vol. 1, p. 169–189.
- Montalvo J.G., Reynal-Querol M. Ethnic Polarization, Potential Conflict, and Civil Wars, *American Economic Review*, 2005, vol. 95(3), p. 796–816.
- Nemeth A. Ethnic diversity and its spatial change in Latvia, 1897–2011, *Post-Soviet Affairs*, 2013, 34 p.
- Nielsen M., Hennerdal P. Changes in the residential segregation of immigrants in Sweden from 1990 to 2012: Using a multi-scalar segregation measure that accounts for the modifiable areal unit problem, *Applied Geography*, 2017, vol. 87, p. 73–84.
- Park R., Burgess E., McKenzie R. *The city. Social Science*, University of Chicago Press (repr. 1925), 1984, 239 p.
- Pokshishevsky V.V. Etnicheskie protsessy v gorodakh SSSR i nekotorye problemy ih izucheniya [Ethnic processes in the cities of the USSR and some problems of their study], *Sovetskaya etnografiya*, 1969, no. 5, p. 3–15. (In Russian)
- Posner D.N. Measuring Ethnic Fractionalization in Africa, *American Journ. of Political Science*, 2004, vol. 48(4), p. 849–863.
- Pospelov E.M., Krupnik I.I. Etnokontaktne zony v evropejskoj chaste SSSR (geografiya, dinamika, metody izucheniya) [Ethnocontact zones in the European part of the USSR (geography, dynamics, methods of study)], Moscow, Izd-vo Mosk. fil. Geogr. ob-va USSR Publ., 1989, 164 p. (In Russian)
- Safronov S.G. Sovremennye tendentsii transformatsii etnicheskogo sostava naseleniya Rossii [Modern trends in the transformation of the ethnic composition of the population of Russia], *Baltiiskii region*, 2015, no. 25(3), p. 138–153, DOI: 10.5922/2074-9848-2015-3-9. (In Russian)
- Sturm J., De Haan J. Income Inequality, Capitalism, and Ethno-Linguistic Fractionalization, *The American Economic Review*, 2015, vol. 105(5), p. 593–597.
- Terenina N.K. Indeks etnicheskoy kontaktnosti kak instrument izucheniya territorij so smeshannym natsionalnym sostavom naseleniya [The index of ethnic contact as a tool for studying territories with a mixed national composition of the population], *Pskovskii regionologicheskii zhurnal*, 2022, vol. 18(1), p. 101–116, DOI: 10.37490/S221979310018427-2. (In Russian)
- Terenina N.K., Krotok R.N. Izmenenie etnicheskoy neodnorodnosti regionov Rossii v 2010–2020 godah v svete kontseptsii etnokontaktnykh zon [Changes in Ethnic Heterogeneity of Russian Regions over the 2010s–2020s in the Light of Ethnic Contact Zones], *Geografiya i Prirodnye Resursy*, 2024, vol. 4, p. 5–15, DOI: 10.15372/GIPR20240401. (In Russian)
- Varshaver E.A., Rocheva A.L., Ivanova N.S. Faktory i mehanizmy skladyvaniya mest rezidentskoj kontsentratsii migrantov vokrug rynkov [Factors and Mechanisms of the Formation of Migrant Residential Concentration Areas Around Markets], *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*, 2021, no. 5, p. 425–449, DOI: 10.14515/monitoring.2021.5.1939. (In Russian)
- Vendina O.I., Panin A.N., Tikunov V.S. Sotsialnoe prostranstvo Moskvy: osobennosti i struktura [Social Space of Moscow: Peculiarities and Patterns], *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2019, vol. 6, p. 3–17, DOI: 10.31857/S2587-5566201963-17. (In Russian)

Received 11.03.2025

Revised 24.04.2025

Accepted 20.05.2025

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Общие требования к статье

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Объем статьи (текст, таблицы, список литературы, рисунки, перевод на английский) не должен превышать 1 а. л. (40 тыс. печатных знаков, включая пробелы, 5 рисунков), не более 50 тыс. знаков для обзорных статей. Объем кратких сообщений составляет 0,25 а. л. Рекомендуемый список литературы – до 30 наиболее актуальных работ по рассматриваемому вопросу. В обзорных статьях список литературы не должен превышать 60 источников. Для кратких сообщений список литературы может быть до 10 источников. Самоцитирований в списке литературы не должно быть более 10% от общего числа использованных источников.

Статья должна быть четко структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Все материалы статьи компонуется **в единый сводный файл в формате Word** и размещаются в нем в следующей последовательности:

1. УДК;
2. Название статьи;
3. Инициалы и фамилия автора(ов);
4. Для каждого автора приводится полное название учреждения, в котором выполнялось исследование, подразделение (кафедра, лаборатория и т. п.), уч. степень, должность, *e-mail*;
5. Аннотация статьи;
6. Ключевые слова;
7. Текст статьи;
8. Благодарности, в том числе – финансирование;
9. Список литературы;
10. Таблицы;
11. Подписные подписи;
12. Рисунки;
13. Перевод на английский язык пунктов 2–6, 8–9,
11. В пункте 4 просьба использовать в переводе официальное наименование организации на английском языке (а не собственный вариант перевода).

Подготовка текста

Текст набирается 12 кеглем через один интервал, поля слева, сверху и снизу – 2 см, справа – 1,5 см. Не допускается использование табулятора или пробелов для обозначения абзаца, ручных переносов в словах, переносов строк клавишей Enter в рамках одного предложения, разрывов страниц и разделов. В тексте статьи возможно использование полужирного шрифта и курсива для смысловых выделений, однако не должно использоваться подчеркивание. Десятичная часть чисел отделяется запятой.

Формулы набираются в редакторе формул в отдельную строку и имеют сквозную нумерацию по всей статье, выровненную по правому краю строки.

Таблицы набираются в Word, не допускается разделение ячеек косой линией. Ручные переносы не допускаются.

Рисунки представляются отдельными файлами, названными по их номерам (например: рис.1.tiff, рис.2.jpg), в графическом формате (eps, tif, jpg) разрешением не менее 300 dpi для полутонных и 600 dpi для черно-белых изображений и графиков. Для графиков, выполненных в Excel, дополнительно прилагаются соответствующие файлы Excel. Картинки должны быть полностью готовы к изданию. Представление рисунков в виде схем Word или набранного текста с добавлением графических элементов, наложенных сверху, **не допускается**.

Ссылка на источник в тексте документа указывается в квадратных скобках. В тексте ссылки через запятую указывается фамилия автора и год издания. Если ссылок несколько – они отделяются друг от друга точкой с запятой. Ссылка на источник на иностранном языке указывается на языке оригинала. Список русскоязычной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, 7.82–2001 и 7.0.5–2008. DOI (при наличии) указывается в конце ссылки. Ссылка на источник на английском языке оформляется единообразно и в русскоязычном, и в переведенном на английский язык списке литературы. **При наличии у русскоязычного издания, которое фигурирует в списке литературы, оригинальной или переводной англоязычной версии в ссылке должна быть указана именно она, а не русскоязычный вариант.**

Более подробные инструкции по подготовке статей для авторов можно найти на сайте журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться автору на переработку.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел. +7(495)9392923. Сайт журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Электронная почта: vestnik_geography@mail.ru.

Плата за публикацию не взимается

У Ч Р Е Д И Т Е Л И :

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
географический факультет МГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.А. ДОБРЮЛОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН (главный редактор)
В.С. ТИКУНОВ, доктор географических наук, профессор (зам. главного редактора)
Е.А. ЕРЕМЕНКО, кандидат географических наук (ответственный секретарь)
А.И. АЛЕКСЕЕВ, доктор географических наук, профессор
С.И. БОЛЫСОВ, доктор географических наук, профессор
А.Н. ГЕННАДИЕВ, доктор географических наук, профессор
К.Н. ДЬЯКОНОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН
С.С. ЗИЛИТИНКЕВИЧ, доктор географических наук, профессор (Метеорологический институт Финляндии)
О.Г. ЗОЛИНА, профессор (Университет Ж. Фурье, г. Гренобль, Франция)
В.Ю. ИВАНОВ, профессор (Мичиганский университет, США)
Н.С. КАСИМОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН
А.В. КИСЛОВ, доктор географических наук, профессор
В.А. КОЛОСОВ, доктор географических наук, профессор
К.П. КОЛТЕРМАНН, профессор
М. КОНЕЧНЫ, профессор (Университет г. Брно, Чешская Республика)
С.Б. КРООНЕНБЕРГ, профессор (Технологический университет г. Делфт, Нидерланды)
С.М. МАЛХАЗОВА, доктор географических наук, профессор
Г. МОУРИ, профессор (Университет г. Токио, Япония)
С.А. СОКРАТОВ, кандидат географических наук, PhD
П.Е. ТАРАСОВ, доктор наук, профессор (Берлинский Свободный университет, Германия)
Н.Л. ФРОЛОВА, доктор географических наук, профессор
В.Е. ШУВАЛОВ, кандидат географических наук, доцент
Т.А. ЯНИНА, доктор географических наук, профессор
В.В. ЯНКО-ХОМБАХ, доктор геолого-минералогических наук, профессор (Институт прикладных исследований Авалон, г. Виннипег, Канада)

EDITORIAL BOARD:

S.A. DOBROLUBOV, doctor of science, Academician of the Russian Academy of Sciences, professor (Editor-in-chief)
V.S. TIKUNOV, doctor of science, professor (Deputy Editor-in-chief)
E.A. EREMENKO, candidate of science (Secretary-General)
A.I. ALEKSEEV, doctor of science, professor
S.I. BOLYSOV, doctor of science, professor
A.N. GENNADIYEV, doctor of science, professor
K.N. D'YAKONOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor
S.S. ZILITINKEVICH, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)
O.G. ZOLINA, professor (Fourier University, Grenoble, France)
V.YU. IVANOV, professor (Michigan University, USA)
N.S. KASIMOV, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor
A.V. KISLOV, doctor of science, professor
V.A. KOLOSOV, doctor of science, professor
K.P. KOLTERMANN, professor
M. 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 00.00.2016. Формат 60×90/8.
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсет. № 1. Офсетная печать. Усл. печ. л.
Уч.-изд. л. 00. Тираж экз. Изд. № 00000. Заказ №

Типография МГУ.
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 15.