

Вестник Московского университета

Серия 5 ГЕОГРАФИЯ

Издательство Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

2023 • Т. 78 • № 4

ИЮЛЬ–АВГУСТ

Выходит один раз в два месяца

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

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

- Бабурин В.Л., Горячко М.Д., Демидова К.В., Макушин М.А. Ядро-периферийная модель размещения промышленности: мир и Россия..... 3

Динамика природных процессов

- Барабанов А.Т., Петелько А.И. Факторы склонового весеннего стока на серых лесных почвах в центральной лесостепи..... 18
- Ковалева И.В., Суслин В.В. Влияние атмосферных осадков и поверхностного стока на показатели фитопланктона в северной части Черного моря..... 28
- Куулар Х.Б. Состояние и динамика границ темнохвойных лесов хребта Западный Танну-Ола в Республике Тыва..... 40
- Талденкова Е.Е., Овсепян Я.С., Руденко О.В., Степанова А.Ю., Баух Х.А. Изменения природной среды в ходе развития бореальной трансгрессии на северо-востоке Белого моря на примере детального изучения разреза Бычье-2..... 51

Методы географических исследований

- Тикунов В.С., Панин А.Н., Гайдуков В.Р. Атласная информационная система для формирования интегральных индексов социально-экономического развития территорий..... 66

Региональные исследования

- Зверева А.-А.А., Тихоцкая И.С. Креативные индустрии в крупнейших городах Японии..... 75
- Зелепукина Е.С., Гаврилкина С.А., Терехов А.В., Резников А.И. Морфометрический анализ ландшафтной структуры аридных высокогорий на примере горного массива Монгун-Тайга..... 87
- Манаенков А.С., Подгаецкая П.М., Попов В.С. Влияние полезащитных лесных полос на развитие яровой пшеницы в приопушечной зоне посевов..... 97
- Кажукало Г.А., Еременко Е.А., Романенко Ф.А. Антропогенная трансформация рельефа Норильского промышленного района..... 107
- Имангулов Л.Р. Трансформация мордовской деревни Башкирии: географический анализ..... 125
- Смирнова А.А., Виноградов Д.М. Советский проект по преобразованию сельской местности на примере деревни Верхняя Троица Тверской области..... 137

Краткие заметки

- Воробьев М.И., Алексеев А.И. «Оптимизация» сети сельских школ: плюсы и минусы (пример Уваровского района Тамбовской области)..... 146

CONTENTS

Theory and methodology

- Baburin V.L., Goryachko M.D., Demidova K.V., Makushin M.A.* Core-peripheral model of industrial localization: world and Russia.....3

Dynamics of natural processes

- Barabanov A.T., Petelko A.I.* Factors of slope spring runoff on gray forest soils in the Central Forest-Steppe.....18
- Kovalyova I.V., Suslin V.V.* Influence of atmospheric precipitation and surface runoff on phytoplankton characteristics in the northern part of the Black Sea28
- Kuular Kh.B.* The state and dynamics of the borders of cedar forests at the Western Tannu-Ola Range in the Tyva Republic40
- Taldenkova E.E., Ovsepyan Ya.S., Rudenko O.V., Stepanova A.Yu., Bauch H.A.* Environmental changes during the Boreal transgression in the North-Eastern White Sea region (detailed case study of Bychye-2 sediment section).....51

Methods of geographical research

- Tikunov V.S., Panin A.N., Gaidukov V.R.* Atlas information system for producing integral indices of the socio-economic development of territories.....66

Regional studies

- Zvereva A.A., Tikhotskaya I.S.* Creative industries in major cities of Japan.....75
- Zelepukina E.S., Gavrilkina S.A., Terekhov A.V., Reznikov A.I.* Morphometric analysis of landscape structure in arid highlands (case study of the Mongun Taiga Mountains).....87
- Manaenkov A.S., Podgaetskaya P.M., Popov V.S.* Impact of forest shelter belts on the development of spring wheat in the near-edge zone of crops.....97
- Kazhukalo G.A., Eremenko E.A., Romanenko F.A.* Anthropogenic transformation of terrain in the Norilsk industrial district.....107
- Imangulov L.R.* Transformation of Mordovian villages in Bashkiria: geographical analysis.....125
- Smirnova A.A., Vinogradov D.V.* Soviet plan for the reformation of rural areas on the example of the Verkhnyaya Troitsa village, Tver region.....137

Short communications

- Vorobiev M.I., Alekseev A.I.* “Optimization” of the rural school network: pros and cons (case study of the Uvarovsky District, Tambov Oblast).....146

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 332.1

ЯДРО-ПЕРИФЕРИЙНАЯ МОДЕЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: МИР И РОССИЯ

В.Л. Бабурин¹, М.Д. Горячко², К.В. Демидова³, М.А. Макушин⁴

¹⁻⁴ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра экономической и социальной географии России*

¹ Проф., д-р геогр. наук; e-mail: vbaburin@yandex.ru

² Доц., канд. геогр. наук; e-mail: mgoryachko@yandex.ru

³ Вед. инженер; e-mail: metsan_henki@mail.ru

⁴ Вед. инженер; e-mail: mihmakush@mail.ru

Статья посвящена исследованию проблем территориальной организации промышленности мира и России в концепции «ядро – периферия». Отсутствие системных работ, рассматривающих положение стран и регионов в структуре «ядро – периферия», и необходимость типологизации регионов для целей промышленной политики формируют актуальность данного исследования. Объектом исследования выступают страны мира и регионы России, предметом – уровень их промышленного развития. Цель исследования состоит в типологизации стран мира и регионов России в ядро-периферийной структуре промышленного пространства на основе качественно-количественной методики. Новизна исследования состоит в использовании эволюционного и полимасштабного подхода к анализу распределения промышленного потенциала по странам мира и субъектам Российской Федерации. Методика исследования предполагает качественно-количественную процедуру дифференциации стран и регионов России по производительности промышленности, ее удельному весу в ВВП/ВРП, эволюционной стадии развития (длительность цикла индустриализации) и географическому положению. В качестве основной задачи ставится проверка работоспособности модели «ядро – периферия» во взаимосвязи с циклами индустриализации для сквозной типологии стран мира и регионов России. Особый акцент сделан на исследовании различий в производительности промышленности под влиянием таких географических факторов, как уровень индустриализации, ресурсность производства, масштаб и отраслевая специфика промышленности. При анализе промышленности на страновом уровне акцент делается на длительность периода индустриализации, душевые объемы промышленного производства и долю промышленности в ВВП. Для регионов России рассчитывалась производительность труда, а также учитывался уровень инновационной активности. Положение страны или региона в системе «ядро – периферия» зависит от отрасли специализации, «возраста» промышленности и промышленной политики государства: положение ядра сохраняют те страны и регионы, которые быстрее модернизируют имеющиеся фонды или создают новые отрасли. Старопромышленные страны и регионы сдвигаются в субпериферию и периферию. К субпериферии также относятся индустриально-аграрные регионы с высокой долей АПК и малые ресурсные регионы Сибири и Дальнего Востока. Состав периферии стабилен и включает слабообразованные республики Кавказа и юга Сибири. Текущие результаты позволили сравнить типологию стран и регионов в системе «ядро – периферия», итоги можно использовать для корректировки промышленной политики России.

Ключевые слова: модель «ядро – периферия», субпериферия, циклы Кондратьева, индустриальный потенциал, производительность труда, инновации в промышленности

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.1

ВВЕДЕНИЕ

В теории международных отношений важное место занимает проблема структурирования этих отношений. Одним из способов ее описания является использование концепции «ядро – периферия», которая находится в рамках общеполитического ядерно-сферического подхода, рассматривающего

ее в рамках диалектического единства противоположностей [Миньяр-Белоручев, 2019].

В рамках синергетического подхода утверждается, что ядро является обязательным элементом любой самоорганизующейся системы [Пригожин, Стенгерс, 1994], в котором отражаются ее основные свойства: история развития системы, взаимо-

действие между подсистемами внутри системы и взаимодействие с окружающей средой (другими системами). В рамках этой модели периферия является внешней оболочкой системы и испытывает на себе частичное, временное или фрагментарное воздействие (организующее и упорядочивающее) со стороны ядра системы [Миньяр-Белоручев, 2019].

В ядре локализуются структурные связи, диффундирующие в направлении периферии [Богатуров и др., 2002; Миньяр-Белоручев, 2019]. Но ядро это и креативный центр (или как минимум транзитер инноваций), а периферия, как правило, выполняет функцию акцептора. При этом полупериферия обычно сильный акцептор, а периферия – слабый [Бабурин, 2002]. Вместе с тем система отношений «ядро – периферия» не статична, вполне возможны зеркальные преобразования. Так, Сзул утверждает, что в настоящее время происходит трансформация мировой экономической системы, связанная с расхождением экономических и политических сил, отчасти потому, что периферийные страны, такие как Китай и Индия, набирают политическую силу [Szul, 2010].

Иными словами, технологическое и институциональное господство Европы не вечно, а является достаточно коротким эпизодом мирового экономического развития. В рамках циклических колебаний (своеобразной ритмики социально-экономического пространства) одни ядра исчезают, а другие формируются. Таким образом, можно говорить о «плавающем» состоянии ядро-периферийных отношений. При этом современные исследователи, в том числе и в России, все большее значение в дихотомии «ядро – периферия» отдают институциональным факторам [Проскурнова, 2021].

Сама дискуссия о ядерно-периферийном взаимодействии не нова. Еще Н.И. Бухарин отмечал, что в мировой производственной системе господствуют несколько сплоченных, организованных хозяйственных тел («великие цивилизованные державы») и периферия стран неразвитых, с полугосподствующим или аграрным строем [Бухарин, 1989]. По мнению Миньяр-Белоручева, первым, кто обратил внимание на возможности использования парадигмы «ядро – периферия» для разработки теории зависимого развития, был Р. Пребиш, обозначивший промышленно развитые страны как «ядро», а аграрно-сырьевые как «периферию». Теория зависимости получила широкое распространение в период завершения эпохи колониализма и формирования неоколониализма как системы, в которой прогресс экономически развитых стран ядра осуществляется за счет эксплуатации развивающихся стран периферии [Валлерстайн, 2004].

В экономической географии данный подход обычно связывают с Дж. Фридманом и И. Валлер-

стайном. Дж. Фридман предпринял попытку интегрировать районное и городское направления в региональных исследованиях и построить общую теорию регионального развития на базе модели «ядро – периферия» [Friedmann, 1967]. Согласно этой концепции, неравномерность экономического роста и процесс пространственной поляризации неизбежно порождают диспропорции между ядром и периферией.

Валлерстайн предложил трехчастное деление мир-системы: ядро – полупериферия – периферия, выделяя при этом в рамках ядра ведущую державу – гегемона. Государства, принадлежащие к ядру, получают наибольшие выгоды от развития мирового капитализма, развитие ядра осуществляется за счет эксплуатации полупериферии и периферии. За пределами капиталистической мир-экономики находилась внешняя по отношению к ней зона, являвшаяся объектом экспансии вплоть до ее полного поглощения в первой половине XX в. Данная схема является частью разработанного Валлерстайном мир-системного подхода [Лебедев, 2003а].

В построениях Дж. Фридмана и И. Валлерстайна все сводится к противопоставлению ядра и периферии при его доминировании над последней, но в условиях свободных потоков информации, капитала, товаров, рабочей силы. По сути, на этих идеях формировался ЕЭС, а позднее ЕС. В отличие от ядра периферия неоднородна: выделяется внутренняя (ближняя), более тесно связанная с ядром, и внешняя (дальняя) периферия, испытывающая слабое влияние центра [Friedmann, 1963; Friedmann, 1967; Восток/Запад..., 2002].

В начале 1970-х гг. Й. Галтунг предложил разделять между собой все государства в зависимости от их принадлежности к ядру или периферии мирового сообщества, одновременно выделяя внутри каждого государства центр и периферию, исследуя взаимоотношения и взаимосвязи между четырьмя типологическими единицами (центр и периферия государств ядра, центр и периферия государств периферии) [Лебедев, 2003б]. Этот взгляд корреспондирует с получившим широкое распространение в социально-экономической географии полимасштабным подходом, который мы используем и в данном исследовании.

Важную роль для описания взаимоотношения между ядром и периферией играет концепция региональных подсистем, которые выступают в качестве единиц анализа системы в целом [Комплексные..., 2019]. Основу для складывания подсистем составляют международные регионы, выделяемые на основе географических и международно-политических факторов. Как центральная, так и периферийные подсистемы строятся по иерархическо-

му принципу, при этом региональные подсистемы в конкретном регионе могут включать подсистемы второго уровня (субрегиональные подсистемы) [Миньяр-Белоручев, 2019]. Подобная трактовка близка к работам Месаровича по теории сложных многоуровневых иерархических систем, в рамках которой строго доказывается неизбежность стратификации и последующей иерархизации сложных систем [Месарович и др., 1973].

Собственно географическая традиция складывалась несколько иначе. Хорошо знакомая нам теория Тюнена, очевидно, выстроена в рамках концепции «ядро – периферия», хотя и была ориентирована на выбор оптимальной схемы размещения сельскохозяйственных предприятий в зависимости от издержек пространства. В. Лаунхардт дополнил модель Тюнена, включив в рассмотрение источники сырья и энергоресурсов, и, таким образом, оптимизировал размещение предприятий как по отношению к рынкам потребления, так и рынкам ресурсов [Гранберг, 2000]. Определенный вклад в разработку теории внес И. Коль, разработавший транспортную иерархическую модель, отражающую связующую роль инфраструктуры для экономического пространства [Занадворов, Занадворова, 2003].

Если у Тюнена производство размещается вокруг города (ядра), который является местом нахождения рынка сбыта продукции, то в теориях других немецких ученых можно наблюдать обратный подход. В ядре, где можно минимизировать производственные издержки и работает эффект агломерирования, расположено производство, а потребители рассредоточены вокруг него. Подобные идеи можно найти в работах А. Вебера, А. Леша и В. Кристаллера [Леш, 2007]. В современных реалиях ядро вбирает в себя и производственную, и потребительскую составляющие, как, впрочем, и периферия [Дворядкина, Лавщенко, 2020]. Главные различия проходят в пространстве диффузии инноваций и отношений «сырье – готовая продукция».

Концепция «ядро – периферия» в неявной форме представлена и в работах по районированию Д.И. Менделеева, который предлагал систему размещения производственных предприятий, определяемую такими ныне классическими факторами, как расселение и плотность населения, наличие транспортной инфраструктуры, обеспечивающей доставку сырья и вывоз готовой продукции, доступность энергетических ресурсов и т. п. [Самойлова, 2009].

В советский период схемы размещения производительных сил разрабатывались преимущественно в Комиссии по изучению естественных производительных сил страны (КЕПС), а позже в Совете по изучению производительных сил (СОПС), а также Институте комплексных транспортных проблем

(ИКТП). План ГОЭЛРО был также ориентирован на энерго-транспортное обеспечение унаследованной производственной инфраструктуры, а затем и новое строительство. В качестве ядерных структур в нем выступали центры генерации электроэнергии, а периферией являлись производственные и непроизводственные потребители, если подходить к ядро-периферийным отношениям с позиции технологической. Если на производственные отношения смотреть с инновационных позиций, то первоочередная электрификация была ориентирована на унаследованные от предшествующих инновационных волн ядра индустриализации (Центр, Ленинградский промышленный узел, Урал, Донбасс) [Бухвальд, 2020].

Своеобразным венцом и теоретическим обобщением этих исследований и проектов стала теория территориально-промышленных комплексов (ТПК) Н.Н. Колосовского. В ней «связки» энерго-производственных циклов (ЭПЦ) выступали в качестве технологических ядер ТПК, а сами комплексы являлись ядерно-субъядерными структурами для районов нового освоения [Шарыгин, Осипов, 1988]. Вслед за Н.Н. Колосовским состав, структура и свойства циклов рассматривались Ю.Г. Саушкиным, Т.М. Калашниковой, А.Т. Хрущевым, И.В. Никольским, М.М. Паламарчуком, М.Н. Степановым, М.Д. Шарыгиным и др.

Нельзя обойти вниманием и влияние на принципы размещения производства инновационных теорий, возникших по второй половине прошлого века. Одним из первых на это указал Й. Шумпетер, а позже Т. Хегерstrand в рамках теории диффузии инноваций [Леонтьева и др., 2016]. Их взгляды развил М. Гирш, разработавший «модель вулкана» – распространения инноваций от центров (генераторов инноваций) производственного агломерирования на периферию [Giersch, 1979].

Дальнейшее и параллельное развитие теории «ядро – периферия» получила в рамках теории «полюсов роста», которая обычно ассоциируется с именами Ф. Перру, П. Потье и др. Первый выдвинул идею о поляризации [Кожиева, 2015], в рамках которой отрасли или предприятия создают импульс экономического развития, стимулирующий развитие смежных отраслей и предприятий, функционирующих в рамках того же экономического пространства. Исследования второго были сосредоточены не на источнике развития, а на осях развития.

Несколько иной подход предлагает Х. Ласуэн, у которого в качестве полюсов роста выступают отрасли/предприятия специализации, ориентированные на экспорт, который в свою очередь создает предпосылки для развития второстепенных отраслей. Фактически это очень близко к теории ТРТ

Н. Баранского, в которой именно специализация в сочетании с обменом ведет к формированию рынков разного таксономического уровня [Фенин, 2013].

Р. Холл и Ч. Джонс ввели в модель факторы государственного устройства, политической среды, социальной сферы и местоположение самого государства [Киселева, 2016; Киселева и др., 2021].

Среди отечественных специалистов в данной области, прежде всего, следует назвать имена О. Грицай, Г. Иоффе, А. Трейвиша, приложивших эту теорию к многообразию советского/российского социально-экономического пространства и показавших в рамках циклического подхода смены ядерно-периферийных фаз развития регионов [Грицай и др., 1991]. Позже А. Трейвиш рассмотрел ядро-периферийные отношения через призму базовых категорий регионального развития: неравномерность и структурное разнообразие [Трейвиш, 2019].

Из наиболее заметных современных отечественных работ по данной проблематике можно отметить П.Я. Бакланова, который подчеркивал, что пространственное развитие страны, региона, рассматриваемое в количественно-качественных приращениях, вызывает изменения их пространственных характеристик [Бакланов, 2017]. Это позволяет проводить не только комплексные, но и более узконаправленные исследования, в том числе и в рамках ядро-периферийной модели.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как было показано выше, существует достаточно большое число теорий и методов определения ядро-периферийных отношений в системах различного уровня. Однако их изучение показывает, что не всегда сложные исследовательские процедуры дают принципиально новое знание (результат) [Родионова и др., 2004].

Для выявления ядро-периферийных отношений в промышленности мы решили использовать полимасштабный подход, рассмотрев в едином масштабе различия в уровнях индустриализации между странами мира и субъектами РФ.

Сравнение многочисленных типологий субъектов РФ показывает, что экстремумы (в виде ядер и периферии) выделяются при любых наборах показателей. Проблема заключается в дифференциации регионов-«середнячков», которые выступают как в роли субъядер, так и в роли полупериферии. Ядро-периферийный подход позволяет использовать качественно-количественные методы, сочетая расчетные значения с модельными представлениями о дифференциации пространства.

В качестве основных показателей (в отличие от многих исследователей) были взяты: душевой объем промышленного производства (а не ВВП) – как

отражение региональной производительности производственного потенциала; плотность промышленного потенциала как отражение индустриальной освоенности территории, доля промышленности в валовом региональном продукте (ВРП) – уровень индустриализации. Удельные и долевые значения отражают производительность труда и стадию индустриализации.

Учитывая, что долевые значения промышленности и соотношения ее показателей со всем населением стран и регионов существенно искажают собственно эффективность факторов развития промышленности (в частности, занятых), на втором этапе объемы промышленного производства соотносились с численностью занятых в нем.

Дополняющим показателем являлся объем промышленного производства, отражающий масштаб экономики и косвенно масштаб ядра (уровень концентрации индустриальной мощи в нем). Кроме того, учитывалась длительность индустриального цикла: время начала индустриализации и число пройденных кондратьевских циклов в странах и регионах России.

На заключительном этапе проводилась оценка взаимосвязи производительности промышленного производства и уровня его инновационности. На основе предложенного подхода было проведено выявление ядерных, субъядерных (оболочечных), субпериферийных (внутренняя периферия) и периферийных (внешняя периферия) территорий. Периферия дифференцирована на два подтипа – периферия 1 и периферия 2.

Для введения динамической составляющей учитывались промышленные революции.

Для построения пространственной модели ядро-периферийной дихотомии промышленности России оценивалась степень завершенности ЭПЦ и ТПК.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Мировая промышленность в географическом контексте сегодня разделяется на несколько сегментов в концепции «ядро – периферия». На протяжении индустриальной эпохи страны мигрировали в пространстве ядро – субядро – субпериферия и периферия.

В период первой промышленной революции ядро формировали Великобритания, страны Бенилюкса и Франция. Субядро образовывали Скандинавские страны, Германия (после объединения). Субпериферию – Австро-Венгрия, Италия (после объединения), США, Канада, Россия. Остальные регионы составляли обширную периферию, фактически растворяющуюся в доиндустриальном пространстве. В завершающей части первой промышленной революции (2-й кондратьевский цикл) Германия вошла в состав ядра (табл. 1).

Таблица 1

Прохождения странами индустриальных циклов

Страна	Зарождение/ становление промышлен- ного капита- лизма, годы	Место в структуре «ядро – периферия» (1 КЦ)	Место в структуре «ядро – периферия» (2 КЦ)	Место в структуре «ядро – периферия» (3 КЦ)	Место в структуре «ядро – периферия» (4 КЦ)	Место в структуре «ядро – периферия» (5 КЦ)
Великобритания	1735–1850	X	X	X	X	X
Франция	1820–1870	x	X	X	X	X
Германия	1850–1890		X	X	X	X
США	1840–1890			X	X	X
Канада	1860			X	X	X
Италия	1895–1938			X	X	X
Австрия (Австро-Венгрия)	1870–1905					
Россия – СССР	1840–1938				X	X
Япония	1885–1938			X	X	X
Китай	1911–1978					X
НИС 1-й волны (Сингапур, Гонконг, Тайвань, Южная Корея, Аргентина, Бразилия, Мексика)	1980-е				x	Xx
НИС 2-й волны (ОАЭ, Израиль, Малайзия, Таиланд, Филиппины, Чили)	1990-е					x
НИС 3-й волны (Китай, Индия, Турция, Вьетнам, Индонезия)	2000-е					Xx

Примечание. X – ядро; x – субъядро. Источник: разработана авторами.

Вторая промышленная революция привела к «перетеканию» части ядра и субъядра из Европы в США и интегрированную с ними Канаду. В Азии субъядерная структура возникла в Японии. Лидерство европейской промышленности, сильно подорванное двумя мировыми войнами, все же позволяло большинству стран Европы оставаться в составе ядра и субъядра. К концу второй промышленной революции в мировое субъядро вошли индустриально освоенные части СССР. С учетом масштаба экономики лидерами эпохи второй промышленной революции стали США, СССР и Япония. Европейским лидером стала ФРГ.

Третья промышленная революция сформировала субъядерные и субпериферийные структуры среди новых индустриальных стран Юго-Восточной Азии и Латинской Америки. На лидерские позиции к концу пятого кондратьевского цикла выходит Китай, судя по всему, находясь на стадии перехода от субпериферии к субъядру. В результате на востоке Евразии возникает первый по потенциалу мировой ядерно-субъядерный регион в составе Китая, его провинций (Гонконг, Тайвань, Макао), Японии

и Южной Кореи, на который приходится почти 1/3 мирового промышленного производства, включая наиболее высокотехнологичные отрасли 4–5 технологических укладов.

Индустриальная мировая субпериферия вновь формируется в наиболее развитых частях постсоветского пространства, однако большинство бывших советских республик сдвигаются на периферию.

Современная промышленность отличается сильной территориальной концентрацией (рис. 1). На три крупнейшие экономики – Китай, ЕС, США приходится почти 50% мирового производства, а на первые 15 государств – 85%. Очевиден огромный масштаб китайской промышленности при незаконченности процесса индустриализации внутри страны, о чем свидетельствуют относительно невысокие душевые значения (около 6,5 тыс. долл./чел.). Тем не менее они уже в 1,5 раза выше среднемировых значений.

ЕС и США занимают вторую и третью позиции (см. рис. 1), вместе не достигая масштабов Китая, но в отличие от него находятся на стадии перехода к постиндустриализму, что сжимает индустриаль-

ное пространство внутри стран и, как следствие, их удельный вес в мировом промышленном производстве. С другой стороны, идет дискуссия по поводу неоиндустриализации, которая может вновь изменить мировой ядро-периферийный конструкт.

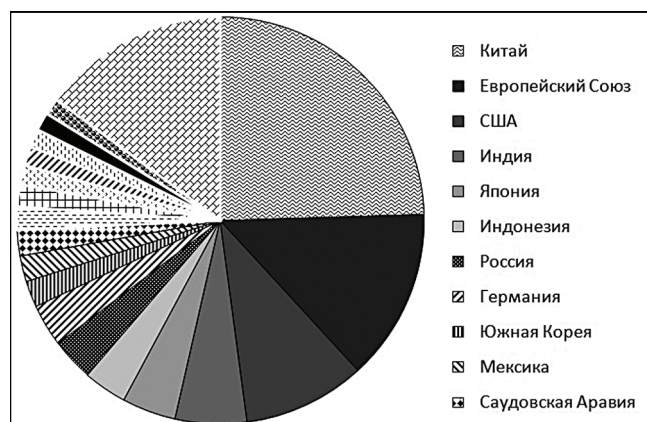


Рис. 1. Доля стран в мировом промышленном производстве.

Источник: построено авторами по [The CIA..., 2023]

Fig. 1. The countries' share in world industrial production.
Source: compiled by the authors according to [The CIA..., 2023]

Среди крупнейших экономик высокой доли промышленности в структуре выделяются также Индия и Япония, ведущие промышленные державы Европы, Россия, Канада, Индонезия, Южная Корея, Турция, Иран, Саудовская Аравия, Мексика и Бразилия в Латинской Америке. В их составе государства с разной историей индустриализации (см. табл. 1). Великобритания, Франция и Германия – страны ранней индустриализации. США, Канада, ЕС в целом, Россия, Италия – страны индустриализации второй волны. Остальные – страны поздней индустриализации.

Более точные ответы можно получить, последовательно исследовав интенсивность индустриализации (производство промышленной продукции на душу населения) и стадию индустриализации.

По душевым значениям промышленного производства страны делятся на пять основных типов:

1. Европейское наиболее старое промышленное ядро, включающее преимущественно старопромышленные страны (в основном Западной Европы) и их внешнюю субъядерно-субпериферийную оболочку, с душевым производством свыше 5 тыс. долл./чел.:

1.1. Внутреннее ядро, в которое входят страны с душевым производством свыше 10 тыс. долл./чел., т. е. сумевшие удержать промышленность и на постиндустриальном этапе, – Лихтенштейн, Ирландия, Швеция, Швейцария, Австрия, Германия, Бенилюкс, Чехия, Словения, Финляндия, Дания,

Словакия, Польша. В целом это Северная и Северо-Восточная Европа. Особняком стоит Норвегия с максимальными показателями, связанными с нефтегазодобывающей отраслью.

1.2. Европейское субъядро (5–10 тыс. долл./чел.) – Исландия, Нидерланды, Великобритания, Франция, Италия, страны Восточной Европы, Россия, в которых уже произошло значительное замещение промышленности другими сферами деятельности.

1.3. Европейская субпериферия и периферия (2–3 тыс. долл./чел.) – страны второй волны: Греция, Кипр, Северная Македония, Босния и Герцеговина, Мальта, Албания, Черногория, Греция, Армения, Грузия, Украина.

2. Американское «средне- и поздневозрастное» ядро:

2.1. Североамериканское средневозрастное ядро – США, Канада.

2.2. Южноамериканская субпериферия – Чили, Мексика, Аргентина, Уругвай, Доминикана, Бразилия.

2.3. Южноамериканская периферия – оставшиеся страны Латинской Америки.

3. Восточноазиатское новое промышленное ядро, с окружающими его субъядерно-субпериферийными конструктами преимущественно поздней индустриализации (за исключением средневозрастной Японии):

3.1. Ядро – Япония, Малайзия, Тайвань, Сингапур.

3.2. Азиатская субпериферия – Китай, Таиланд, Вьетнам, Индонезия, Филиппины. При этом наиболее промышленно развитые приморские провинции Китая фактически входят в восточноазиатское субъядро.

4. Ресурсные регионы – преимущественно нефтегазодобывающие страны:

4.1. Ресурсное (нефтегазовое) позднеиндустриальное субъядро с наиболее высокими удельными значениями промышленного производства (свыше 20 тыс. долл./чел.) – зона Персидского залива, Ирландия и Норвегия в Европе, Экваториальная Гвинея, Панама, Тринидад и Табаго, как правило, с моноспециализированной промышленностью, преимущественно ресурсной специализации.

4.2. Ресурсная субпериферия – Азербайджан, Казахстан, Туркменистан, Габон, Ирак, Иран.

4.3. Ресурсная периферия – большинство стран Африки.

5. Внеиндустриальная периферия – наименее промышленные страны Азии, Африки, офшорные островные государства.

В России, как и в мире в целом, максимальные душевые объемы промышленного производства приходятся на нефтегазодобывающие регионы. Однако основные индустриальные ареалы практически не поменяли свою географию в сравнении с периодом СССР, а то и поздней Российской империей (рис. 2).

На три крупнейших региона приходится почти 31% объема промышленного производства, а на первые 15–68%. Таким образом, уровень концентрации промышленности в России ниже, чем меж-

страновой в мировой промышленности, что не согласуется с распространенными представлениями о чрезмерной пространственной концентрации экономического потенциала России.

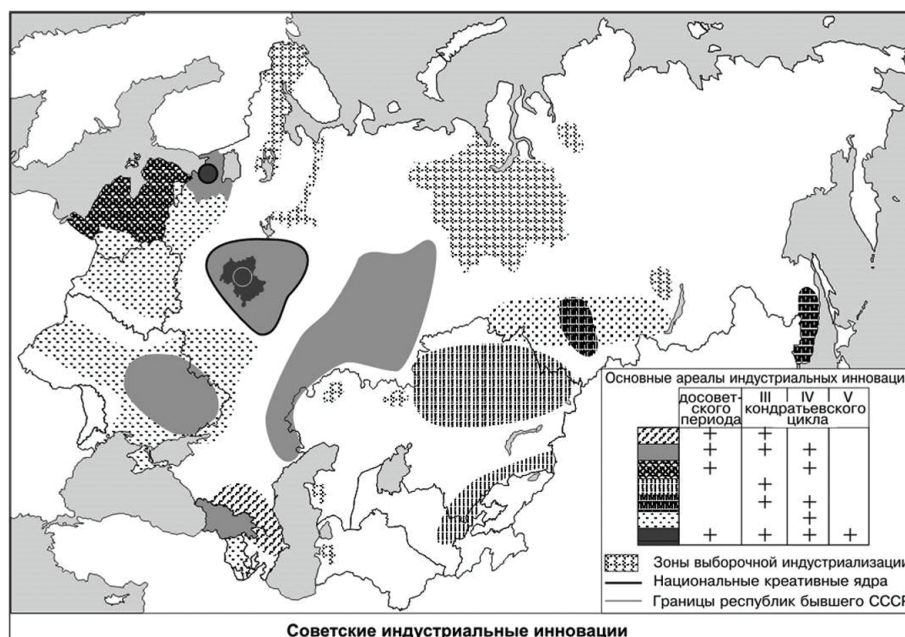


Рис. 2. Основные унаследованные индустриальные ареалы на постсоветском пространстве. Исторические ядра: Окско-Волжское междуречье, ядро Северо-Запада, Урало-Поволжье (до Самары).

Источник: составлено по [Бабурин, 2002]

Fig. 2. Main industrial zones within the post-Soviet space.

Historical cores: Oka-Volga interfluvium, North-West core, Ural-Povolzhye (till Samara). Source: compiled according to [Baburin, 2002]

Сохраняя общие критерии типологизации регионов в конструкте «ядро – периферия», можно выделить несколько промышленных ареалов (рис. 3):

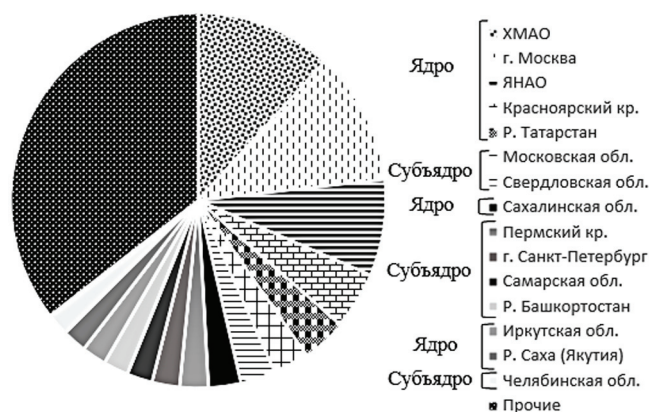


Рис. 3. Доля регионов в промышленном производстве России. Источник: построено авторами по данным [Федеральная служба..., 2023]

Fig. 3. The regions' share in Russian industrial production. Source: compiled by the authors according to [Federal agency..., 2023]

1. Узкоспециализированная, позднеиндустриальная внутренняя ресурсная ядерно-субъядерная низкоплотная индустриальная система с площадным нефтегазодобывающим типом освоения территории – более 70 тыс. долл./чел., а доля промышленности в ВРП свыше 60% – Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий и Ненецкий автономные округа, Сахалинская и Тюменская (в целом) области (табл. 2).

2. Ограниченно специализированные регионы ресурсного субядра и субпериферии средней и поздней индустриализации, с высоким и значительным удельным весом ресурсного сектора – 10–36 тыс. долл./чел. с долей промышленности преимущественно выше 50% – с очаговым и выборочным освоением при наличии крупных ядер концентрации – Красноярский и Пермский края, Иркутская, Архангельская (за счет НАО) области, остальные регионы Севера и Северо-Востока – Чукотский АО, республики Якутия и Коми. За пределами этого массива островная ресурсная субпериферия – Оренбургская и Астраханская области.

Таблица 2

Типология регионов России по масштабу и производительности промышленности

Свыше 30		Объем промышленного производства, млрд долл.			
		29–10	10–5	Менее 5	
Производительность труда в промышленности, тыс. долл./чел.	Свыше 70	1 – Тюменская, Сахалинская обл., ХМАО, ЯНАО	2	3	4
	69,9–10	5 – г. Москва Татарстан, Красноярский и Пермский края	6 – Иркутская Архангельская Астраханская обл., Якутия, Коми	7	8 – Магаданская обл., Чукотский АО
	5–9,9	9 – Московская, Свердловская обл., г. Санкт-Петербург	10 – Томская, Челябинская, Самарская, Кемеровская, Оренбургская, Нижегородская, Белгородская, Ленинградская, Тульская, Омская обл., Башкирия, Удмуртия	11 – Липецкая, Калужская, Ярославская, Владимирская, Мурманская, Курская, Калининградская обл., Карелия	12 – Новгородская, Смоленская обл., Хакасия, Камчатский край
	5–2	13	14 – Ростовская, Волгоградская, Новосибирская, Саратовская обл., Краснодарский край	15 – Хабаровский край, Воронежская, Тверская, Вологодская, Рязанская обл.	16 – Ульяновская, Кировская, Пензенская, Брянская, Ивановская, Тамбовская, Курганская, Костромская, Амурская, Орловская, Псковская обл., Забайкальский, Приморский, Бурятия, Марий-Эл, Мордовия, Тыва, Чувашия, Адыгея, Еврейская АО
	Менее 2	17	18	19 – Алтайский, Ставропольский край	20 – Крым, Бурятия, Дагестан, КБР, Северная Осетия, КЧР, Калмыкия, Чечня, Ингушетия, Алтай

Ядро	Субядро	Субпериферия	Периферия 1	Периферия 2
1, 2, 5, 6	9, 10, 11	8, 12, 14, 15	16, 19	20

Источник: построено авторами по расчетам на основе данных [Федеральная служба..., 2023].

3. Ядерно-субъядерный старопромышленный Московский столичный регион и средней индустриальной волны Татарстан.

Для первых 10 регионов прослеживается хорошо выраженная связь душевых объемов промышленной продукции и долей промышленности в ВРП (рис. 4).

4. К субядру и субпериферии 1 (8–10 тыс. долл./чел.) относятся регионы обрабатывающей промышленности с высоким удельным весом базовых и значительным горнодобывающих отраслей – Мурманская, Белгородская, Вологодская, Липецкая, Самарская, Томская области и Хакасия средней и поздней индустриализации, Свердловская, Тульская области, Удмуртия, а также «пристоличные» –

Калужская и Ленинградская области ранней индустриализации. Во всех регионах (за исключением Мурманской области) доля промышленности превышает 35% в ВРП.

5. К субпериферии 2 (3–8 тыс. долл./чел.) относится обширный массив из 30 регионов, которые могут быть подразделены на несколько кластеров:

5.1. Подавляющее число регионов Урала, Центральной России, Северо-Запада ранней и средней индустриализации со средней долей промышленности в ВРП.

5.2. Оставшиеся регионы юга Сибири (без республик) и Дальнего Востока поздней индустриализации с ограниченным числом отраслей промыш-

ленности и незаконченностью технологических цепочек.

6. Периферия 1 (1–3 тыс. долл./чел.) крупнейшие аграрные регионы страны (Краснодарский, Ставропольский, Алтайский, а также Приморский края) с преобладанием отраслей АПК; регионы внутренней периферии европейской части России, Адыгея, Карачаево-Черкессия, Крым, Тыва и Бурятия.

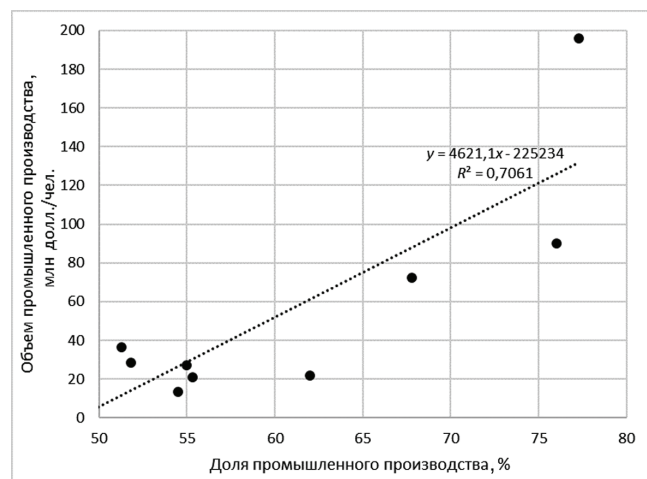


Рис. 4. Уровень индустриализации (ось x) и производства промышленной продукции на человека (ось y) для 10 регионов России – лидеров по объемам промышленного производства.

Источник: построено авторами по данным [Федеральная служба..., 2023]

Fig. 4. Industrialization level (x axis) and industrial production per capita (y axis) for 10 Russian regions leading in industrial production.

Source: compiled by the authors according to [Federal agency..., 2023]

7. Периферия 2 (менее 1 тыс. долл./чел.) республики Северного Кавказа, Калмыкия и Алтай.

Для регионов субпериферии и периферии взаимосвязь уровня индустриализации с душевым производством выражена еще лучше (рис. 5).

Таким образом, ресурсный ядерно-субъядерно-субпериферийный конструкт и неиндустриальная периферия имеют четкую географическую локализацию север – юг, отражая широтную зональность агроклиматического и почвенного потенциала, с одной стороны, и ресурсной дихотомии равнинно-шельфовой и горно-альпийской зон – с другой. Ресурсный принцип сохраняет свою ареало-формирующую роль и для ресурсного субъядра, которое территориально оконтуривает ресурсное ядро с запада, юга и востока.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В соответствии с предложенной методикой мы можем выделить ядерные регионы (рис. 6) в составе старопромышленного Московского столичного

региона, позднеиндустриальной ресурсной Тюменской области, среднепромышленного Татарстана, интегральных Красноярского, Пермского краев и Иркутской области с высоким удельным весом ОПК.

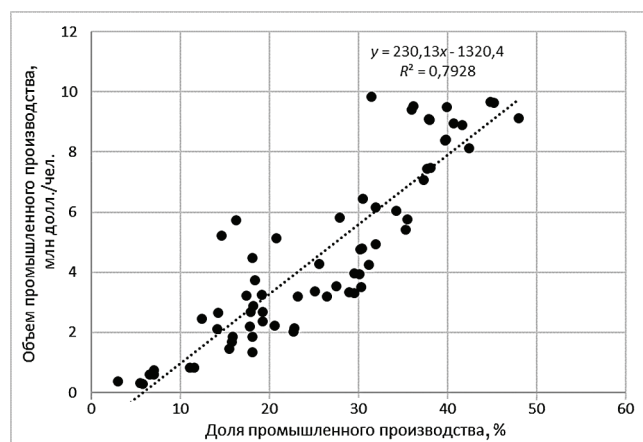


Рис. 5. Уровень индустриализации (ось x) и производства промышленной продукции на человека (ось y) по регионам России.

Источник: построено авторами по данным [Федеральная служба..., 2023]

Fig. 5. Industrialization level (x axis) and industrial production per capita (y axis) in Russian regions.

Source: compiled by the authors according to [Federal agency..., 2023]

Субъядро формируют ресурсные Кемеровская, Оренбургская и Архангельская (за счет НАО) области, Санкт-Петербургский регион (Санкт-Петербург и Ленинградская область) за счет обрабатывающих отраслей, базовые регионы тяжелой промышленности – Свердловская, Челябинская, Тульская, Белгородская, Самарская области, Башкирия, Волгоградская, Омская области и Удмуртия.

Ядерно-субъядерные регионы объединены в три ареала.

Два столичных региона сверхвысокой пространственной концентрации промышленности (при высокой производительности), Урало-Поволжье со средним уровнем концентрации (при средней производительности), Западная и Восточная Сибирь с низким уровнем концентрации промышленности (при очень высокой и высокой производительности).

Полупериферия также формируется двумя типами промышленной специализации:

– среднеплотные регионы со средними региональными промышленными системами Центральной России, Волго-Вятского района без республик Поволжья, Ставропольский, Краснодарский края юга России с максимальной плотностью АПК, Приморский край и особняком стоящая Калининградская область;

– «малые» ресурсные регионы Севера и Дальнего Востока, а также Астраханская область со смешанным типом промышленности.

Периферия 1 (ближняя) включает наименее развитые или депрессивные регионы Центральной России (Тамбовская, Орловская, Костромская об-

ласти), Урала (Курганская область), относительно развитые республики Волго-Вятского района, республики юга Сибири, интегрированная в экономику Краснодарского края Адыгея, Алтайский (сибирский аналог Краснодарского края) и Камчатский края.

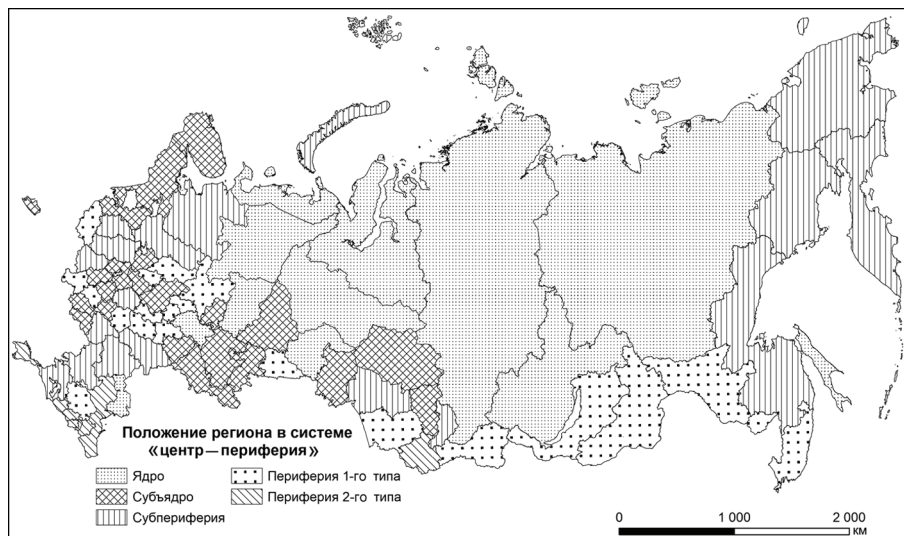


Рис. 6. Положение российских регионов в системе «ядро – периферия» в индустриальном пространстве.

Источник: построено авторами

Fig. 6. Position of Russian regions within the “core – periphery” system in industrial space.

Source: compiled by the authors

Периферия 2 (дальняя) включает в себя большинство республик Северного Кавказа, Калмыкию, Алтай и Псковскую область. Последняя не вписывается в этот тип.

Согласно методике, для того чтобы входить в ядро, необходимо быть старопромышленным районом и сочетать высокую производительность и плотность промышленного потенциала. По этим критериям к ядерным элементам промышленности относятся Московский столичный регион с тяготеющими к нему Тульской, Калужской, Владимирской, Ярославской и Нижегородской старопромышленными областями, на которые приходится 18,6% общероссийского производства, при плотности потенциала и производительности не ниже средней. По периферии ядра расположена полупериферия в составе Рязанской, депрессивной Ивановской (аналог дыр «под Парижем» по Броделю), Смоленской, Тверской областей, Чувашии и Мордовии. Костромская и Кировская области, а также Республика Марий-Эл формируют периферию.

Безусловным вторым индустриальным ареалом России является старопромышленное Урало-Поволжье, где в качестве ядра выступают Татарстан, Самарская область и Удмуртия. К ним в качестве субядра примыкают Оренбургская, Свердлов-

ская, Челябинская области, Башкирия и Пермский край с суммарным потенциалом 18,8% при плотности свыше 200 млн/км² (в ядре более 300) и производительности средней и выше (табл. 3). Для Татарстана, Оренбургской области и Пермского края она высокая. Западную и южную субпериферии формируют Ульяновская, Саратовская, Пензенская, Волгоградская области. На востоке ареал непосредственно граничит с Западно-Сибирским ТПК, а в качестве периферии могут рассматриваться Курганская область и прилегающие районы Казахстана.

Другой лидирующий регион – Санкт-Петербургский, включая Калининградскую область, с долей 4,2% при высокой плотности и средней производительности существенно уступает двум предыдущим ядрам (см. рис. 3). Субпериферию формируют Новгородская и Вологодская области, Карелия. Периферию образует Псковская область.

Отдельный уникальный ареал сформировался в рамках Западно-Сибирского ТПК со средней и низкой плотностью потенциала, при сверхвысокой и высокой (за исключением Томской области на его периферии) производительности. На него приходится 22,5% общероссийского промышленного производства.

Таблица 3

Соотношение производительности и плотности промышленного потенциала по регионам РФ

Сверхвысокая (более 1000)		Плотность промышленного потенциала, млн руб./кв. км.				
		Высокая (301–1000)	Средняя (151–300)	Низкая (51–150)	Минимальная (менее 50)	
Производительность труда в промышленности, тыс. руб./чел.	Сверхвысокая (более 20 000)		Сахалинская	ХМАО	ЯНАО	Коми, Якутия, Красноярский край, ЧАО, Магаданская обл.
	Высокая (10 001– 20 000)		Татарстан	Астраханская, Оренбургская обл., Пермский край	Тюменская обл. (без АО)	Иркутская, Архангельская обл.
	Средняя (5001–10 000)	МСП, СПбР	Самарская, Белгородская, Тульская, Липецкая, Калининградская обл., Удмуртия	Челябинская, Калужская, Кемеровская, Нижегородская, Владимирская, Курская, Ярославская, Свердловская обл., Башкирия	Новгородская Омская, Хакасия, Вологодская обл.	Мурманская, Томская обл., Карелия, Камчатский край
	Низкая (2001–5000)			Чувашия, Краснодарский край	Воронежская, Ростовская, Рязанская, Ульяновская, Волгоградская, Ивановская, Саратовская, Смоленская, Пензенская, Брянская, Орловская, Тамбовская, Тверская, Новосибирская обл., Мордовия, Марий-Эл	Костромская, Кировская, Курганская, Псковская, Амурская обл., Алтайский, Приморский, Забайкальский, Хабаровский кр., Еврейская АО, Тыва
	Минимальная (менее 2000)				Ставропольский край, Крым, Адыгея, КБР, Сев. Осетия	КЧР, Дагестан, Ингушетия, Чечня, Бурятия, Алтай, Калмыкия

Источник: построено авторами по расчетам на основе данных [Федеральная служба..., 2023].

На четыре главных ареала концентрации промышленности приходится 64,1% объема производства.

За их пределами выделяется индустриальный субъядерный ареал ТПК КМА (Липецкая, Белгородская и Курская области) с ярко выраженной металлургической специализацией, на который приходится 2,4% производства. Для него характерны преимущественно высокая плотность промышленного потенциала и средняя производительность. Низкоплотными субъядрами являются ТПК Крас-

ноярского края, Хакасии, Иркутской области, а также юга Якутии.

Аналогичным низкоплотным ареалом субпериферийного типа являются Архангельская область и Коми, частично интегрированные в рамках Тимано-Печорского ТПК с общим потенциалом 2,7%.

Регионы Северного Кавказа и юга Сибири фактически формируют индустриальную пустыню (менее 0,4% промышленного производства) с минимальными и низкими значениями плотности и минимальными показателями производительности.

Взаимосвязь урбанизации и душевых показателей сохраняется и для макрорегионов. В частности, для Центральной России, при исключении постиндустриальной Москвы, у которой при формально малой доле промышленности в ВРП максимальное в регионе душевое промышленное производство.

Ядро-периферийная пространственная конструкция здесь фактически иллюстрация теории.

Ядро: Московский столичный регион, включая Калужскую область.

Субъядро:

– регионы тяжелой промышленности: Вологодская, Тульская, Липецкая, Белгородская области;

– регионы обрабатывающей промышленности: Владимирская, Ярославская и Нижегородская области старопромышленного северо-востока.

Полупериферия – оставшиеся области ЦЭР, республики Волго-Вятского района и Воронежская область.

Периферия – Орловская, Брянская, Ивановская и Тамбовская области.

Итоговая типология показала, что для ресурсных регионов наблюдается взаимосвязь между стадией освоения месторождений и инновационной активностью предприятий. Высокую активность демонстрируют высокопроизводительные промышленные системы ЯНАО и НАО, а также Магаданская область и Пермский край, куда идут активные инвестиции. В то же время высокопроизводительные ХМАО, Якутия, Коми, Астраханская, Оренбургская, Иркутская области достаточно старого освоения имеют минимальную инвестиционную активность.

Наряду с этим для республик Северного Кавказа, а также Калмыкии и Бурятии типичны минимальные значения производительности и инновационной активности. За пределами этого ареала только депрессивная Ивановская область.

Для ряда регионов с сопоставимо низкой производительностью (Тамбовская и Псковская области, Алтай) характерен высокий и очень высокий уровень инновационной активности. Можно высказать предположение, что это свидетельствует о формировании новых индустриальных ядер и узлов в этих регионах.

ВЫВОДЫ

Современное положение страны или региона в системе «ядро – периферия» в значительной степени зависит от нескольких параметров: преобладающей в экономике отрасли промышленности (например, всегда на общем фоне выделяются ресурсодобывающие территории); периода начала и продолжительность развития промышленности в совокупности с ее поддержкой: положение ядра сохраняют за собой только те страны и регионы, которые способны своевременно внедрять новые отрасли, модернизировать существующие. Старопромышленные территории опускаются в субпериферийное и периферийное положение.

При этом если ядро и периферия выделяются более четко, то промежуточные категории (субъядро, субпериферия) концентрируют в себе довольно разные регионы и по специализации экономики, и по географическому положению.

В России многие старопромышленные регионы сместились от своего ядерного положения, ядро же формируется преимущественно сырьевыми регионами, а также крупными столичным агломерациями. В то же время ряд старопромышленных регионов Урала и Поволжья с развитым промышленным комплексом и крупногородскими агломерациями сохраняет свое положение в субъядре.

В полупериферию попадают индустриально-аграрные регионы с высокой долей АПК в структуре экономики, а также малые ресурсные регионы Сибири и Дальнего Востока. Периферия же довольно стабильно включает в себя слаборазвитые республики Кавказа и юга Сибири, что и в дальнейшем усиливает ее зависимое, периферийное положение.

Ресурсные регионы и неиндустриальная периферия четко распределяются по линии север – юг, что указывает на сохранение значимости в региональном развитии широтной зональности агроклиматического и почвенного потенциала, с одной стороны, и ресурсной дихотомии равнинно-шельфовой и горно-альпийской зон – с другой. Ресурсный принцип сохраняет свою ареало-формирующую роль и для ресурсного субъядра, которое территориально оконтуривает ядро с запада, юга и востока.

Благодарности. Статья написана при поддержке гранта РНФ № 22-27-00425 «Центр-периферийность в российском индустриальном пространстве» и ГЗ № 1-18 «Агломерационные эффекты в развитии территориальных социально-экономических систем».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабуринов В.Л. Инновационные циклы в экономике. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 120 с.

Бакланов П.Я. Пространственное развитие региона: основные принципы и подходы к анализу и оценкам //

- Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2017. № 6. С. 4–12.
- Богатуров А.Д., Косолапов Н.А., Хрусталева М.А. Очерки теории и политического анализа международных отношений. М., 2002. С. 112–128.
- Бухарин Н.И. Проблемы теории и практики социализма. М., 1989. 511 с.
- Бухвальд Е.М. Управление пространственным развитием российской экономики: цели и инструменты // Управление. 2020. Т. 11. № 6. С. 2–14.
- Валлерстайн И. Периферия. Экономическая теория / под ред. Дж. Итуэллы, М. Милгейта, П. Ньюмена. М., 2004. 671 с.
- Восток / Запад: Региональные подсистемы и региональные проблемы международных отношений / под ред. А.Д. Воскресенского. М., 2002. 528 с.
- Гранберг А.Г. Основы региональной экономики. М.: ГУ ВШЭ, 2000. С. 445–495.
- Грицай О.В., Иоффе Г.В., Трейвиш А.И. Ядро и периферия в региональном развитии. М.: Наука, 1991. 167 с.
- Дворяджина Е.Б., Лавченко С.П. Классические подходы к исследованию локальных рынков в региональной экономике // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. Т. 6. № 32. С. 135–139.
- Занадворов В.С., Занадворова А.В. Экономика города. М.: Академкнига, 2003. 272 с.
- Киселева Н.Н., Орлянская А.А., Бавина К.В., Боровикова Н.В. Территориально-производственные комплексы как форма пространственной организации производства: эволюция и перспективы развития // Региональная экономика и управление. 2016. № 4(48). URL: <https://eee-region.ru/article/4813/>
- Киселева Н.Н. Методология исследования пространственной организации промышленности: монография. Пятигорск: РИА-КМВ, 2016. 92 с.
- Кожиева Ф.А. Региональное развитие в контексте теории полюсов роста // Фундаментальные исследования. 2015. Т. 3. № 11. С. 574–578.
- Комплексные пространственные исследования: коллективная монография для студентов и аспирантов экономических вузов / А.А. Адамеску [и др.]; Всероссийская академия внешней торговли Минэкономразвития России. М.: БАВТ, 2019. 371 с.
- Лебедев С.Д. Религиозная и светская культуры как типы систем социального знания. Белгород, 2003а. 48 с.
- Лебедев С.Д. Методология анализа культуры (социально-когнитивный аспект). Белгород, 2003б. 42 с.
- Леонтьева Л.С., Конотопов А.И., Ильин А.Б. Управление пространственными инновациями: монография. М.: Изд-во МИИГАиК, 2016. 141 с.
- Леш А. Пространственная организация хозяйства / под ред. академика А.Г. Гранберга. М.: Наука, 2007. 663 с.
- Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
- Миньяр-Белоручев К.В. Ядро и периферия системы международных отношений: характер взаимодействия // Новая и новейшая история. 2019. № 6. С. 5–18.
- Пригожин И., Стенгерс И. Время. Хаос. Квант. М.: Прогресс, 1994. 266 с.
- Проскурнова К.Ю. Эволюция взглядов на факторы пространственного размещения производительных сил: от материальных факторов к институтам // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2021. № 5. С. 64–71.
- Родионова И.А., Рубцов В.А., Трофимов А.М. Классификация стран мира, отражающая тенденции глобального процесса индустриализации // Вестник РУДН. Сер. Экономика. 2004. Т. 10. № 1. С. 42–54.
- Самойлова Н.А. Генезис экономического пространства территории // Архитектура и строительство России. 2009. № 11. С. 3–12.
- Трейвиш А.И. Неравномерность и структурное разнообразие пространственного развития экономики как научная проблема и российская реальность // Пространственная экономика. 2019. Т. 15. № 4. С. 13–35.
- Фенин К.В. Временная размерность теорий пространственного размещения экономики // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2013. Т. 7. № 3. С. 121–125.
- Шарыгин М.Д., Осипов В.А. Энерго-производственные циклы проблемы теории и практики. СПб., 1988. 118 с.
- Friedmann J. Regional Planning and Nation-Building: An Agenda for International Research, *Economic Development and Cultural Change*, 1967, vol. 16, no. 1, p. 119–129.
- Friedmann J. Regional Planning in Post-Industrial Society: Some Policy Considerations, *Journal of Farm Economics*, 1963, vol. 45, no. 5, p. 1073–1079.
- Giersch H. Aspects of growth, structural change, and employment: A Schumpeterian perspective, *Kiel Working Paper*, 1979, no. 89.
- Szul R. Światowy system polityczny. Struktury i idee [World political system. Structures and ideas], *Studia Społeczne*, 2010, no. 2–3, p. 47–76.

Электронные ресурсы

- Федеральная служба государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс]. URL: rosstat.gov.ru (дата обращения 12.02.2023).
- The CIA World Factbook 2022–2023. [Электронный ресурс]. URL: https://vk.com/doc280183192_648332391?hash=80bCkUc5N0g5V1LhzmV97CR39IC6g0yIlczWInEe3lo&dl=AT7CiS5c91oWibVK17cCPKWlaNgBI DgrsVUxgxo9Z4g (дата обращения 12.02.2023).

Поступила в редакцию 29.06.2022
После доработки 05.12.2022
Принята к публикации 22.02.2023

CORE-PERIPHERAL MODEL OF INDUSTRIAL LOCALIZATION: WORLD AND RUSSIA

V.L. Baburin¹, M.D. Goryachko², K.V. Demidova³, M.A. Makushin⁴

¹⁻⁴ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia*

¹ *Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: vbaburin@yandex.ru*

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

³ *Leading Engineer; e-mail: metsan_henki@mail.ru*

⁴ *Leading Engineer; e-mail: mihmakush@mail.ru*

The article deals with the problems of industrial territorial organization in the world and Russia under the “core – periphery” concept. The study is currently important because of the lack of systematic works considering the position of countries and regions in the “core – periphery” structure and the need to elaborate a typology of regions for the purposes of industrial policy. The object of the study is the countries of the world and the regions of Russia, and the subject is the level of their industrial development. The purpose of the study is to suggest a typology of the countries of the world and the regions of Russia in the core-periphery structure of industrial space basing on the qualitative and quantitative methodology. The novelty of the study is the application of an evolutionary and multi-scale approach to the analysis of the distribution of industrial potential across the countries of the world and the subjects of the Russian Federation. The research methodology assumes a qualitative and quantitative procedure for differentiating countries and regions of Russia by industrial productivity, its share in GDP/GRP, the evolutionary stage of development (duration of the industrialization cycle) and geographical location. The main task is to check the operability of the “core – periphery” model in relation to the cycles of industrialization for the end-to-end typology of the countries of the world and the regions of Russia. Special emphasis is placed on the study of differences in industrial productivity under the influence of such geographical factors as the level of industrialization, the resource capacity of production, the scale and branch structure of industry. While analyzing industry at the country level, the emphasis is on the duration of the period of industrialization, the per capita volume of industrial production and the share of industry in GDP. Labor productivity was calculated for the regions of Russia, and the level of innovation activity was also considered. The position of a country or a region in the “core – periphery” system depends on the branch of specialization, the “age” of industry and the industrial policy of the state: the countries and regions that modernize existing funds faster or create new industries preserve their core position. Old industrial countries and regions are shifting into sub-periphery and periphery. The sub-periphery also includes industrial and agricultural regions with a high share of agriculture and small resource regions of Siberia and the Far East. The composition of the periphery is stable and includes the underdeveloped republics of the Caucasus and southern Siberia. The current results made it possible to compare the typology of countries and regions in the “core – periphery” system, while the final results could be used to adjust Russia’s industrial policy.

Keywords: “core – periphery” model, sub-periphery, Kondratiev’s cycles, industrial potential, labor productivity, industrial innovations

Acknowledgements. The paper was prepared with financial support of the Russian Science Foundation (project no. 22-27-00425 Centre-Periphery in the Russian Industrial Space) and under the State Task no. 1-18 Agglomeration Effects in the Evolution of Territorial Social-Economic Systems.

REFERENCES

- Baburin V.L. *Innovacionnye cikly v jekonomike* [Innovation cycles in the economy], Moscow, URSS Publ., 2002, 120 p. (In Russian)
- Baklanov P.Ja. *Prostranstvennoe razvitie regiona: osnovnye printsipy i podkhody k analizu i otsenkam* [Spatial development of a region: main principle and approaches to analysis and assessment], *Social’no-jekonomicheskaja geografija, Vestnik Associacii rossijskih geografov-obshhestvovedov* [Socio-economic geography, Bulletin of Russian geographers and social scientists], 2017, no. 6, p. 4–12. (In Russian)
- Bogaturov A.D., Kosolapov N.A., Hrustalev M.A. *Ocherki teorii i metodologii politicheskogo analiza mezhdunarodnyh otnoshenij* [Essays on theory and methodology of the political analysis of international relationships], Moscow, NOFMO Publ., 2002, 390 p. (In Russian)
- Buharin N.I. *Problemy teorii i praktiki socializma* [Problems of theory and practice of socialism], Moscow, 1989. (In Russian)
- Buhval’d E.M. *Upravlenie prostranstvennym razvitiem rossijskoj jekonomiki: celi i instrumenty* [Spatial development management in Russian economy: purposes and tools], *Upravlenec*, 2020, vol. 11, no. 6, p. 2–14. (In Russian)
- Dvorjadkina E.B., Lavshenko S.P. *Klassicheskie podhody k issledovaniju lokal’nyh rynkov v regional’noj jekonomike* [Classical approaches to local markets research in regional economics], *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya*, 2020, vol. 6, no. 32, p. 135–139. (In Russian)
- Fenin K.V. *Vremennaja razmernost’ teorii prostranstvennogo razmeshhenija jekonomiki* [Temporal dimension of the

- theories of spatial localization of the economy], *Modeli, sistemy, seti v jekonomike, tehnike, prirode i obshchestve*, 2013, vol. 7, no. 3, p. 121–125. (In Russian)
- Friedmann J. Regional Planning in Post-Industrial Society: Some Policy Considerations, *Journal of Farm Economics*, 1963, vol. 45, no. 5, p. 1073–1079.
- Friedmann J. Regional Planning and Nation-Building: An Agenda for International Research, *Economic Development and Cultural Change*, 1967, vol. 16, no. 1, p. 119–129.
- Giersch H. Aspects of growth, structural change, and employment: A Schumpeterian perspective, *Kiel Working Paper*, 1979, no. 89.
- Granberg A.G. Osnovy regional'noj jekonomiki [Fundamentals of regional economics], Moscow, GU HSE Publ., 2000, 495 p. (In Russian)
- Gricaj O.V., Ioffe G.V., Trejvish A.I. *Centr i periferija v regional'nom razvitii* [Centre and periphery in regional development], Moscow, Nauka Publ., 1991, 167 p. (In Russian)
- Kiseleva N.N. *Metodologija issledovanija prostranstvennoj organizacii promyshlennosti* [Methodology of studying spatial industrial organization], Pjatigorsk, RIA-KMV, 2016, 92 p. (In Russian)
- Kiseleva N.N., Orlyanskaya A.A., Bavina K.V., Borovikova N.V. Territorial'no-proizvodstvennye komplekсы kak forma prostranstvennoj organizacii proizvodstva: jevoljucija i perspektivy razvitija [Territorial and industrial complexes as a form of spatial industrial organization: evolution and prospects of development], *Regional'naja jekonomika i upravlenie*, 2016, no. 4(48). URL: <https://eee-region.ru/article/4813/> (In Russian)
- Kompleksnye prostranstvennye issledovanija: Kollektivnaja monografija dlja studentov i aspirantov jekonomicheskikh vuzov* [Complex spatial studies: collective monography for students and Ph.D. students of economic universities], Moscow, 2019, VAVT Publ., 371 p. (In Russian)
- Kozhieva F.A. Regional'noe razvitie v kontekste teorii poljusov rosta [Regional development in the context of growth poles theory], *Fundamental'nye issledovanija*, 2015, vol. 3, no. 11, p. 574–578. (In Russian)
- Lebedev S.D. *Metodologija analiza kul'tury (social'no-kognitivnyj aspekt)* [Methodology of cultural analysis (social and cognitive aspect)], Belgorod, 2003a. (In Russian)
- Lebedev S.D. *Religioznaja i svetskaja kul'tury kak tipy sistem social'nogo znanija* [Religious and social culture as types of the social knowledge system], Belgorod, 2003b. (In Russian)
- Leont'eva L.S., Konotopov A.I., Il'in A.B. *Upravlenie prostranstvennymi innovacijami* [Management of spatial innovations], Moscow, MIIGAiK Publ., 2016, 141 p. (In Russian)
- Ljosh A. *Prostranstvennaja organizacija hozjajstva* [Spatial organization of economy], Moscow, Nauka Publ., 2007, 663 p.
- Mesarović M., Mako D., Takahara Y. *Theory of Hierarchical Multilevel Systems*, New York, Academic, 1970, 294 p.
- Min'jar-Beloručev K.V. *Jadro i periferija sistemy mezhdunarodnyh otnoshenij: harakter vzaimodejstvija* [Core and periphery of international relationships system: character of interaction], *Novaja i novejšaja istorija*, 2019, no. 6, p. 5–18. (In Russian)
- Prigozhin I., Stengers I. *Vremja. Haos. Kvant* [Time. Chaos. Kvant], Moscow, Progress Publ., 1994, 266 p. (In Russian)
- Proskurnova K.Ju. *Jevoljucija vzgljadov na faktory prostranstvennogo razmeshhenija proizvoditel'nyh sil: ot material'nyh faktorov k institutam* [Evolution of views on the factors of spatial distribution of productive forces: from material factors to institutions], *Intellekt. Innovacii. Investicii*, 2021, no. 5, p. 64–71. (In Russian)
- Rodionova I.A., Rubcov V.A., Trofimov A.M. *Klassifikacija stran mira, otrazhajushhaja tendencii global'nogo procesa industrializacii* [Classification of the countries of the world, reflecting the trends of the global industrialization process], *Vestnik RUDN: ser. Jekonomika*, 2004, vol. 10, no. 1, p. 42–54. (In Russian)
- Samojlova N.A. *Genezis jekonomicheskogo prostranstva territorii* [Genesis of the economic space of the territory], *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*, 2009, no. 11, p. 3–12. (In Russian)
- Sharygin M.D., Osipov V.A. *Energo-proizvodstvennye tsikly problemy teorii i praktiki* [Energy production cycles problems of theory and practice], SPb., 1988, 118 p.
- Szul R. *Światowy system polityczny. Struktury i idee* [World political system. Structures and ideas], *Studia Społeczne*, 2010, no. 2–3, p. 47–76.
- Trejvish A.I. *Neravnomernost' i strukturnoe raznoobrazie prostranstvennogo razvitija jekonomiki kak nauchnaja problema i rossijskaja real'nost'* [Uneven and structural diversity of the spatial development of economy as a scientific problem and the Russian reality], *Prostranstvennaja jekonomika*, 2019, vol. 15, no. 4, p. 13–35. (In Russian)
- Vallerstajn I. *Periferija [Periphery], Jekonomicheskaja teorija*, Moscow, 2004, 671 p. (In Russian)
- Vostok / Zapad: Regional'nye podsystemy i regional'nye problemy mezhdunarodnyh otnoshenij* [East / West: regional subsystems and regional problems of international relationships], A.D. Voskresenskogo (ed.), Moscow, 2002, 528 p. (In Russian)
- Vostok/Zapad: Regional'nye podsystemy i regional'nye problemy mezhdunarodnyh otnoshenij* [East / West: Regional subsystems and regional problems of international relations], A.D. Voskresenskii (ed.), Moscow, 2002, 528 p.
- Zanadvorov V.S., Zanadvorova A.V. *Jekonomika goroda* [Economy of a city], Moscow, Akademkniga Publ., 2003, 272 p. (In Russian)
- Web sources**
- Federal agency of government statistics (Rosstat) [Electronic resource], URL: rosstat.gov.ru (access date 12.02.2023).
- The CIA World Factbook 2022–2023 [Electronic resource], URL: https://vk.com/doc280183192_648332391?hash=80bCkUc5N0g5V1LhzmV97CR391C6g0yIlczWInEe31o&dl=AT7CiS5c91oWibVK17cCPKWlaNgbIDgrsVUxgxo9Z4g (access date 12.02.2023).

Received 29.06.2022

Revised 05.12.2022

Accepted 22.02.2023

ДИНАМИКА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 631.6.02

ФАКТОРЫ СКЛОНОВОГО ВЕСЕННЕГО СТОКА НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

А.Т. Барабанов¹, А.И. Петелько²

¹ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, лаборатория защиты почв от эрозии, заведующий, д-р с.-х. наук; e-mail: a.baranov2011@yandex.ru

² Новосильская зональная агролесомелиоративная опытная станция имени А.С. Козменко, филиал ФНЦ агроэкологии РАН, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук; e-mail: zaglos@mail.ru

Обобщены и проанализированы результаты многолетних исследований нескольких поколений ученых на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции имени А.С. Козменко, филиале ФНЦ агроэкологии РАН, инициатором которых был профессор Г.П. Сурмач. Ставилась задача: дать оценку характера формирования весеннего склонового стока и показать роль природных факторов и сельскохозяйственной деятельности. Методической основой исследований был метод стоковых площадок. В результате длительного (64 года) изучения выявлен ряд важных зависимостей и особенностей формирования стока в разные по природно-климатическим условиям годы, оценено влияние на него природных факторов и сельскохозяйственной деятельности (структура посевных площадей, агрофоны, обработка почвы и др.). Научные материалы по элементам весеннего водного баланса дают представление об их закономерностях. Установлено, что из большого количества природных факторов существенное влияние на склоновый весенний сток оказывают только три: глубина промерзания почвы, снеготопысы и влажность верхнего (до 30 см) слоя почвы. Остальные факторы почти не влияют на величину стока и их можно не учитывать при его расчете. Установлены лимитирующие уровни этих трех факторов, при которых сток не образуется. За 64 исследуемых года сток отсутствовал 33 года, в другие годы он колебался от 1 до 146 мм. Из антропогенных факторов сильное влияние оказывает обработка почвы и состояние агрофонов. Показано стокорегулирующее значение зяблевой обработки почвы и стокообразующая роль многолетних трав и озимых культур. В среднем сток с уплотненной пашни по сравнению с рыхлой зябью был больше на 10 мм, в отдельные годы эта разница была значительно больше. Полученные результаты исследования необходимы для проектирования противозерозионной адаптивно-ландшафтной системы земледелия.

Ключевые слова: поверхностный сток, зябь, глубина промерзания почвы, запасы воды в снеге, влажность почвы, элементы водного баланса

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.2

ВВЕДЕНИЕ

Водная эрозия является мощным фактором деградации почв и опустынивания земель. Происходит смыв и размыв почвогрунтов, особенно на пахотных землях. В России водной и ветровой эрозии подвержено 63% сельскохозяйственных земель. В Центральном Нечерноземье распространена водная эрозия. Больше всего сельскохозяйственных земель подвержено ей в Тульской, Орловской и Калужской областях [Кочетов, 1999]. Для защиты почвы от эрозии необходимо знать закономерности формирования стока и эрозионных процессов в условиях антропогенной деятельности. Многолетние научные исследования позволили получить большой экспериментальный материал [Грин,

1969; Гаршинев, 2002; Барабанов, 2017; Барабанов и др., 2004, 2006, 2018; Кулик и др., 2014; Кузнецов и др., 2008; Sharratt et al., 2000; Pimentel, Burgess, 2013; Starkloff, 2017]. Цель нашей научной работы заключалась в оценке характера формирования весеннего склонового стока за многолетний период и влияния на него природных факторов (глубины промерзания, влажности почвы, запасов воды в снеге) и сельскохозяйственной деятельности (зяблевой обработки почвы, посева многолетних трав, озимых культур и др.). Они дополняют и углубляют полученный ранее материал.

Исследование склонового стока на Новосильской опытной станции дает возможность перевести проектирование противозерозионных мероприятий

на расчетную основу. С помощью исследования водного баланса на стоковых площадках нами за многолетний период наблюдений получены данные о формировании весеннего склонового стока. Следует отметить, что за последние десятилетия величина его резко сократилась в связи с тем, что почва в эти годы промерзала на небольшую глубину (до 50 см), а местами она была талая из-за формирования снежного покрова до наступления больших морозов. Многолетние исследования дают возможность правильно проанализировать водный баланс в весенний период на различных угодьях и разработать систему мероприятий. На Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции имени А.С. Козменко разработан противоэрозионный комплекс, включающий организацию территории, лесомелиоративные, агротехнические, лугомелиоративные мероприятия и гидротехнические сооружения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые опыты проводились на Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции (филиал ФНЦ агроэкологии РАН), расположенной в Орловской области. Характерной особенностью геологического строения местности является залегание рыхлых песчано-глинистых грунтов поверх твердых осадочных пород (девонские известняки, мергели). Четвертичные отложения представлены покровными лессовидными карбонатными желто-бурыми и палевыми суглинками и глинами различной мощности. В геоморфологическом отношении территория относится к Среднерусской возвышенности. Территория опытной станции расчленена густой сетью ложин и суходолов, приводораздельные части склонов пологие ($0-3^\circ$), присетевые имеют крутизну $3-5^\circ$. Выраженная расчлененность и значительные уклоны в сочетании с рыхлыми покровными породами создают предпосылки для интенсивных эрозионных процессов [Кулик и др., 2018]. Почвенный покров представлен преимущественно серыми лесными почвами и оподзоленными черноземами средне- и тяжело-суглинистыми, имеющими непрочную пылеватую структуру. Они обладают низкой впитывающей способностью, особенно в мерзлом состоянии. Исследования проводились на серых лесных почвах, на пахотных склонах крутизной $1-3^\circ$. Размещались они в основном на одном склоне на разных полях с различными агрофонами – рыхлая и уплотненная пашня. Методической основой исследований был водно-балансовый метод. Ежегодно (1959–2022) закладывали стоковые площадки размером 20×100 м, на которых изучали характер снегоотложения, замерзания и оттаивания почвы, определяли

глубину ее промерзания, влажность, снегозапасы, сток талых вод. Высоту снега измеряли перед весенним снеготаянием на стоковых площадках по двум профилям через 4 м в 3–5-кратной повторности. Промерзание почвы определяли по кристалликам льда путем бурения почвы. При определении влажности почвы применяли термостатно-весовой метод. Замеры стока на водосливах с углом выреза 45° осуществляли через каждый час. Исследования проводились по методике, разработанной во ВНИАЛМИ (ныне ФНЦ агроэкологии РАН), с использованием методик ГГИ и Института географии РАН [Сурмач, 1967; Грин, 1969; Гаршинев, 2002].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поверхностный сток снеговых вод на Новосильской опытно-овражной станции (ныне Новосильская ЗАГЛОС) изучали с 1923 до 1941 г. С началом Великой Отечественной войны научные исследования на станции были прекращены. Они возобновились по инициативе Г.П. Сурмача в 1959 г. На станции были начаты исследования влияния сельскохозяйственной деятельности на сток талых вод. Были организованы исследования формирования стока на разных видах пашни (зябь, озимые, стерня) и угодий (лес, луг), которые продолжаются по настоящее время [Барабанов и др., 2004; Петелько, 2012; Барабанов, 2017].

Проведенные научные исследования на стоковых площадках позволили получить многолетний экспериментальный материал, позволяющий сделать важные теоретические и практические выводы. Полевые наблюдения в многофакторных опытах показали [Сурмач, 1976], что серые лесные почвы обладают большей впитывающей способностью, чем дерново-подзолистые, и меньшей, чем черноземы. Смытые почвы отличаются от несмытых большей объемной массой, повышенной плотностью и пониженной водопроницаемостью. В рыхлом состоянии почвы обладают лучшей инфильтрационной способностью по сравнению с уплотненным. На впитывание воды в почву оказывают сильное влияние только три природных фактора [Барабанов, 2017], которые обуславливают образование весеннего склонового стока. Впитывание талой воды в мерзлую почву зависит от порозности почвы, глубины ее промерзания и образования ледяного экрана. Дана оценка роли сельскохозяйственной деятельности в формировании стока. Насыщение влагой верхнего мерзлого слоя почв происходит менее интенсивно на уплотненной пашне, нередко с образованием поверхностной ледяной корки. На рыхлосложенном агрофоне (зяблевая вспашка) и нераспыленной почве, даже при высокой ее льдистости значительная

часть пространства остается открытой, что определяет довольно интенсивное впитывание талых вод и уменьшение стока.

Разработку эффективных мер борьбы с эрозией почв необходимо осуществлять на основе знания закономерности формирования стока талых вод. Эрозионно-гидрологический процесс очень сложный и многофакторный. Многие исследователи при оценке характера формирования стока применяют разное количество факторов – от одного [Шеппель, 1990; Алексеевский и др., 2013] до десятка [Мухин, 2014; Варенцова и др., 2020; Кумани и др., 2021]. По данным [Барабанов, 2017; Петелько, 2012; Комиссаров, Габбасова, 2014] формирование стока существенно зависит только от трех природных факторов: глубины промерзания почвы, запасов влаги в ее верхнем слое (0–30 см) и запасов воды в снеге перед снеготаянием. Природные и антропогенные факторы влияют на формирование стока во взаимодействии [Гаршинев, 2002; Барабанов, 2017; Петелько, 2012; Комиссаров, Габбасова, 2014; Танасиенко и др., 2018]. Наиболее близко к реальной оценке роли взаимодействия талой воды с мерзлой почвой подошли Е.А. Гаршинев [2002] и И.Л. Калужный, С.А. Лавров [2017]. Е.А. Гаршинев обстоятельно и глубоко изучил процесс взаимодействия талой воды и мерзлой почвы. Он сформулировал и обосновал концепцию «ледяного экрана», который формируется на границе оттаявшего сверху и мерзлого снизу слоев почвы. И.Л. Калужный и С.А. Лавров разработали концепцию формирования в мерзлой почве водонепроницаемого (запирающего) слоя. Эти концепции сыграли важную роль в понимании процесса впитывания талой воды в мерзлую почву.

Для прогнозирования стока необходимо уточнение его связи с природными факторами. На станции

регулярно осуществляются соответствующие исследования. Установлено, что если почва накануне весеннего снеготаяния промерзла не глубже 50 см, то сток не образуется независимо от уровня других факторов. При большей глубине промерзания сток формируется и не зависит от ее увеличения. В этом случае на него влияют снегозапасы и увлажнение почвы в слое 0–30 см [Барабанов, 2017].

За длительный период исследований (1959–2022) складывались различные метеорологические условия. Одна зима была совсем бесснежной (1969), но были зимы многоснежные (снегозапасы 80–140 мм) и очень многоснежные (146–186 мм). Глубина промерзания колебалась от 0 до 182 см, чаще она была меньше 50 см (38 лет), свыше 50 см почва промерзала 21 год и пять лет она была талая. Запасы влаги в верхнем слое почвы (0–50 см) колебались от 123 до 248 мм, чаще увлажнение почвы было на высоком уровне [Барабанов, 2017].

Обобщенные данные, характеризующие сток и снегозапасы на Новосильской ЗАГЛОС за 64 года, приведены в табл. 1. Исследования проводили несколько поколений ученых: Г.П. Сурмач, В.Н. Дьяков, В.Л. Сухов, Л.Я. Королева, Е.А. Гаршинев, А.Т. Барабанов, Н.Е. Петелько, А.И. Петелько, В.П. Борец, Е.Я. Тубольцев, А.В. Выпова и др. Эти данные показывают, что сток на зяби не формировался 34 года из 64 лет, а на уплотненной – 22 года из 58 лет. В остальные годы величина его колебалась на рыхлой пашне от 2 до 146 мм, на уплотненной – от 3 до 186 мм. При этом очень большой сток (свыше 100 мм) сформировался на рыхлой пашне только два года (1959 и 1967), а на уплотненной – 3 года (1959, 1960, 1967). Средние показатели стока составили на рыхлой пашне 20 мм, на уплотненной – 30 мм.

Таблица 1

Обобщенные показатели снегозапасов и весеннего склонового стока

Годы	Сток, мм	Запасы талой воды, мм	Коэффициент стока	Сток, мм	Запасы талой воды, мм	Коэффициент стока
	Рыхлая пашня (зябь)			Уплотненная пашня (многолетние травы, озимые)		
1	2	3	4	5	6	7
1959	108	146	0,74	106	135	0,78
1960	81	136	0,60	117	150	0,78
1961	7	32	0,22	12	22	0,54
1962	13	22	0,59	21	23	0,91
1963	61	116	0,53	71	115	0,62
1964	58	121	0,48	91	113	0,80
1965	51	70	0,73	46	60	0,77
1966	4	77	0,05	3	105	0,03

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
1967	146	186	0,78	186	186	1,00
1968	0	169	0	26	145	0,18
1969	24	66	0,36	51	80	0,64
1970	83	192	0,43	94	221	0,42
1971	79	129	0,61	39	81	0,48
1972	15	56	0,27	15	56	0,27
1973	29	62	0,47	31	53	0,59
1974	29	50	0,58	44	49	0,89
1975	0	86	0	0	89	0
1976	0	137	0	3	160	0,02
1977	12	138	0,09	20	149	0,41
1978	0	91	0	20	177	0,11
1979	37	128	0,29	45	135	0,33
1980	29	135	0,21	42	153	0,27
1981	0	162	0	15	132	0,11
1982	2	100	0,02	5	100	0,05
1983	2	97	0,02	27	91	0,29
1984	12	41	0,29	18	67	0,27
1985	0	128	0	2	119	0,02
1986	33	77	0,43	36	175	0,48
1987	27	149	0,18	40	160	0,25
1988	21	118	0,18	42	123	0,34
1989	0	55	0	0	52	0
1990	23	44	0,51	25	49	0,51
1991	34	84	0,40	52	89	0,58
1992	0	88	0	0	85	0
1993	17	42	0,40	14	45	0,31
1994	40	139	0,29	50	142	0,35
1995	0	114	0	4	118	0,03
1996	29	81	0,36	26	89	0,29
1997	1	56	0,02	26	71	0,37
1998	0	48	0	—	—	—
1999	0	144	0	—	—	—
2000	0	57	0	—	—	—
2001	0	81	0	—	—	—
2002	0	58	0	—	—	—
2003	46	96	0,48	71	152	0,47
2004	0	86	0	0	97	0
2005	0	115	0	0	115	0
2006	0	137	0	0	111	0
2007	0	79	0	0	62	0
2008	0	76	0	0	83	0
2009	0	97	0	0	102	0
2010	0	106	0	0	100	0

1	2	3	4	5	6	7
2011	0	122	0	0	107	0
2012	0	86	0	0	78	0
2013	0	122	0	0	144	0
2014	0	26	0	0	25	0
2015	0	43	0	0	42	0
2016	0	53	0	0	65	0
2017	0	80	0	(0)	(80)	0
2018*	0 (8)	84 (22)	0 (0,36)	–	–	–
2019	0	107	0	(0)	(107)	0
2020	0	34	0	(0)	(34)	0
2021	(0)	(63)	0	0	63	0
2022	0	91	0	(0)	(0)	(0)
Средние	20	96	0,21	30	103	0,29

Примечания. *В 2018 г. снеготаяние закончилось, вся снеговая вода просочилась в почву и сток не сформировался, а затем прошли дожди, и сформировался дождевой сток 8 мм.

В скобках указаны восстановленные показатели на основе связи стока с рыхлой и уплотненной пашней по уравнению $y = a + bx$, где x – сток с рыхлой пашни, мм; y – сток с уплотненной пашни, мм.

Динамика весеннего стока на рыхлой и уплотненной пашне приведена на графике (рис. 1), из которого видно, что склоновый сток очень сильно колебался по годам (от 0 до 186 мм на уплотненной пашне и от 0 до 146 мм на рыхлой) и наблюдается тренд его снижения от 1959 к 2022 г., особенно в последние годы. За 16-летний период (с 1959 по 1974 г.) сток отсутствовал только один год, а максимальная величина его в другие годы достигала 146 мм на зяби и 186 мм на уплотненной пашне; за 23-летний период (с 1975 по 1997 г.) стока не было семь лет, а максимальная величина была соответственно 40 и 50 мм. И за 25-летний период (с 1998 по 2022 г.) он отсутствовал 24 года, а максимальная величина была 46 и 71 мм. Это нельзя идентифицировать с глобальным изменением климата и связывать с периодичностью складывающихся условий формирования стока. Каждый год он формируется при разном сочетании гидрометеорологических условий и сельскохозяйственной деятельности. Отсутствие стока связано со слабым промерзанием почвогрунта или его отсутствием, а также с небольшим увлажнением почвы. Это, в свою очередь, связано с соотношением сроков наступления морозов и установления снежного покрова. Если снежный покров формируется на талой или слабо промерзшей (до 50 см) почве, то сток не формируется. Если снег выпадает на глубоко промерзшую (более 50 см) и сильно увлажненную (более 120 мм) почву, то сток всегда формируется и зависит от снеготаяния и степени увлажнения почвы [Барabanов, 2017].

Значение снеготаяния в создании условий для формирования стока оценивается неоднозначно. Часто объем стока увязывают со снеготаянием, т. е. больше снега, больше сток. Однако прямой зависимости величины стока от снеготаяния нет (см. табл. 1). Например, на зяби (рыхлая пашня) в 1959 г. сток был 108 мм при снеготаянии 146 мм, в 1967 г. 146 мм при таянии 186 мм, а в 1968 и 1981 гг. при очень больших снеготаяниях (162 и 169 мм) стока совсем не было. Из 25 лет с таянием снега свыше 100 мм 11 лет сток не сформировался, а в остальные годы он был средний и очень большой. При снеготаянии меньше 100 мм, варьирующих от 22 до 97 мм, сток отсутствовал 13 лет из 32, три года он был незначительный, а в остальные годы величина его была на среднем уровне. Так, при таянии 70 и 96 мм сформировался сток соответственно 51 и 46 мм, а при таянии 86 и 91 мм его совсем не было. На многолетних травах (уплотненная пашня) в 1959 г. сформировался очень большой сток (106 мм) при таянии 135 мм, а в 1979 г. при таких же таяниях 150 мм величина стока составила 117 мм, а в 2005, 2006, 2009 гг. при таянии 102–115 мм, сток вообще не сформировался. При таянии 91 и 97 мм стока не было, а при таянии 49 мм сток был 44 мм. Корреляционный анализ всего массива данных показал, что зависимость весеннего склонового стока от таяния воды в снегу перед снеготаянием полностью

отсутствует (коэффициент корреляции на рыхлой и уплотненной пашне 0,13 и 0,43). Однако это не значит, что сток формируется вне зависимости от снегозапасов. В среднем величина стока в зимы с большими снегозапасами была в 2,5–3 раза больше, чем с малыми. На рыхлой пашне она была соответственно 30 и 11 мм, а на уплотненной – 45 и 20 мм, т. е. от снегозапасов сток зависит в значительной степени, но в зависимости от промерзания и влажности почвы. Роль снегозапасов надо рассматривать дифференцированно в зависимости от гидрометеорологических условий, которые формируют уровни факторов стока. Гидрометеорологические условия в разные годы складываются по-разному, и роль каждого фактора проявляется также по-разному. Если глубина промерзания небольшая, то от снегозапасов и влажности почвы сток не зависит, а если она большая, то активную роль играют влагозапасы в почве, а снегозапасы пассивную. При этом в почву

просочится столько снеговой воды, сколько свободных пор в верхнем слое, объем которых зависит от степени увлажнения почвы. Излишки талой воды пойдут на сток. При большой глубине промерзания почвы и высокой степени увлажнения, когда все поры заняты водой, в почве образуется ледяной экран, и вся снеговая вода идет на сток.

Многолетние ряды наблюдений позволили рассчитать теоретические и эмпирические кривые вероятности превышения склонового стока (рис. 2) и определить их показатели (табл. 2). На рыхлой пашне сток 10%-й обеспеченности составляет 58 мм, 70%-й обеспеченности – 0 мм, а на уплотненной пашне эти показатели были соответственно 77 и 4 мм. В результате многолетних исследований определены показатели весеннего поверхностного стока на рыхлой и уплотненной пашне, необходимые для разработки системы автоматизированного проектирования противозерозионных комплексов.

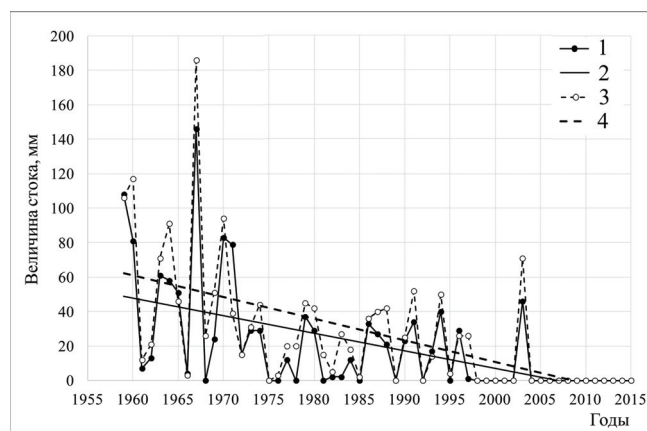


Рис. 1. Динамика весеннего поверхностного стока талых вод с рыхлой (1, 2) и уплотненной (3, 4) пашни

Fig. 1. Dynamics of spring surface runoff of snowmelt water from loose (1, 2) and compacted (3, 4) arable land

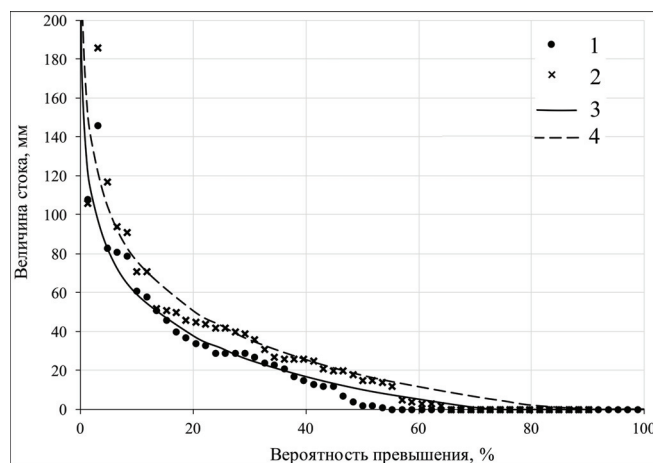


Рис. 2. Кривые вероятности превышения весеннего склонового стока: эмпирические (1 – рыхлая; 2 – уплотненная пашня); теоретические (3 – рыхлая; 4 – уплотненная пашня)

Fig. 2. Probability curves of the excess of slope spring runoff: empirical (1 – loose; 2 – compacted arable land); theoretical (3 – loose; 4 – compacted arable land)

Показатели стока талых вод разной вероятности превышения

Вид пашни	Средние	Вероятность превышения, %							C_v	C_s
		1	5	10	50	70	80	90		
Уплотненная (мн. травы, озимые)	30	151	103	77	19	4	0	0	1,27	1,68
Рыхлая (зябрь)	20	121	80	58	11	0	0	0	1,52	1,96

Примечание. C_v – коэффициент вариации, C_s – коэффициент асимметрии.

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что поверхностный сток в значительной степени колеблется по годам и наблюдается тренд его устойчивого снижения от начала исследуемого периода по настоящее время, а в последние два десятилетия полное отсутствие, что связано в эти годы со слабым промерзанием почвы.

2. Выявлена неоднозначная роль снегозапасов в формировании весеннего склонового стока талых вод. Снегозапасы, сформированные перед весенним снеготаянием, прямого влияния на сток не оказывают, но при определенных условиях от них зависит его величина. Если глубина промерзания небольшая, то от снегозапасов и влажности почвы сток не зависит, а если она большая, то активную роль играют влагозапасы в почве, а снегозапасы пассивную. При этом в почву просочится столько

снеговой воды, сколько свободных пор в верхнем слое (0–30 см), объем которых зависит от степени увлажнения почвы. Излишки талой воды пойдут на сток. При большой глубине промерзания почвы и высокой степени увлажнения, когда все поры заняты водой, в почве образуется ледяной экран и вся снеговая вода идет на сток.

3. Анализ многолетних исследований закономерностей формирования поверхностного стока талых вод за 64-летний период, построение теоретических и эмпирических кривых вероятности превышения стока позволили оценить его уровень и получить показатели весеннего склонового стока на рыхлой и уплотненной пашне, необходимые для разработки и проектирования на расчетной основе систем противоэрозионных мероприятий.

Благодарность. Работа выполнена в рамках государственного задания № FNFE-2022-0012 «Теоретические основы эрозионно-гидрологического процесса на водосборных бассейнах, концептуальные направления, пути и принципы создания высокоэффективных экологических систем управления этим процессом с целью полного предотвращения эрозии почв» (№ госрегистрации 122020100428-8). Финансирование Министерством науки и высшего образования РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Фролова Н.П., Антонова М.М., Игнанин М.И. Оценка влияния изменений климата на водный режим и сток рек бассейна Волги // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3–12.
- Барabanов А.Т., Петелько А.И., Кочкарь М.М., Богачева О.В. Оценка стока талых вод на серых лесных почвах юга Нечерноземья // Актуальные инновационные разработки по оптимизации агроландшафтов в условиях рыночных отношений: сб. науч. тр. НВ НИИСХ. 2004. С. 44–47.
- Барabanов А.Т., Петелько А.И., Левшин А.О., Богачева О.В. Влияние стокорегулирующих лесополос разной конструкции на снегоотложение и промерзание серых лесных почв Орловской области // Роль и место агролесомелиорации в современном обществе: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Всероссийского научно-исследовательского института агролесомелиорации. Волгоград, 2006. С. 41–46.
- Барabanов А.Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 188 с.
- Барabanов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2018. № 1. С. 62–69.
- Варенцова Н.А., Киреева М.Б., Фролова Н.Л., Харламов М.А., Илич В.П., Сазонов А.А. Прогноз притока воды к Цимлянскому водохранилищу в период половодья в современных климатических условиях: проблемы и воспроизводимость // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 6. С. 694–709. DOI: 10.31857/50321059620060152.
- Гаршинев Е.А. Эрозионно-гидрологический процесс и мелиорация. Теория и модели. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2002. 220 с.

- Грин А.М. Динамика водного баланса на примере Центрально-черноземного района // Водный баланс СССР и его преобразование. М., 1969. С. 179–192.
- Калюжный И.Л., Лавров С.А. Механизм влияния глубины промерзания почв речных бассейнов на зимний сток // Водные ресурсы. 2017. № 4. С. 442–451.
- Комиссаров М.А., Габбасова И.М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // Почвоведение. 2014. № 6. С. 734–743.
- Кочетов И.С. Агроландшафтное земледелие и эрозия почв в Центральном Нечерноземье. М.: Колос, 1999. 224 с.
- Кузнецов М.С., Демидов В.В., Окулик Е.В. Глобальные изменения климата и их влияние на процессы водной эрозии почв // Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 2008. С. 539–544.
- Кулик К.Н., Панов В.И., Барабанов А.Т. Лесомелиорация во влагоберегающем кластерно-синергетическом агроприродопользовании в степном субрегионе // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2014. № 2(19). С. 18–20.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Барабанов А.Т., Петелько А.И., Новиков Н.Е., Кулик А.В., Выпова А.В. Агроресомелиоративный эталон защиты почв от эрозии. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. 52 с.
- Кумани М.В., Шульгина Д.В., Киселев В.В. Многолетняя динамика основных элементов стока рек в пределах Центрального Черноземья // Региональные геосистемы. 2021. № 4. С. 617–631.
- Мухин В.М. Методы прогнозирования притока воды в водохранилища за период весеннего половодья // Труды Гидрометцентра России. Вып. 351: Гидрометеорологические прогнозы. 2014. С. 108–140.
- Петелько А.И. Агроресомелиорация в адаптивно-ландшафтном земледелии в лесостепи Центрального Нечерноземья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Волгоград, 2012. 39 с.
- Сурмач Г.П. Методика изучения водорегулирующей и противозерозионной эффективности лесных полос и агротехнических приемов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 1967. 39 с.
- Сурмач Г.П. Водная эрозия и борьба с ней. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 254 с.
- Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П. Оценка глубины промерзания черноземов на юге Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2018. № 2. С. 90–96.
- Шеннель П.А. Специальный весенний попуск паводковых вод Волги. Волгоград: Нижневолжское кн. изд-во, 1990. 191 с.
- Pimentel D., Burgess M. Soil erosion threatens food production, *Agriculture*, 2013, no. 3(3), p. 443–463.
- Starkloff T. *Winter Hydrology and Soil Erosion Processes in an Agricultural Catchment in Norway*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2017, DOI: 10.18174/425126.
- Sharratt B.S., Lindstrom M.J., Benoit G.R., Young R.A., Wilts A. Runoff and soil erosion during spring thaw in the northern US Corn Belt, *J. Soil Water Conserv.*, 2000, no. 55, p. 487–494.

Поступила в редакцию 07.09.2022

После доработки 16.12.2022

Принята к публикации 22.02.2023

FACTORS OF SLOPE SPRING RUNOFF ON GRAY FOREST SOILS IN THE CENTRAL FOREST-STEPPE

A.T. Barabanov¹, A.I. Petelko²

¹ Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Science, Laboratory for Soil Erosion Control, Head of the Laboratory, D.Sc. in Agriculture; e-mail: a.barabanov2011@yandex.ru

² Novosilskaya zonal agroforestry and reclamation experimental station named after A.S. Kozmenko, a branch of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Science, Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Agriculture; e-mail: zaglos@mail.ru

The results of long-term studies of several generations of scientists at the Novosilskaya zonal agroforestry and reclamation experimental station named after A.S. Kozmenko (a branch of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences), initiated by Professor G.P. Surmach, were summarized and analyzed. The task was to assess the nature of the spring slope runoff formation and show the role of natural factors and agricultural activities. The methodological basis of the research was the method of runoff sites. As a result of a long (64 year long) study, a number of important dependencies and features of the runoff formation under different natural and climatic conditions were identified, as well as the influence of natural factors and agricultural activities on it (structure of sown areas, cultivation history, tillage methods, etc.). Scientific materials on the elements of the spring water balance give an idea of their patterns. It has been established that only three natural factors out of a large number of them have a significant impact on the slope spring runoff, i. e. the depth of soil freezing, snow reserves and humidity of the upper soil layer (down to 30 cm). Other factors almost do not affect the amount of runoff and they could be ignored in the process of calculation. The limiting levels of these three factors have been established, under which no runoff is formed. During 64 years of study,

runoff was absent for 33 years, ranging from 1 to 146 mm in other years. Among anthropogenic factors, tillage methods and the state of agricultural backgrounds have a profound influence. The runoff regulatory importance of finching and the runoff forming role of perennial grasses and winter crops are discussed. On average, runoff from compacted arable land was 10 mm higher compared to loose chick; in some years the difference was significantly greater. The results of the study are necessary for the design of erosion-control adaptive landscape farming system.

Keywords: surface runoff, chick, soil freezing depth, water reserves in snow, soil moisture, water balance elements

Acknowledgements. The work was carried out within the framework of the state task no. FNFE-2022-0012 “Theoretical foundations of the erosion-hydrological process in catchment basins, conceptual directions, ways and principles of creating highly efficient eco-friendly management systems for the process in order to completely prevent soil erosion” (State Registration no. 122020100428-8) financed by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

REFERENCES

- Alekseevskii N.I., Frolova N.P., Antonova M.M., Igonina M.I. Otsenka vliyaniya izmenenii klimata na vodnyi rezhim i stok rek basseina Volgi [Assessment of the impact of climate change on the water regime and river flow in the Volga basin], *Voda: khimiya i ekhologiya*, 2013, no. 4, p. 3–12. (In Russian)
- Barabanov A.T. *Ehrozionno-gidrologicheskaya otsenka vzaimodeistviya prirodnykh i antropogen-nykh faktorov formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod i adaptivno-landshaftnoe zemledelie* [Erosion-hydrological assessment of the interaction of natural and anthropogenic factors of the formation of surface runoff of snowmelt water and adaptive landscape agriculture], Volgograd, Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences Publ., 2017, 188 p. (In Russian)
- Barabanov A.T., Petel'ko A.I., Kochkar' M.M., Bogacheva O.V. [Assessment of snowmelt water runoff on gray forest soils in the south of the Non-Chernozem region], *Aktualnye innovatsionnye razrabotki po optimizatsii agrolandshaftov v usloviyakh rynochnykh otnoshenij* [Actual innovations for the optimization of agrolandscapes under market relations], Volgograd, 2004, p. 44–47. (In Russian)
- Barabanov A.T., Petel'ko A.I., Levshin A.O., Bogacheva O.V. [Influence of runoff-regulating forest belts of different designs on snow deposition and freezing of gray forest soils in the Orel oblast], *Rol' i mesto agrolesomeliorsatsii v sovremennom obshchestve*, materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 75-letiyu Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta agrolesomeliorsatsii [The role and place of agroforestry in modern society, Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 75th anniversary of the All-Russian Research Institute of Agroforestry], Volgograd, 2006, p. 41–46. (In Russian)
- Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petel'ko A.I. Poverkhnostnyi stok i infil'tratsiya v pochvu talykh vod v lesostepnoi i stepnoi zonakh Vostochno-Evropeiskoi ravniny [Surface runoff and infiltration of meltwater into the soil within the forest-steppe and steppe zones of the East European Plain], *Pochvovedenie*, 2018, no. 1, p. 62–69. (In Russian)
- Garshinev E.A. *Ehrozionno-gidrologicheskii protsess i melioratsiya. Teoriya i modeli* [Erosion-hydrological process and land reclamation. Theory and models], Volgograd, VNIALMI Volgograd, 2002, 220 p. (In Russian)
- Grin A.M. [Dynamics of water balance on the example of the Central Chernozem region], *Vodnyi balans SSSR i ego transformatsiya* [Water balance of the USSR and its transformation], Moscow, 1969, p. 179–192. (In Russian)
- Kalyuzhnyi I.L., Lavrov S.A. Mechanism of the influence of soil freezing depth on winter runoff, *Water Resources*, 2017, no. 4, p. 604–613.
- Kochetov I.S. *Agrolandshaftnoe zemledelie i ehroziya pochv v Tsentral'nom Nechernozem'e* [Agrolandscape agriculture and soil erosion in the Central Non-Chernozem region], Moscow, Kolos Publ., 1999, 224 p. (In Russian)
- Komissarov M.A., Gabbasova I.M. Eroziya pochv pri snegotayanii na pologikh sklonakh v yuzhnom Predural'e [Soil erosion during snow melting on gentle slopes in the southern Urals], *Pochvovedenie*, 2014, no. 6, p. 734–743. (In Russian)
- Kulik K.N., Panov V.I., Barabanov A.T. Lesomeliorsatsiya vo vlagosberegayushchem klasterno-sinergeticheskom agroprirodopol'zovanii v stepnom subregione [Forest reclamation in moisture-saving cluster-synergetic agrolandscape management within the steppe subregion], *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa*, 2014, no. 2(19), p. 18–20. (In Russian)
- Kulik K.N., Rulev A.S., Barabanov A.T., Petel'ko A.I., Novikov N.E., Kulik A.V., Vypova A.V. *Agrolesomeliorsativnyi etalon zaschity pochv ot erozii* [Agroforestry standard of soil erosion control], Volgograd, Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences Publ., 2018, 52 p. (In Russian)
- Kumani M.V., Shul'gina D.V., Kiselev V.V. Mnogoletnyaya dinamika osnovnykh ehlementov 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, no. 4, p. 617–631. (In Russian)
- Kuznetsov M.S., Demidov V.V., Okulik E.V. [Global climate change and its impact on the processes of water erosion of soils], *Intensifikatsiya, resursosberezhenie i ohrana pochv v adaptivno-landshaftnykh sistemakh zemledeliya*, sb. dokladov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Intensification, resource conservation and soil protection in adaptive-landscape cropping systems, Sat. reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference], Kursk, 2008, p. 539–544. (In Russian)
- Mukhin V.M. Metody prognozirovaniya pritoka vody v vodokhranilishcha za period vesennego polovod'ya [Methods

- of the reservoir's river spring-flood inflow prediction], *Trudy Gidromettsentra Rossii*, vyp. 351, *Gidrometeorologicheskie prognozy*, 2014, p. 108–140. (In Russian)
- Petel'ko A.I. *Agrolesomeliatsiya v adaptivno-landshaftnom zemledelii v lesostepi Tsen-tral'nogo Nechernozem'ya, avtoref. dis. ... doktora s.-kh. nauk* [Agroforestry in adaptive landscape agriculture within the forest-steppe of the Central Non-Chernozem region], Volgograd, 2012, 39 p. (In Russian)
- Pimentel D., Burgess M. Soil erosion threatens food production, *Agriculture*, 2013, no. 3(3), p. 443–463.
- Sharratt B.S., Lindstrom M.J., Benoit G.R., Young R.A., Wilts A. Runoff and soil erosion during spring thaw in the northern US Corn Belt, *J. Soil Water Conserv.*, 2000, no. 5, p. 487–494.
- Sheppel P.A. *Spetsial'nyi vesennii popusk pavodkovykh vod Volgi* [Special spring release of flood waters of the Volga River], Volgograd, Nizhne-Volzhskoe publishing house, 1990, 191 p. (In Russian)
- Starkloff T. *Winter Hydrology and Soil Erosion Processes in an Agricultural Catchment in Norway*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands, 2017, DOI: 10.18174/425126.
- Surmach G.P. *Metodika izucheniya vodoreguliruyuschei i protivooerozionnoi effektivnosti lesnykh polos i agrotekhnicheskikh priemov* [Methodology for studying the water-regulating and anti-erosion efficiency of forest belts and agrotechnical techniques], Volgograd, VNIALMI Publ., 1967, 39 p. (In Russian)
- Surmach G.P. *Vodnaya ehroziya i bor'ba s nei* [Water erosion and its control], Leningrad Gidrometeoizdat Publ., 1976, 254 p. (In Russian)
- Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P. Otsenka glubiny promerzaniya chernozemov na yuge Zapadnoi Sibiri [Assessment of chernozem freezing depth in the south of Western Siberia], *Meteorologiya i gidrologiya*, 2018, no. 2, p. 90–96. (In Russian)
- Varentsova N.A., Kireeva M.B., Frolova N.L., Kharlamova M.A., Ilich V.P., Sazonov A.A. Forecasting water inflow into the Tsimlyansk reservoir during spring flood under current climate conditions: problems and reproducibility, *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 953–967.

Received 07.09.2022

Revised 16.12.2022

Accepted 22.02.2023

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА НА ПОКАЗАТЕЛИ ФИТОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

И.В. Ковалева¹, В.В. Суслин²

¹ Севастополь, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского» РАН, отдел экологической физиологии водорослей, науч. сотр., канд. биол. наук; e-mail: ila.82@mail.ru

² Севастополь, Морской гидрофизический институт РАН, отдел динамики океанических процессов, зав. отделом, вед. науч. сотр., канд. физ.-мат. наук; e-mail: slava.suslin@mhi-ras.ru

Исследована совместная динамика показателей черноморского фитопланктона (первичная продукция, удельная скорость роста, биомасса) и количества выпадений атмосферных осадков за период с 1998 по 2015 г. в прибрежных районах и открытом побережье северной части Черного моря. Для анализа использовались спутниковые данные (SG) (GPCPMON) GPCP Версии 3.2, TRMM TMPA (3B42RT), а также SeaWiFS с 1998 по 2010 г., MODIS-Aqua с 2002 по 2015 г. и MODIS-Terra с 2000 по 2015 г. Показатели фитопланктона рассчитывались по ранее разработанным нами моделям. Оценивались среднемесячные значения всех рассмотренных величин, двухнедельные и ежесуточные значения для атмосферных осадков. В результате исследований выявлено, что на обширных акваториях за длительные интервалы времени роль атмосферных выпадений в изменчивости характеристик фитопланктона не значительна, и ей можно пренебречь. Она возрастает в отдельных случаях до 30% в шельфовых районах при наличии стока крупных рек. Также отмечено более заметное влияние атмосферных осадков на биологическую продуктивность фитопланктона на малых, ограниченных, акваториях за короткие временные интервалы. По нашим данным за 18-летний период для открытого побережья Черного моря зимой наблюдалась более заметная корреляция между удельной скоростью роста и осадками, чем в другие сезоны. Для биомассы и первичной продукции сезонная связь с атмосферными осадками менее выражена. Из трех исследуемых показателей фитопланктона удельная скорость роста более других коррелировала с количеством выпавших осадков. Для трех районов повышение количества атмосферных осадков относительно предыдущего уровня со среднемесячными величинами от 0,6 мм/сут приводили к повышению удельной скорости роста или поддержанию ее на том же уровне. Возрастание удельной скорости роста происходило не одинаково и не пропорционально атмосферным выпадениям. Это свидетельствует о влиянии множества факторов на показатели фитопланктона, однако, осадки могут оказывать дополнительно стимулирующую роль.

Ключевые слова: первичная продукция, удельная скорость роста, биомасса, модельные расчеты, спутниковые наблюдения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.3

ВВЕДЕНИЕ

Процессы, протекающие в морской системе, создают условия для круговорота соединений азота, фосфора и кремния в море. Кроме того, поступление биогенных веществ может происходить с береговым стоком, в результате антропогенного воздействия, а также из атмосферы. Вопрос влияния атмосферных осадков на водные экосистемы рассматривался в ряде работ [Guerzoni et al., 1999; Burlakova et al., 2003; Шадрин и др., 2004; De Fommervault et al., 2015; Вареник и др., 2016; Medinets, Medinets, 2012; Миничева и др., 2018; Вареник и др., 2019]. Оценивалось поступление питательных веществ из атмосферы в море и их вклад в первичную продукцию фитопланктона [Guerzoni et al., 1999; De Fommervault et al., 2015; Вареник и др., 2016]. Роль атмосферных осадков не велика по сравнению с конвективными потоками в водной

толще, а также поверхностным стоком, но считается, что их влияние растёт от прибрежной области к глубоководной [Guerzoni et al., 1999; Вареник и др., 2016]. Однако исследований по этому вопросу недостаточно, в особенности отражающих связь с биологическими показателями. Также сложно сказать в каких масштабах влияние осадков на водную экосистему и биологическую продуктивность более заметно. Путем отбора проб и прямых измерений оценки были бы более точны на локальных участках, но трудоемки и недостаточно точны при распространении на обширные акватории. Модельные оценки и данные спутниковых наблюдений имеют свои допущения, но могли бы дать ответы касательно вариаций исследуемых показателей на больших пространствах морской поверхности. Однако, проведено мало исследований как первым, так и вторым способом.

Кроме влияния атмосферных осадков на первичную продукцию, оценки изменчивости других показателей фитопланктона, которые могут давать отклик на поступление питательных веществ из атмосферы, в Черном море не проводились. Например, кроме первичной продукции представляют интерес такие характеристики, как биомасса и удельная скорость роста. В работе [Finenko et al., 2019] отмечалось, что оценка этих величин могла бы расширить возможности для анализа циклов биогенных элементов. Биомассу фитопланктона можно определять в единицах органического углерода или азота. Удельная скорость роста водорослей чувствительна к изменению внешних факторов, зависит от питательного состава среды, удельного содержания хлорофилла *a* в клетках, от размера клеток и видового состава [Marañón, 2015; Стельмах, Мансурова, 2017]. На видовое разнообразие влияет изменчивость питательной среды в естественных условиях, что, соответственно, будет отражаться на удельной скорости роста фитопланктона. Совместная оценка указанных характеристик помогла бы выявить роль атмосферных осадков в вариабельности различных биологических показателей и процессы, протекающие в экосистеме под влиянием атмосферных осадков.

Шельфовая зона Черного моря используются в хозяйственных, рекреационных и прочих целях, что делает особенно важным исследование этих районов. Кроме того, на биологическую продуктивность шельфовой зоны оказывает влияние береговой сток и наличие рек. Под воздействием атмосферных осадков сток будет усиливаться, и соответственно увеличиваться поступление биогенных веществ. Разделить эти два фактора в прибрежных районах довольно сложно, так как они воздействуют в комплексе. Соответственно, здесь влияние атмосферных осадков будет больше, чем в акваториях, отдаленных от берега. Наша задача – оценить общий вклад осадков и стока во время дождя на характеристики фитопланктона в шельфовой зоне.

Цель данного исследования – провести совместную оценку и анализ изменчивости атмосферных осадков, первичной продукции, биомассы и удельной скорости роста фитопланктона по многолетним спутниковым данным и модельным расчетам.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные по атмосферным осадкам, полученные со спутникового датчика (SG) (GPCPMON) GPCP версии 3.2 пакет GPCPV3, состояли из ежемесячных и ежесуточных продуктов с пространственным разрешением $0,5 \times 0,5^\circ$, осредненных за месяц (в мм/сут). Рассматривался период с 1998 по 2015 г. Входные данные состояли из файлов орбиты GPROF SSMI/SSMIS, которые используются для калибров-

ки осадков на основе ИК-излучения PERSIANN-CDR в диапазоне 60° с. ш. и, в свою очередь, калибруются с учетом месячного 2,5-градусного продукта METH. Оценки PERSIANN-CDR/TOVS/AIRS затем объединялись в области $35\text{--}58^\circ$ с. ш. и совмещались с анализом GPCC по наземным измерениям для получения конечного продукта [GPCP Version 3.2..., 2022].

Для анализа показателей черноморского фитопланктона использовались спутниковые данные [SeaWiFS..., 2019]. Измерения спутниковым сканером SeaWiFS проводились с 1998 по 2010 г. (R2018), приборами MODIS-Aqua – с 2002 по 2015 г. (R2018) и MODIS-Terra – с 2000 по 2015 г. (R2018). Спутниковые наблюдения осреднялись за месяц по ежесуточным данным за 18-летний период, полученные с наиболее точной коррекцией. Пространственное разрешение составляло ~ 1 км в надире. Данные второго уровня включали время измерения, географическую привязку и ряд стандартных продуктов в физических единицах: спектр коэффициента яркости моря; концентрацию хлорофилла, рассчитанную на основе алгоритма, разработанного в Морском гидрофизическом институте (для SeaWiFS и MODIS) [Suslin et al., 2016]. По результатам статистического анализа, алгоритм восстановления концентрации хлорофилла *a* по данным спутниковых измерений в видимом диапазоне спектра на основе доступных измерений *in situ* за период с 1997 по 2015 г. дает относительную ошибку ($\sim 30\text{--}40\%$) [Суслин и др., 2018]. Используемые коэффициенты яркости моря на трех длинах волн 490, 510 и 555 нм для SeaWiFS и 488, 531 и 548 нм для MODIS учитывают изменение поглощения окрашенного растворенного вещества и слабо чувствительны к ошибкам атмосферной коррекции и обратному рассеянию света взвесью [Suslin et al., 2016]. Модель МГИ [Suslin et al., 2016] позволяет лучше учитывать цветение диатомовых водорослей в весенний период.

Температура в поверхностном слое для 1998–1999 гг. получена из спутниковых наблюдений [SeaWiFS, 2019], для 2000–2015 гг. – MODIS-Aqua/Terra, интенсивность ФАР в диапазоне 400–700 нм [MODIS-Aqua..., 2019].

Для расчета первичной продукции фитопланктона, а также биомассы и удельной скорости роста использовались модели, подробно описанные в работах [Финенко и др., 2018; Finenko et al., 2019]. Чистая суточная продукция фитопланктона ($\text{мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$) определялась как

$$P = X_{l_0} \cdot P_m \cdot \text{th} \left(\frac{\alpha^B \cdot E_0}{P_m} \right), \quad (1)$$

где X_{l_0} – концентрация хлорофилла в поверхностном слое, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$; P_m – максимальная скорость фото-

синтеза, нормированная на единицу хлорофилла, $\text{мгС} \cdot \text{мгХл}^{-1} \cdot \text{сут}^{-1}$; α^B – тангенс угла наклона кривой фотосинтез–свет, нормированный на концентрацию хлорофилла, $\text{мгС} \cdot \text{мгХл}^{-1} \cdot \text{моль квантов}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; E_0 – фотосинтетически активная радиация (ФАР), моль квантов $\cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$.

$$P_m = \alpha^B \cdot E_k \quad (2)$$

где E_k – начало светового насыщения фотосинтеза, моль квантов $\cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$. По экспериментальным данным, полученным в поверхностном слое Черного моря для температуры 6,5–23°C [Finenko et al., 2002], E_k равно:

$$E_k = c \cdot \exp(b \cdot T) \cdot s \cdot DL, \quad (3)$$

где T – температура, °C; DL – продолжительность дня, ч; c и b – коэффициенты, полученные экспериментально: $c = 17,4$, $b = 0,066$. Для данного уравнения $r^2 = 0,7$.

Тангенс угла наклона кривой фотосинтез–свет, нормированный на концентрацию хлорофилла, определялся как

$$\alpha^B = w \cdot \frac{X_{\text{Л}}^v}{s}, \quad (4)$$

где коэффициенты w и v получены экспериментально: $w = 0,11$, $v = 0,29$. Коэффициент детерминации – $r^2 = 0,95$.

Биомасса фитопланктона в единицах органического углерода ($\text{мгС} \cdot \text{м}^{-3}$) рассчитана как [Финенко и др., 2018]:

$$B = \frac{X_{\text{Л}}}{X_{\text{Л}} : C}, \quad (5)$$

где $(X_{\text{Л}} : C)$ – величина отношения хлорофилл – органический углерод в водорослях (для уравнения (4) $r^2 = 0,78$).

Если весь органический углерод, образованный в процессе фотосинтеза, используется на рост водорослей, то B_T можно определить как

$$B_T = B + P. \quad (6)$$

Значения удельной скорости роста (m , сут^{-1}) рассчитывается как

$$m = \log_2 \left(\frac{B_T}{B} \right). \quad (7)$$

Статистическая обработка данных осуществлялась в пакетах программ Sigma Plot 12.5, Grapher, Excel. Проводился регрессионный анализ.

Указанные характеристики анализировались для районов, представленных на карте (рис. 1).

Для дополнительной оценки связи атмосферных осадков и удельной скорости роста в 2010 г. проводилось осреднение удельной скорости роста за двухнедельный период для квадратов

2,5×3,5 км вблизи Крымского побережья на участке от 33,055° в. д. 44,299° с. ш. до 35,400° в. д. 44,450° с. ш. По пространству для выбранного участка данные не осреднялись с целью выявления вклада атмосферных осадков на незначительных масштабах акватории. Для диапазона этих же координат по спутниковым данным выделялись квадраты 0,25×0,25° и определялось количество осадков (мм/день) по ежесуточным данным, которое осреднялось за двухнедельный период. Суточные данные накопления осадков создавались на основе трехчасового мультиспутникового анализа осадков TRMM TMPA (3B42RT) в режиме реального времени и взяты с сайта [EarthData, TRMM (TMPA-RT), дата обращения 20.02.2022].

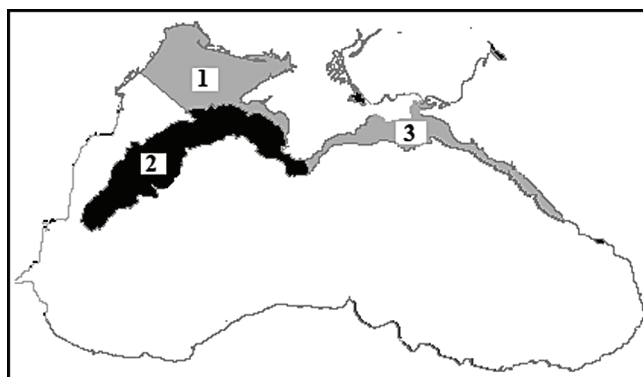


Рис. 1. Карта исследуемых районов:

- 1 – Приднепровский район северо-западного шельфа;
2 – область свала глубин от 50 и 500 м; 3 – область Кавказского и Крымского побережий

Fig. 1. Map of the studied area:

- 1 – the Dnieper region of the northwestern shelf; 2 – the drop-off area from 50 and 500 m; 3 – the region of the Caucasian and Crimean coasts

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для анализа влияния атмосферных осадков на физиологические показатели фитопланктона нами были выбраны шельфовые районы, имеющие различные гидрологические особенности, связанные с глубиной, речным стоком и течениями. Также рассматривался район свала глубин (см. рис. 1). При анализе мы исходили из того, что вклад в изменчивость характеристик фитопланктона будет комплексным от атмосферных осадков и берегового стока во время дождей. Поэтому роль осадков в прибрежной зоне более заметна, чем в глубоководной. В выделенный район 1 впадают крупные реки Днепр и Буг. Область свала глубин 2 подвержена влиянию стока рек, хоть и в меньшей степени, чем область 1. Для района 3 характерно отсутствие крупных рек, близость

глубоководной зоны, относительно узкая область основного черноморского течения и довольно быстрая его скорость [Иванов, Белокопытов, 2011]. Из-за возможного возрастания погрешности ближе к берегу наши модельные расчеты параметров фитопланктона проводились с использованием данных спутниковых наблюдений для акватории с границей на расстоянии от берега ~4 км, что может влиять на снижение роли поверхностного стока в районе 3. Поэтому изменчивость параметров фитопланктона в районе 3 более, чем в других рассматриваемых районах, близка к вариациям в глубоководной зоне [Finenko et al., 2019; 2022], тогда как поверхностный сток во время дождей может вносить свой вклад в непосредственной близости от берега. Сезонные среднемесячные изменения исследуемых показателей за 18 лет представлены на рисунке 2.

Сезонная динамика первичной продукции, биомассы фитопланктона и удельной скорости

роста имеют некоторые отличия в годовом цикле, но у всех трех показателей можно отметить в большинстве лет менее или более выраженный зимний максимум (см. рис. 2). Первичная продукция и биомасса фитопланктона в районах 2 и 3 имеют сходную сезонную динамику с характерным максимумом в зимне-весенний период и меньшим нерегулярным в летний. Межгодовая динамика в этих районах также имеет сходный характер. В районе 1 наоборот летний максимум более отчетлив. Сезонная вариабельность удельной скорости роста в приднепровском районе и области свала глубин имеет регулярный летний максимум и несколько меньший зимний или весенний. В районе 3 девять лет из восемнадцати наблюдался наиболее выраженный зимний максимум, обусловленный развитием диатомовых водорослей в холодный период, как и в глубоководной области [Финенко, Крупаткина, 1993; Стельмах, 2017; Микаэлян, 2018].

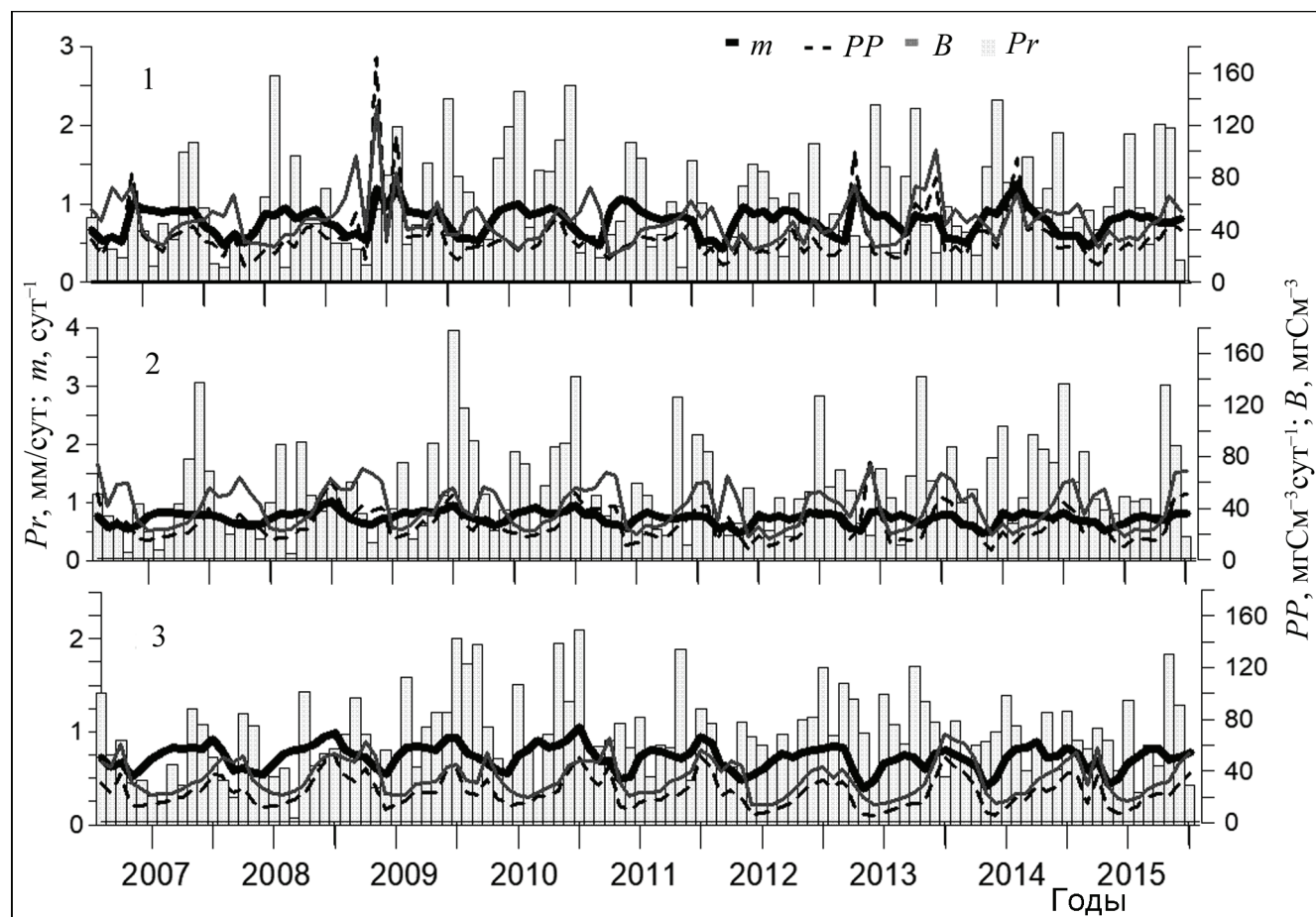


Рис. 2. Сезонные изменения атмосферных осадков, удельной скорости роста, биомассы и первичной продукции фитопланктона в Черном море в северной части шельфа в трех районах: m – удельная скорость роста, сут^{-1} ; PP – первичная продукция, $\text{мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$; B – биомасса, $\text{мгС} \cdot \text{м}^{-3}$; Pr – атмосферные осадки, мм/сут

Fig. 2. Seasonal changes in atmospheric precipitation, specific growth rate, biomass and primary production of phytoplankton in the northern part of the Black Sea shelf in three areas: m – specific growth rate, day^{-1} ; PP – primary production, $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$; B – biomass, $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-3}$; Pr – precipitation, mm/day

Сезонная изменчивость атмосферных осадков не циклична, как у физиологических параметров, хотя в рассматриваемых регионах в зимний сезон выпадение осадков происходит чаще и их среднемесячные значения выше, чем в другие сезоны в большинстве лет (см. рис. 2). Возможно поэтому в трех районах по результатам регрессионного анализа среднемесячных данных по сезонам наиболее заметная положительная связь (от 5 до 30%) между атмосферными осадками и удельной скоростью роста фитопланктона наблюдалась зимой. В меньшей мере это отмечено для биомассы и первичной продукции. В остальные сезоны связь не была выражена. Для первичной продукции и биомассы фитопланктона и менее для удельной скорости роста в районах 1 и 2 слабая корреляционная связь наблюдалась для лета (3–16%), однако полученные зависимости не значимы статистически. Предполагаемого повышения роли осадков для развития фитопланктонного сообщества в летний период из-за стратификации водной толщи [Вареник и др., 2016] по среднемесячным данным на относительно больших акваториях не выявлено.

По результатам сравнительного и регрессионного анализа многолетней динамики указанных характеристик выраженной связи между атмосферными осадками и показателями фитопланктона не отмечено. Коэффициенты детерминации для трех районов за 18 лет по осредненным данным не превышали $r^2 = 0,2$.

Согласно исследованиям [Вареник и др., 2016], по данным, полученным в районе Южного берега Крыма (пгт Кацивели, Черноморский гидрофизический полигон), указано, что благодаря поступлению биогенных веществ из атмосферы увеличение первичной продукции в Черном море возможно до 2,5%. Авторами предполагалось, что все вещества, поступившие в море, пойдут на прирост первичной продукции. Оценка велась по соотношению Редфилда. Однако, даже в этом случае величина слишком мала по сравнению с другими факторами, влияющими на биологическую систему в Черном море. По другим данным [Burlakova et al., 2003; Guerzoni et al., 1999] для Черного и Средиземного морей предполагалось, что атмосферные осадки обеспечивают прирост первичной продукции более чем на 25%, а в олиготрофных водах их вклад достигает 60% [Guerzoni et al., 1999]. По нашим оценкам, для рассмотренных регионов Черного моря эта величина гораздо меньше и сопоставима с вкладом, указанным в работе [Вареник и др., 2016].

Совместный анализ трех физиологических параметров показал, что наиболее заметное влияние выпадение осадков оказывает на величину удельной скорости роста. По среднемесячным данным,

за 18 лет атмосферные осадки и сопутствующий береговой сток во время дождей объясняли изменение удельной скорости роста приблизительно на 20% в районе 1, на 10 и 5% в районах 2 и 3 соответственно. Тогда как для первичной продукции в трех районах по результатам регрессионного анализа вклад осадков составлял 5% и менее, эта величина сопоставима с погрешностью модельных расчетов, поэтому ее сложно оценить достоверно. Биомасса фитопланктона показала еще меньшую согласованность с выпадением атмосферных осадков. Исходя из результатов, наибольшую роль в повышении показателей фитопланктона и в особенности удельной скорости роста играло увеличение прибрежного и речного стока во время дождей. Удельная скорость роста фитопланктонного сообщества – величина относительная, она определяется отношением абсолютной суточной скорости роста к среднесуточной биомассе [Стельмах, 2017]. В то же время этот показатель чувствителен к относительным изменениям в питательной среде и зависит от видового состава водорослей, поэтому он более заметно реагировал на незначительные изменения условий.

Для трех районов из сравнительного анализа динамики удельной скорости роста фитопланктона и осадков, проведенного с помощью статистической обработки в Excel, выявлено, что в 60–80% случаев при среднемесячных значениях свыше 0,6 мм/сут увеличение выпадения атмосферных осадков относительно предыдущего уровня приводило к повышению удельной скорости роста или поддержанию ее в пределах установившихся значений. При этом возрастание количества среднемесячных осадков более 2 мм/сут хоть и сопровождалось приростом показателя, однако к дополнительному повышению удельной скорости роста не приводило. Прирост удельной скорости роста незначителен, но его стоит отметить на фоне многих факторов, влияющих на фитопланктон. Для первичной продукции и биомассы фитопланктона подобный характер изменений просматривался слабо. В исследованиях [Вареник и др., 2016; Beverland et al., 1998] указывалось, что относительная концентрация азота и других питательных веществ в соответствующем объеме атмосферных осадков снижается с увеличением количества выпадающих осадков. По-видимому, это обстоятельство могло отразиться на вариациях удельной скорости роста и повышении ее в ряде случаев с ростом атмосферных осадков по среднемесячным данным от 0,6 мм/сут и отсутствием большего повышения при возрастании осадков более 2 мм/сут (см. рис. 2). Однако этот вопрос требует дополнительных исследований путем прямых измерений.

В результате анализа было выявлено, что в крупных масштабах на больших акваториях по осред-

ненным данным влияние атмосферных осадков в Черном море не существенно и часто сопоставимо с погрешностью модельных расчетов. Для дополнительного анализа в локальных случаях на меньших масштабах и с более высоким пространственным разрешением в 2010 г. проводилась оценка связи атмосферных осадков и удельной скорости роста, которая осреднялась за двухнедельный период. Рассматривались квадраты $2,5 \times 3,5$ км вблизи Крымского побережья на участке от $33,125^\circ$ в. д. $43,375^\circ$ с. ш. до $35,330^\circ$ в. д. $44,375^\circ$ с. ш. (рис. 3). Для диапазона этих же координат для квадратов $0,25 \times 0,25^\circ$ по спутниковым данным определялось количество осадков по ежесуточным данным (мм/день), а также осредненное за двухнедельный период. Осреднение за две недели осуществлялось для удобства иллюстрирования (см. рис. 3). Осреднения по пространству не проводилось. На рисунке 3 представ-

лены для примера некоторые двухнедельные периоды. В других исследованиях [Стельмах, Мансурова, 2017; Миничева и др., 2018] тоже рассматривался 2010 г., который выделялся как необычный по условиям развития фитопланктонного сообщества, что связывалось с более высокими температурами воды по сравнению с другими годами и повышенным количеством атмосферных осадков. В работе [Стельмах, Мансурова, 2017] оценивалась удельная скорость роста фитопланктона по данным, полученным путем прямых измерений в районе Севастопольской бухты. Работа [Стельмах, Мансурова, 2017] позволила нам сопоставить результаты наших расчетов с данными, полученными *in situ*. У авторов [Миничева и др., 2018] проводились оценки климатических факторов и развития фитопланктонного сообщества для прибрежной северо-западной части моря, в том числе Приднестровья.

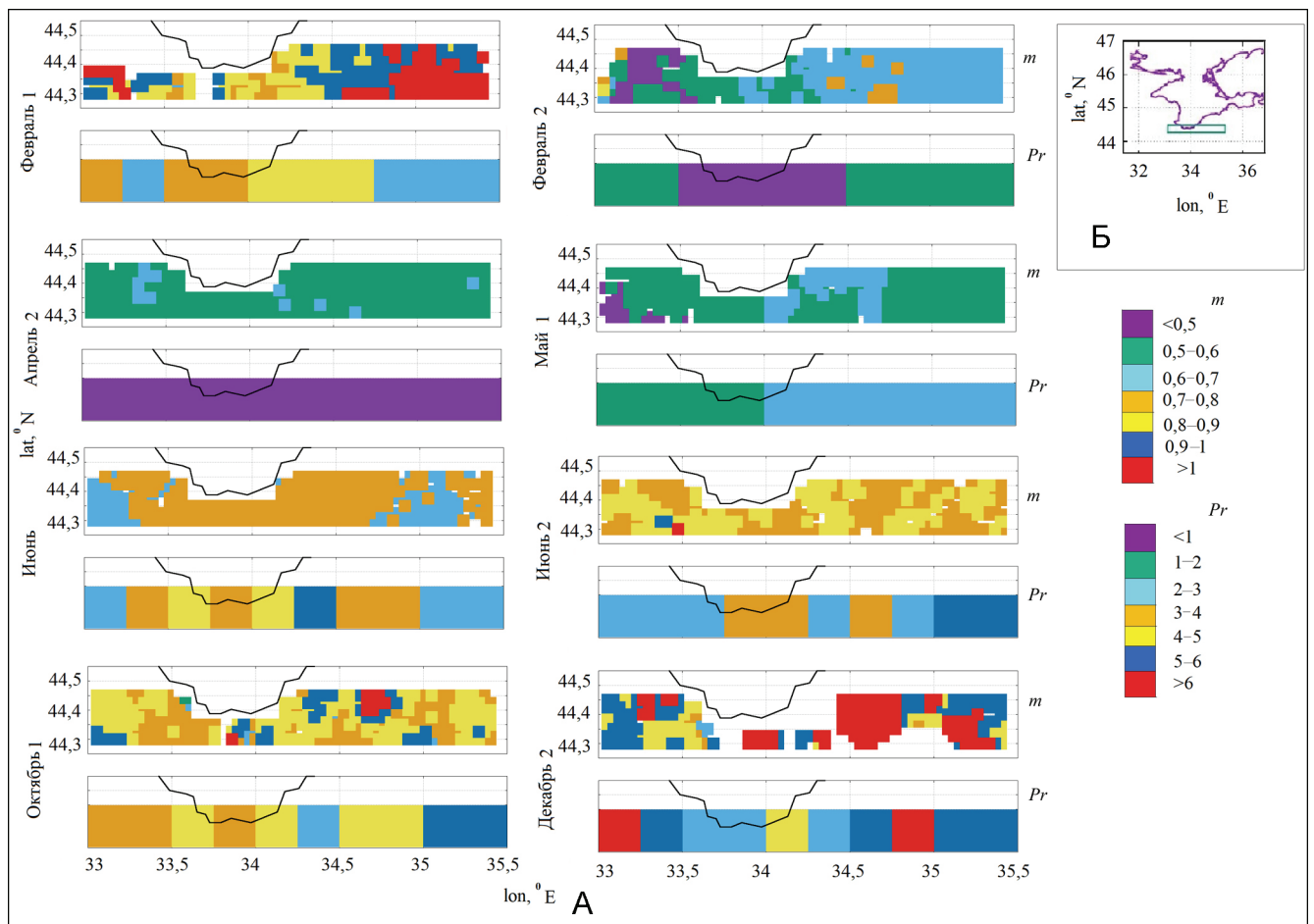


Рис. 3. Двухнедельные изменения удельной скорости роста и атмосферных осадков:

А – регулярные изменения в первой (1) и второй (2) половинах месяца данных удельной скорости роста (m , сут $^{-1}$) (верхняя строка) и количества выпавших осадков (Pr , мм/сут) (нижняя строка) вблизи крымского побережья в 2010 г. в некоторые месяцы; Б – исследуемый район

Fig. 3. Bi-weekly changes of specific growth rate and precipitation:

А – regular changes of specific growth rate (m , day $^{-1}$) (top row) and the amount of precipitation (Pr , mm/day) (bottom line) during first (1) and second (2) half of the month near the Crimean coast for several months of 2010; Б – the study area

По результатам анализа динамики суточных и двухнедельных данных, имевшихся у нас в наличии, для указанных параметров отмечено, что в январе – феврале при увеличении частоты и количества выпадения осадков заметное повышение удельной скорости роста наблюдалось в первой половине февраля. Так, в январе было 16 дней с осадками, в первой половине февраля – 10 дней. Количество осадков в некоторые дни достигало приблизительно 10–25 мм/сут в ряде квадратов анализируемой акватории, а по осредненным за двухнедельный период – 3–5 мм/сут (см. рис. 3). Во второй половине февраля осадки выпадали три дня, и их количество составляло до 10 мм/сут, отмечено и заметное снижение удельной скорости роста. В марте наблюдалась слабая согласованность между выпадением осадков и удельной скоростью роста.

По данным [Стельмах, Мансурова, 2017] в Севастопольской бухте отмечен максимум удельной скорости роста в феврале 2010 г. с величинами 0,6–0,8 сут⁻¹, а на открытом побережье и в марте, что близко к данным, полученным нами. На открытом побережье выделенной нами акватории в первой половине февраля величины удельной скорости роста варьировали от 0,75 до 1,12 сут⁻¹, во второй – от 0,44 до 0,69 сут⁻¹. Во второй половине марта в весеннем максимуме значения варьировали от 0,68–0,83 сут⁻¹. Выявленные максимумы связаны с развитием диатомовых водорослей, преимущественно *Skeletonema Costatum* (Greville) Cleve, 1873 [Стельмах, Мансурова, 2017].

В апреле количество осадков было незначительно, по осредненным двухнедельным величинам в основном не более 1 мм/сут (см. рис. 3). Удельная скорость роста фитопланктона так же постепенно снижалась до первой половины мая, на большей части акватории не превышая 0,6 сут⁻¹. Минимум удельной скорости роста в апреле отмечен и по данным *in situ* для Севастопольской бухты [Стельмах, Мансурова, 2017], который связывают с преобладанием в этот период динофитовых водорослей, слабо развивающихся в условиях невысокой температуры воды.

С 8 мая зафиксировано выпадение осадков до 19 мм/сут, и несколько в меньшем количестве каждый день до 15 мая. Во второй половине мая они практически отсутствовали. Параллельно наблюдалось незначительное увеличение (в 1,03–1,24 раза, в среднем в 1,12 раза) удельной скорости во второй половине мая в 69% рассматриваемых квадратов. На этом повышении отчасти могло отразиться то, что осадки наблюдались ближе к середине месяца и происходило отставание в ответе показателя фитопланктона.

В июне возросло количество осадков, в некоторых квадратах в отдельные дни почти до 50 мм/сут,

а 0 июня – 67 мм/сут (по осредненным двухнедельным значениям до 6 мм/сут). В первой половине месяца отмечено четыре дня, во второй половине – девять дней. Соответственно, отмечен прирост удельной скорости в первой половине июня до $0,71 \pm 0,03$ сут⁻¹ и во второй – до $0,80 \pm 0,02$ сут⁻¹. Июль тоже был относительно влажным. Так, в первые две недели июля при снижении количества осадков относительно июньских значения удельной скорости немного снизились до $0,79 \pm 0,05$ сут⁻¹. Во второй половине июля количество выпавших осадков было больше (от 2 до 30 мм/сут), и наблюдалось возрастание скорости роста фитопланктона в среднем до $0,82 \pm 0,05$ сут⁻¹. В августе количество осадков было менее 1 мм/сут по осредненным двухнедельным данным. Однако удельная скорость роста фитопланктона в первой половине месяца продолжала повышаться по осредненным данным до $0,92 \pm 0,08$ сут⁻¹, варьируя в разных квадратах от 0,86 до 1,27 сут⁻¹. В некоторой степени на этом продолжающемся «цветении» фитопланктона, кроме ряда других факторов, могла отразиться инерция в ответе показателя на выпадение осадков и поступление биогенных веществ в конце июля. Во второй части августа намечалось снижение до $0,85 \pm 0,03$ сут⁻¹ с вариациями в пределах 0,76–0,90 сут⁻¹.

Летние максимумы удельной скорости роста, полученные нами по расчетным данным, также согласуются с данными *in situ* вблизи Севастополя. В течение летнего периода наблюдалось преобладание динофитовых водорослей [Стельмах, Мансурова, 2017]. В то же время севернее исследуемой нами области, по ходу основного черноморского течения, в лиманах северного Причерноморья, с июля наблюдалось массовое «цветение» синезеленых водорослей *Nodularia spumigena* Mertens ex Bornet & Flahault, 1888, вызванное сочетанием высоких температур и обильных осадков, увеличивших речной сток [Миничева и др., 2018]. В июле – августе началось интенсивное «цветение» динофитовых водорослей, а также произошла в целом смена структуры альгосообществ, которая привела к замору гидробионтов [Миничева и др., 2018]. В двух работах [Стельмах, Мансурова, 2017; Миничева и др., 2018] указывалось нетипичное для экосистемы региона интенсивное развитие динофитовых водорослей в 2010 г., чему отчасти поспособствовало интенсивное выпадение осадков. Описанное выше подчеркивает важность оценки атмосферных осадков в прибрежных районах в особенности в локальных зонах вблизи стока крупных рек.

В первой половине сентября выпадение осадков по осредненным данным за две недели составляло 2–3 мм/сут. Во второй половине месяца – <1 мм/сут

в большинстве квадратов. Удельная скорость роста в первые две недели немного повысилась в среднем до $0,86 \pm 0,05 \text{ сут}^{-1}$ с вариациями от 0,77 до $0,95 \text{ сут}^{-1}$. Во второй половине месяца параллельно с малым выпадением осадков величины удельной скорости роста снизились до $0,82 \pm 0,03 \text{ сут}^{-1}$ с крайними значениями от 0,76 до $0,88 \text{ сут}^{-1}$. В октябре было 13 дождливых дней в первой половине месяца с максимальным количеством осадков в различных квадратах от 5 до 42 мм/сут. При этом показатель роста фитопланктона составил $0,81 \pm 0,08 \text{ сут}^{-1}$ с вариациями в квадратах от 0,64 до 1 сут^{-1} (см. рис. 3). Во второй половине месяца отмечалось семь дней с осадками от 4 до 30 мм/сут, удельная скорость роста в среднем возросла до $0,89 \pm 0,07 \text{ сут}^{-1}$ с изменением величин от 0,75 до $1,02 \text{ сут}^{-1}$.

В первой половине ноября осадки отсутствовали, удельная скорость роста снизилась до $0,87 \pm 0,12 \text{ сут}^{-1}$. Область повышенных значений сместилась западнее по направлению основного черноморского течения. Во второй половине ноября количество осадков повысилось по осредненным данным до 5 мм/сут. Удельная скорость возросла до $0,94 \pm 0,11 \text{ сут}^{-1}$.

Обилию осадков в декабре (18 дней) от 3 до 64 мм/сут в различные дни на отдельных участках сопровождалось увеличением удельной скорости роста фитопланктона в среднем до $0,96\text{--}1,13 \text{ сут}^{-1}$ (см. рис. 3). Максимум отмечен во второй половине декабря, величины варьировали от 0,69 до $1,27 \text{ сут}^{-1}$. Этот максимум вызван кроме выпадения осадков рядом факторов: усилением перемешивания водных масс, приводящих к потоку биогенных веществ из глубинных слоев моря, и относительно высокими для этого периода средними температурами воды – $13\text{--}15^\circ$. Можно предположить, что в открытых водах в это время доминировали диатомовые водоросли, характерные для холодного периода, имеющие довольно высокие скорости роста. По результатам исследований в Севастопольской бухте [Стельмах, Мансурова, 2017] в декабре был отмечен минимум, связанный с преобладанием динофитовых водорослей в этом районе. По нашим данным в квадратах с координатами, более близкими к району Севастополя, также отмечены невысокие значения ($0,69 \text{ сут}^{-1}$), вызванные, по видимому, перемешиванием и неоднородностью величин в исследуемой области, в особенности в первой половине месяца (см. рис. 3). Однако численно полученные нами результаты выше, чем в указанной работе. Эта разница может быть связана с отдаленностью исследуемой нами акватории от берега, осреднением данных в квадрате и отсутствием данных в непосредственной близости с берегом и указанной точкой.

ВЫВОДЫ

По результатам анализа, проведенного для 2010 г., в большинстве месяцев можно отметить сходные тенденции в динамике удельной скорости роста фитопланктона и количества выпавших атмосферных осадков. Наблюдения в 2010 г. показывают, что для повышения удельной скорости роста необходимо несколько дней с выпадением осадков от 8 мм/сут вблизи исследуемой акватории, либо 1–2 дня свыше 15 мм/сут, а по осредненным двухнедельным данным от 3 мм/сут для квадратов $0,25 \times 0,25^\circ$. По результатам анализа ежесуточных данных изменения показателей фитопланктона начинались в течение одной-двух недель после выпадения осадков.

Из трех исследуемых показателей (первичная продукция, удельная скорость роста и биомасса фитопланктона) наиболее выраженная связь с динамикой атмосферных осадков выявлена для удельной скорости роста. Это может быть обусловлено тем, что удельная скорость роста величина относительная. По оценкам комплексного влияния среднемесячных осадков и поверхностного стока во время дождей, по осредненным значениям в выделенных акваториях для удельной скорости роста фитопланктона роль атмосферных осадков возрастала до 30% при наличии крупных рек в исследуемом районе. По нашим данным, за 18-летний период для открытого побережья Черного моря для зимнего сезона наблюдалась более заметная корреляция ($r^2 = 0,29$) между удельной скоростью роста и осадками, чем в другие сезоны.

Для трех районов увеличение выпадения количества атмосферных осадков в 60–80% случаев по сравнению с предыдущим уровнем со среднемесячными величинами от 0,6 мм/сут приводило к повышению удельной скорости роста, или поддержанию ее на том же уровне. Увеличение удельной скорости роста в рассмотренных случаях было не пропорциональным атмосферным осадкам. Осадки оказывают незначительное влияние на эколого-физиологические показатели фитопланктона по сравнению с рядом других физических и биологических факторов, но на малых, ограниченных акваториях в короткие отрезки времени их роль возрастает, и они могут оказывать дополнительную стимулирующую роль на изменения характеристик фитопланктона.

По осредненным данным для обширных акваторий открытого побережья и длительных временных интервалов роль атмосферных осадков может быть сопоставима с погрешностью модельных расчетов, и этим вкладом можно пренебречь. В дальнейших исследованиях в этом направлении предпочтительно было бы уделить большее внимание районам с обильным речным стоком, а также анализу связи

количества атмосферных осадков и удельной скорости роста фитопланктона. Актуальным было бы провести исследования путем прямых измерений всех указанных характеристик.

Благодарности. Авторы благодарят д-ра биол. наук, профессора З.З. Финенко за идею работы. Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме № 121041400077-1 «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» и частично в рамках государственного задания по теме FNNN-2021-0003 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением данных дистанционных и контактных измерений» (шифр «Оперативная океанология»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вареник А.В., Калинин Д.В., Мыслина М.А., Хоружий Д.С. Изменение содержания биогенных элементов в поверхностном слое морской воды после выпадения атмосферных осадков / Моря России: фундаментальные и прикладные исследования. Тезисы докладов всероссийской научной конференции. 23–28 сентября 2019 г. Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2019. С. 51.
- Вареник А.В., Козловская О.Н., Симонова Ю.В. Оценка поступления биогенных элементов с атмосферными выпадениями в районе Южного берега Крыма (Кацивели) в 2010–2015 годах // Морской гидрофизический журнал. 2016. № 5. С. 65–75. DOI: 10.22449/0233-7584-2016-5-65-75.
- Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 212 с.
- Микаэлян А.С. Временная динамика фитопланктона глубоководного бассейна Черного моря: дис. ... докт. биол. наук. М., 2018. 266 с.
- Миничева Г.Г., Большаков В.Н., Калашиник Е.С., Зотов А.Б., Маринец А.В. Оценка реакции альгосообществ черноморских экосистем на воздействие климатических факторов // Альгология. 2018. Т. 28. № 2. С. 121–135. DOI: 10.15407/alg28.02.121.
- Стельмах Л.В. Закономерности роста фитопланктона и его потребление микрозоопланктоном в Черном море: дис. ... докт. биол. наук. Севастополь, 2017. 310 с.
- Стельмах Л.В., Мансурова И.М. Унимодалная зависимость скорости роста от объема клеток в культурах черноморских видов микроводорослей // Вопросы современной альгологии. 2017. № 1(13). URL: <http://algology.ru/1101>.
- Суслин В.В., Чурилова Т.Я., Ли М.Е. Мончева С., Финенко З.З. Концентрация хлорофилла *a* в Черном море: Сравнение спутниковых алгоритмов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2018. Т. 11. № 3. С. 64–72. DOI: 10.7868/S2073667318030085.
- Финенко З.З., Ковалева И.В., Суслин В.В. Новый подход к оценке биомассы фитопланктона и ее вариабельности в поверхностном слое Черного моря по спутниковым данным // Успехи современной биологии. 2018. Т. 138. № 3. С. 294–307. DOI: 10.7868/S0042132418030079.
- Финенко З.З., Крупаткина Д.К. Первичная продукция в Черном море в зимне-весенний период // Океанология. 1993. Т. 33. № 1. С. 94–104.
- Финенко З.З., Мансурова И.М., Суслин В.В. Временная динамика биомассы фитопланктона в поверхностном слое Черного моря по данным спутниковых наблюдений // Океанология. 2022. Т. 62. № 3. С. 416–427. DOI: 10.31857/S0030157422030042.
- Шадрин Н.В., Голубков С.М., Балушкина Е.В., Орлеанский В.К., Миходюк О.С. Отклик экосистемы гиперсолёного Бакальского озера (Крым) на климатические особенности 2004 года // Морской экологический журнал. 2004. Т. 3. № 4. С. 74.
- Beverland I.J., Crowther J.M., Srinivas M.S.N., Heal M.R. The influence of meteorology and atmospheric transport patterns on the chemical composition of rainfall in south-east England, *Atmos. Environ.*, 1998, vol. 32, no. 6, p. 1039–1048, DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00365-8.
- Burlakova Z.P., Ereemeeva L.V., Konovalov S.K. Inventory and fluxes of particulate organic carbon and nitrogen in the Black Sea oxic/anoxic water column, *Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea*, Proceeding of the “Second International Conference on Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: Similarities and Differences of Two Interconnected Basins”, 14–18 October 2002, Ankara, Turkey, TUBITAK Publ., 2003, p. 514–522.
- Finenko Z.Z., Churilova T.Ya., Sosik H.M., Bastruk O. Variability of photosynthetic parameters of the surface phytoplankton in the Black Sea, *Oceanology*, 2002, vol. 42, no. 1, p. 53–67.
- Finenko Z.Z., Kovalyova I.V., Suslin V.V. Use of Satellite Data for the Estimation of the Specific Growth Rate of Phytoplankton in the Surface Layer of the Black Sea, *Rus. J. of Marine Biology*, 2019, vol. 45, no. 4, p. 313–319, DOI: 10.1134/S1063074019040059.
- Fommervault de O.P., Migon C., Dufour A. et al. Atmospheric input of inorganic nitrogen and phosphorus to the Ligurian Sea: Data from the Cap Ferrat coastal time-series station, *Deep-Sea Research I*, 2015, vol. 106, p. 116–125, DOI: 10.1016/j.dsr.2015.08.010.
- Guerzoni S., Chester R., Dulac F. et al. The role of atmospheric deposition in the biogeochemistry of the Mediterranean Sea, *Progr. Oceanogr.*, 1999, no. 44, p. 147–190, DOI: 10.1016/S0079-6611(99)00024-5.
- Marañón E. Cell size as a key determinant of phytoplankton metabolism and community structure, *Annual Review of Marine Science*, 2015, vol. 7, p. 4.1–4.24, DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015955.
- Medinets S., Medinets V. Investigations of atmospheric wet and dry nutrient deposition to marine surface in western part of the Black Sea, *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*, 2012, vol. 12, p. 497–505, DOI: 10.4194/1303-2712-v12_2_42.
- Suslin V.V., Churilova T.Ya. Regional algorithm for separating light absorption by chlorophyll-*a* and colored

detrital matter in the Black Sea, using 480–560 nm bands from ocean color scanners, *Intern. J. of Rem. Sens.*, 2016, vol. 37, no. 18, p. 4380–4400, DOI: 10.1080/01431161.2016.1211350.

Электронные ресурсы

GPCP Version 3.2 Satellite-Gauge (SG) Combined Precipitation Data Set (GPCPMON), EarthData, DOI: 10.5067/MEASURES/GPCP/DATA304 (дата обращения 02.10.2022).

MODIS-Aqua, MODIS-Terra, URL: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/par/> (дата обращения 22.05.2019).

NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua Ocean Color Data; 2018. Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA, DOI: 10.5067/AQUA/MODIS/L2/OC/2018 (accessed on 22.05.2019).

NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Terra Ocean Color Data; 2018. Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA, DOI: 10.5067/TERRA/MODIS/L2/OC/2018 (accessed on 22.05.2019).

NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) Ocean Color Data; 2018 Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA, DOI: 10.5067/ORBVIEW-2/SEAWIFS/L2/OC/2018 (accessed on 22.05.2019).

SeaWiFS, URL: <http://podaac.jpl.nasa.gov/sst/> (дата обращения 22.05.2019).

TRMM (TMPA-RT) Near Real-Time Precipitation L3 1 day 0,25×0,25° V7 (TRMM 3B42RT Daily), EarthData, DOI:10.5067/TRMM/TMPA/DAY-E/7 (дата обращения 02.20.2022).

Поступила в редакцию 07.09.2022

После доработки 16.01.2023

Принята к публикации 22.02.2023

INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION AND SURFACE RUNOFF ON PHYTOPLANKTON CHARACTERISTICS IN THE NORTHERN PART OF THE BLACK SEA

I.V. Kovalyova¹, V.V. Suslin²

¹ Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Department of Algae Ecological Physiology, Scientific Researcher, Ph.D. in Biology; e-mail: ila.82@mail.ru

² Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Department of Dynamics of the Oceanic Processes, Head of the Department, Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Physics and Mathematics; e-mail: slava.suslin@mhi-ras.ru

The joint dynamics of the Black Sea phytoplankton parameters (primary production, specific growth rate, biomass) and the amount of precipitation over the period from 1998 to 2015 was studied in coastal areas and the open coast of the northern part of the Black Sea. The analysis used satellite data (SG) (GPCPMON) GPCP Version 3.2, TRMM TMPA (3B42RT), as well as SeaWiFS from 1998 to 2010, MODIS-Aqua from 2002 to 2015 and MODIS-Terra from 2000 to 2015. Phytoplankton indicators were calculated according to the models developed earlier by the authors. The average monthly values of all considered values were evaluated, as well as bi-weekly and daily values for atmospheric precipitation. As a result of the study, it was revealed that the role of atmospheric precipitation for the variability of phytoplankton characteristics is not significant in vast water areas over long time intervals, and it could be neglected. In some cases in the presence of large rivers and coastal runoff it increases up to 30% in the offshore areas. There was also a more noticeable effect of atmospheric precipitation on the biological productivity of phytoplankton in small, limited water areas over short time intervals. According to our data during the 18-year period there was a more noticeable correlation between the specific growth rate and precipitation in winter than in other seasons for the open coast of the Black Sea. The correlation of biomass and primary production with atmospheric precipitation is less pronounced. The specific growth rate correlated more than other studied phytoplankton indicators with the amount of precipitation. In three districts, an increase in the amount of precipitation relative to the previous level with monthly averages above 0,6 mm/day led to an increase in the specific growth rate, or maintained it at the same level. The increase in the specific growth rate was not the same everywhere and was not proportional to the amount of atmospheric precipitation. This indicates the influence of many factors on phytoplankton characteristics; however, precipitation could have an additional stimulating role.

Keywords: primary production, specific growth rate, biomass, model calculations, satellite observations

Acknowledgements. The authors thank Professor Z.Z. Finenko, Ph.D. in Biology, for the idea of the work. The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center IBSS on the theme no. 121041400077-1 “Functional, metabolic and toxicological aspects of hydrobionts and their popula-

tions existence in biotopes with different physical-chemical regimes”, and partially within the framework of the state assignment on the theme FNNN-2021-0003 “Development of operational oceanology methods based on interdisciplinary research of the marine environment formation and evolution and on mathematical modeling using data of remote and direct measurements” (code “Operational oceanology”).

REFERENCES

- Beverland I.J., Crowther J.M., Srinivas M.S.N., Heal M.R. The influence of meteorology and atmospheric transport patterns on the chemical composition of rainfall in south-east England, *Atmos. Environ.*, 1998, vol. 32, no. 6, p. 1039–1048, DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00365-8.
- Burlakova Z.P., Ereemeeva L.V., Konovalov S.K. Inventory and fluxes of particulate organic carbon and nitrogen in the Black Sea oxic/anoxic water column, *Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea. Proceeding of the “Second International Conference on Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: Similarities and Differences of Two Interconnected Basins”*, 14–18 October 2002, Ankara, Turkey: TUBITAK Publ., 2003, p. 514–522.
- Finenko Z.Z., Churilova T.Ya., Sosik H.M., Bastruk O. Variability of photosynthetic parameters of the surface phytoplankton in the Black Sea, *Oceanology*, 2002, vol. 42, no. 1, p. 53–67.
- Finenko Z.Z., Kovaleva I.V., Suslin V.V. Novyi podkhod k otsenke biomassy fitoplanktona i ee variabel'nosti v poverkhnostnom sloe Chernogo morya po sputnikovym dannym [A New Approach to Estimate Phytoplankton Biomass and Its Variability in the Black Sea Surface Water Layer Based on Satellite Data], *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2018, vol. 138, no. 3, p. 294–307, DOI: 10.7868/S0042132418030079. (In Russian)
- Finenko Z.Z., Kovalyova I.V., Suslin V.V. Use of Satellite Data for the Estimation of the Specific Growth Rate of Phytoplankton in the Surface Layer of the Black Sea, *Rus. J. of Marine Biology*, 2019, vol. 45, no. 4, p. 313–319, DOI: 10.1134/S1063074019040059.
- Finenko Z.Z., Krupatkina D.K. Pervichnaya produktsiya v Chernom more v zimne-vesennii period [Primary production in the Black Sea during winter-spring period], *Okeanologiya*, 1993, v. 33, no. 1, p. 94–104. (In Russian)
- Finenko Z.Z., Mansurova I.M., Suslin V.V. Temporal Dynamics of Phytoplankton Biomass in the Surface Layer of the Black Sea According to Satellite Observations, *Oceanology*, 2022, vol. 62, no. 3, p. 358–368, DOI: 10.31857/S0030157422030042.
- Fommervault de O.P., Migon C., Dufour A. et al. Atmospheric input of inorganic nitrogen and phosphorus to the Ligurian Sea: Data from the Cap Ferrat coastal time-series station, *Deep-Sea Research I.*, 2015, vol. 106, p. 116–125, DOI: 10.1016/j.dsr.2015.08.010.
- Guerzoni S., Chester R., Dulac F. et al. The role of atmospheric deposition in the biogeochemistry of the Mediterranean Sea, *Progr. Oceanogr.*, 1999, no. 44, p. 147–190, DOI: 10.1016/S0079-6611(99)00024-5.
- Ivanov V.A., Belokopytov V.N. *Okeanografiya Chernogo morya* [Oceanography of the Black Sea], NAS of Ukraine, Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol, EKOSI-Gidrofizika Publ., 2011, 209 p.
- Marañón E. Cell size as a key determinant of phytoplankton metabolism and community structure, *Annual Review of Marine Science*, 2015, vol. 7, p. 4.1–4.24, DOI: 10.1146/annurev-marine-010814-015955.
- Medinets S., Medinets V. Investigations of atmospheric wet and dry nutrient deposition to marine surface in western part of the Black Sea, *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*, 2012, vol. 12, p. 497–505, DOI: 10.4194/1303-2712-v12_2_42.
- Mikaelyan A.S. *Vremennaya dinamika fitoplanktona glubokovodnogo basseina Chernogo morya* [Temporal dynamics of phytoplankton in the deep-sea basin of the Black Sea], D. Sc. Thesis in Biology, Moscow, 2018, 266 p. (In Russian)
- Minicheva G.G., Bol'shakov V.N., Kalashnik E.S., Zotov A.B., Marinets A.V. Otsenka reaktsii al'gosoobshchestv chernomorskiikh ekosistem na vozdeistvie klimaticheskikh faktorov [Assessment of the response of algae communities to the influence of climatic factors in the North-Western Black Sea ecosystem], *Al'gologiya*, 2018, vol. 28, no. 2, p. 121–135, DOI: 10.15407/alg28.02.121. (In Russian)
- Shadrin N.V., Golubkov S.M., Balushkina E.V., Orlean-skii V.K., Mikhodyuk O.S. Otklik ekosistemy gipersol'nogo Bakal'skogo ozera (Krym) na klimaticheskie osobennosti 2004 goda [Response of the ecosystem of the hypersalted Bakal Lake (Crimea) to 2004 climate pattern], *Morskoi ekologicheskii zhurnal*, 2004, vol. 3, no. 4, p. 74. (In Russian)
- Stel'makh L.V., Mansurova I.M. Unimodal'naya zavisimost' skorosti rosta ot ob'ema kletok v kul'turakh chernomorskiikh vidov mikrovdoroslei [Unimodal dependence of the growth rate on cell volume in the cultures of the Black Sea microalgae], *Voprosy sovremennoi al'gologii*, 2017, no. 1(13), URL: <http://algology.ru/1101>. (In Russian)
- Stel'makh L.V. *Zakonomernosti rosta fitoplanktona i ego potreblenie mikrozooplanktonom v Chernom more* [Patterns of phytoplankton growth and its consumption by microzooplankton in the Black Sea], D. Sc. Thesis in Biology, Sevastopol, 2017, 310 p. (In Russian)
- Suslin V.V., Churilova T.Ya. Regional algorithm for separating light absorption by chlorophyll-a and colored detrital matter in the Black Sea, using 480–560 nm bands from ocean color scanners, *Intern. J. of Rem. Sens.*, 2016, vol. 37, no. 18, p. 4380–4400, DOI: 10.1080/01431161.2016.1211350.
- Suslin V.V., Churilova T.Ya., Li M.E., Moncheva S., Finenko Z.Z. Kontsentratsiya khlorofilla a v Chernom more: Sravnenie sputnikovykh algoritmov [Comparison of the Black Sea chlorophyll a algorithms for SeaWiFS and MODIS instruments], *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika*, 2018, vol. 11, no. 3, p. 64–72, DOI: 10.7868/S2073667318030085. (In Russian)
- Varenik A.V., Kalinskaya D.V., Myslina M.A., Khoruzhii D.S. [Changes in the content of biogenic elements in the surface layer of seawater after precipitation], *Morya Rossii: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya*, Tezisy dokladov vserossiiskoi nauchnoi konferentsii, 23–28 sentyabrya 2019 g., Sevastopol', FGBUN FITs MGI [Seas of Russia: fundamental and applied research, Abstracts of reports of the All-Russian scientific conference,

- September 23–28, 2019, Sevastopol: FGBUN FIT MGI], 2019, p. 51. (In Russian)
- Varenik A.V., Kozlovskaya O.N., Simonova Yu.V. Estimation of nutrient fluxes to the Crimean Southern coast (Katsiveli) supplied by the atmospheric precipitation in 2010–2015, *Physical oceanography*, 2016, iss. 5, p. 61–70, DOI: 10.22449/1573-160X-2016-5-61-70.
- Web sources*
- GPCP Version 3.2 Satellite-Gauge (SG) Combined Precipitation Data Set (GPCPMON) DOI: 10.5067/MEASURES/GPCP/DATA304 (data access 02.10.2022).
- MODIS-Aqua, MODIS-Terra, URL: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/par/> (access data 22.05.2019).
- NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua Ocean Color Data, 2018 Reprocessing, NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA, DOI: 10.5067/AQUA/MODIS/L2/OC/2018 (access data 22.05.2019).
- NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Terra Ocean Color Data, 2018 Reprocessing, NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA, DOI: 10.5067/TERRA/MODIS/L2/OC/2018. (access data 22.05.2019).
- NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (SeaWiFS) Ocean Color Data, 2018 Reprocessing, NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA, DOI: 10.5067/ORBVIEW-2/SEAWIFS/L2/OC/2018 (access data 22.05.2019).
- SeaWiFS, URL: <http://podaac.jpl.nasa.gov/sst/> (access data 22.05.2019).
- TRMM (TMPA-RT) Near Real-Time Precipitation L3 1 day 0.25×0.25 degree V7 (TRMM_3B42RT_Daily), DOI: 10.5067/TRMM/TMPA/DAY-E/7 (access data 20.02.2022).

Received 07.09.2022

Revised 16.01.2023

Accepted 22.02.2023

СОСТОЯНИЕ И ДИНАМИКА ГРАНИЦ ТЕМНОХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ХРЕБТА ЗАПАДНЫЙ ТАННУ-ОЛА В РЕСПУБЛИКЕ ТЫВА

Х.Б. Куулар

ФГБУН Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, лаборатория геоинформатики и моделирования процессов, вед. науч. сотр., канд. биол. наук; e-mail: khbkr@list.ru

В работе приведены результаты отклика темнохвойного леса и подроста кедра в лесах хребта Западный Танну-Ола на наблюдаемое изменение климата в регионе в последние десятилетия. По данным близлежащей метеостанции Чадан аномалия среднегодовой температуры воздуха составила $1,6 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$, вегетационного периода – $1,0 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$. Ключевые участки исследования расположены на территории Республики Тыва в пределах $50^{\circ}55'–51^{\circ}15'$ с. ш. и $91^{\circ}30'–92^{\circ}20'$ в. д., что соответствует трем высотным уровням среднегорья: нижняя полоса (1100–1300 м над ур. моря), граничащая со степью и покрытая лиственничными лесами с березой; средняя полоса (1300–1800 м над ур. моря), покрытая лиственничными и кедровыми лесами; лиственничные и кедровые леса верхней полосы (1800–2120 м над ур. моря). В ходе полевых работ определяли прирост вершинного побега подроста кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour), высоту, возраст и общее количество подроста. Количественно определили корреляционные связи между приростом, температурой воздуха и относительной влажностью, используя данные метеостанции Чадан за ряд лет. Полученные результаты свидетельствуют о положительной корреляции в нижней полосе среднегорья с относительной влажностью, в верхней полосе среднегорья с температурой воздуха. Увеличение количества подроста кедра на нижней и верхней полосах среднегорья подтверждает смещение темнохвойного леса вниз и вверх по хребту при потеплении регионального климата. Космические снимки Landsat-TM/ETM+/OLI показывают рост значений вегетационных индексов *NDVI* и *NDWI*. По данным космоснимков получено увеличение площади темнохвойных лесов за последние десятилетия на территории ключевых участков, однако достоверность этих данных не оценивалась статистически. Работы требуют продолжения в полевых условиях.

Ключевые слова: подрост кедра, ключевые участки, потепление климата, снимки Landsat, корреляционные связи

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.4

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционные методы широко используются для мониторинга растительности и параметров окружающей среды. В частности, анализ динамики лесов дистанционными методами в период потепления климата проводился в работах [Тельнова, 2017; Fang, He, 2020; Camarretta et al., 2020; Zhang et al., 2021; Park et al., 2021]. В настоящее время большое внимание уделяется изучению горных лесов, так как экосистемы горных территорий более чувствительны, чем равнинные к климатическим изменениям [Шиятов и др., 2007; Ivanova, Soukhovolsky, 2016; Гайсин и др., 2020; Бочарников, 2022]. Сбору и анализу данных, свидетельствующих о потеплении климата в горах Южной Сибири, посвящено много работ [Петров и др., 2019; Babushkina et al., 2018; Кошкарлов и др., 2021]. Республика Тыва расположена в южной части гор Южной Сибири. Хвойные леса отличаются повышенной чувствительностью к изменениям климата. В связи с этим леса региона стали объектом пристального изучения [Баринов и др., 2014; Тайник и др., 2015; Приходько и др., 2018].

Природные особенности региона. Климатические условия. Климат резко континентальный, среднегодовая температура $-0,9 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$, среднегодовые осадки $255,1 \pm 48,8$ мм по данным метеостанции Чадан, расположенной у северного подножья хребта. В период с 2000 по 2016 г. аномалия годовой суммы осадков составила $45,5 \pm 12,8$ мм, среднегодовой температуры воздуха – $1,6 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$, вегетационного периода – $1,0 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ по сравнению с базовым периодом (1961–1990) (рис. 1). На рис. 2 приведены графики средней температуры и суммы осадков вегетационного периода (IV–IX месяцы) за 1967–2019 гг. По графику видно постепенное повышение температуры воздуха и рост суммы осадков. Осадки на ключевых участках значительно выше, чем на метеостанции Чадан, увлажнение меняется сильнее. График показывает только тенденцию изменения увлажнения в регионе.

Растительный покров. Темнохвойные леса на южном пределе своего распространения в горах приурочены к местообитаниям, обеспечивающим стабильное увлажнение субстрата и приземного

слоя воздуха. Исследования горных лесов Республики Тыва представляют особый интерес в связи с яркой выраженностью градиента эколого-ценотических условий. Внимание автора посвящено изучению динамики подроста кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) на временных площадках вдоль профильного участка северного макросклона хребта Западный Танну-Ола как чуткого индикатора изменения лесов.

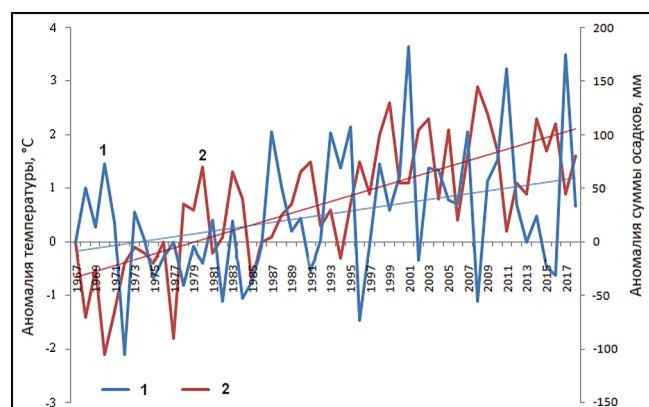


Рис. 1. Динамика аномалии среднегодовых осадков (мм) (1) и температуры (°C) (2) за 1967–2016 гг.

Fig. 1. Dynamics of the anomalies of average annual precipitation (mm) (1) and temperature (°C) (2) for 1967–2016

Кедр сибирский является основной лесообразующей породой региона, произрастает только в местах с повышенной относительной влажностью воздуха и встречается в качестве примеси в темнохвойной и светлехвойной тайге смешанного состава. В западной части республики на северных макросклонах хребтов кедр располагается обычно в средней и верхней частях лесного пояса (1300–2100 м над ур. моря) [Кедровые леса..., 1985]. Специфика его реакции на изменение метеорологических условий представляется достаточно информативной и важной для понимания влияния изменения климата на исследуемом хребте.

Ключевые участки исследования расположены в горах и соответствуют трем высотным уровням среднегорья: нижняя полоса, граничащая со степью и покрытая лиственничными лесами с березой (1100–1300 м над ур. моря); средняя полоса, покрытая лиственничными и кедровыми лесами (1300–1800 м над ур. моря); верхняя полоса, покрытая лиственничными и кедровыми лесами (1800–2120 м над ур. моря).

Здесь преобладают следующие типы леса: рододендрово-брусничный, разнотравно-брусничный, зеленомошно-багульниковый, ирисово-разнотравный, бруснично-зеленомошный, голубично-брусничный, мохово-багульниковый, бруснично-зеленомошно-

ерниковые, зеленомошно-разнотравные, бруснично-голубично-разнотравные, бруснично-разнотравные.

Цель данной работы – оценка динамики границ и состояния лесов с преобладанием кедр сибирского и хода роста естественного подроста кедр на ключевых участках хребта Западный Танну-Ола в связи с наблюдаемыми изменениями климата с использованием полевых данных и архива космоснимков Landsat.

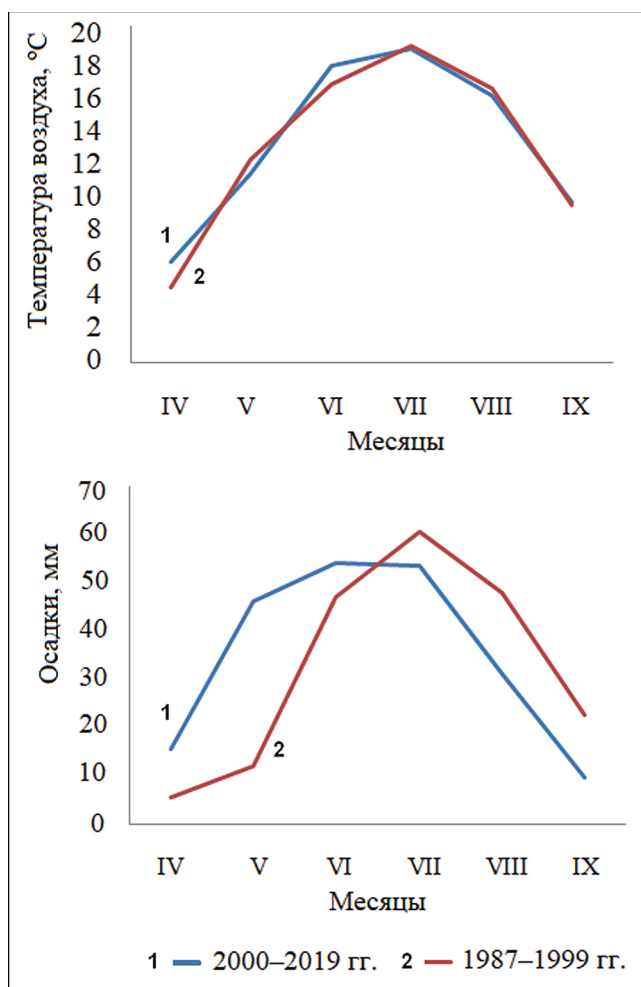


Рис. 2. Динамика температуры и осадков вегетационного периода

Fig. 2. Dynamics of temperature and precipitation of the growing season

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования выбран хр. Танну-Ола, поскольку он доступен для сбора полевых данных. Сбор, обработка полевых данных и дешифровка снимков выполнены автором традиционными методами. Полевые данные собраны вдоль трансекта через северный макросклон в различных типах леса (1000–2200 м над ур. моря). Ключевые участки исследования расположены в пределах 50°55'–51°15' с. ш. и 91°30'–92°20' в. д., что соответствует

трем высотным уровням: нижняя полоса среднегогорья (1100–1300 м над ур. моря), граничащая со степью и покрытая лиственничными лесами с березой; средняя полоса среднегогорья (1300–1800 м над ур. моря), покрытая лиственничными и кедровыми лесами; лиственничные и кедровые леса в верхней полосе среднегогорья (1800–2120 м над ур. моря). Вдоль трансекта заложено 100 временных площадок размером 100 м² – по 4–8 площадок через 50–200 м в каждом высотном интервале на различных экспозициях. В ходе полевых работ определяли прирост вершинного побега, высоту, возраст и общее количество подроста кедра. Собранные таким образом данные, статистически обработанные, дают усредненную информацию о динамике подроста кедра сибирского за определенный интервал времени.

Мы исходили из того, что кедр, произрастающий в одном климатическом районе, сходно реагирует величиной прироста на изменение климата [Харук и др., 2018]. Показателем отклика подроста кедра на климатические факторы является степень вариабельности хода роста приростов. Изучению вершинного прироста деревьев посвящено много работ [Kuular, 2016; Kueppers et al., 2017; Харук и др., 2018; Misi et al., 2019]. На каждой площадке были выбраны по пять экземпляров подроста кедра. Измерение вершинного роста побегов (прироста) проводилось замером длины верхушечного побега линейкой с точностью до 1 мм. Длина приростов измерялась от основания побега до точки роста (по мутовкам). На изменчивость прироста хвойных деревьев в регионе наибольшее влияние оказывают климатические переменные [Власенко, 2002; Кухта, 2003].

Имея данные по динамике подроста кедра на горном профиле, была поставлена задача сравнить ее с динамикой климатических показателей, которые признаны в лесной экологии наиболее значимыми при работах географического плана. Для анализа погодных данных привлекались данные близлежащей метеостанции Чадан, которая имеет многолетний ряд наблюдений, а значит, отражает колебания и возможные тренды погодно-климатической обстановки не только в степи, но и в ближайших горах на ключевых участках. Такое допущение возможно, учитывая синхронные колебания термических показателей на крупных территориях со сложным рельефом.

Прирост рассматривался в связи со следующими климатическими показателями: плювиотермический коэффициент, относительная влажность воздуха, температура воздуха с апреля по сентябрь месяцы. Связь прироста и показателей климата оценивалась с помощью корреляционного анализа.

Оценка условия увлажнения вегетационного периода получена с помощью плювиотермического коэффициента (PT_{l-m}):

$$PT_{l-m} = \sum_{i=l}^m R_i / t_i, \quad (1)$$

где PT_{l-m} – значения плювиотермического коэффициента (l – с апреля, m – по июль); R_i – количество осадков в i -м месяце (мм); t_i – сумма средних температур в i -м месяце.

В качестве показателя, по которому осуществлялась оценка изменений растительного покрова, взят вегетационный индекс $NDVI$. Вегетационный индекс $NDVI$ рассчитывали по формуле [Rouse, 1973]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (2)$$

где NIR и RED – спектральные значения каналов в диапазонах отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра соответственно.

Для оценки влажности лесного покрова был использован нормализованный разностный индекс влажности $NDWI$ [Gao, 1996]:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR\ 1}{NIR + SWIR\ 1}, \quad (3)$$

где NIR , $SWIR\ 1$ – спектральные значения каналов в диапазонах отражения в ближней инфракрасной и коротковолновой инфракрасной области спектра, соответственно.

Тренды индексов $NDVI$ и $NDWI$ определены по коэффициентам корреляции с использованием их значений с апреля по август с номером года. Вырезаны из снимков три высотных уровня (нижняя, средняя и верхняя полосы среднегогорья) с площадями 203, 187 и 222 км² соответственно. Были рассчитаны значения индексов $NDVI$ и $NDWI$. Рассчитывали максимальные значения индексов для каждого высотного уровня. Темнохвойным лесным участкам соответствуют максимальные значения вегетационного индекса.

Значения p показывают, были ли статистически значимыми тренды в развитии растительности. Положительные и высокие значения указывают на увеличение прироста, а отрицательные означают негативный тренд. Тренды считались статистически значимыми при $p < 0,1$.

Для анализа динамики вегетационных индексов лесов были отобраны безоблачные снимки Landsat-TM/ETM+/OLI за даты 31.01.1989, 19.02.1993, 10.03.1994, 10.04.1991, 24.05.1998, 18.06.1998, 03.07.1989, 31.08.1990, 26.09.1991, 20.11.1996, 20.12.1987, 23.01.2018, 20.02.2019, 04.03.2019, 04.04.2019, 17.05.2018, 04.06.2019, 04.07.2019, 04.08.2019, 29.09.2019, 04.10.2019, 09.11.2013,

25.12.2018, которые разделены на два периода (1987–1999 и 2000–2019).

Для выявления изменений площади лесов построены карты ключевых участков на основе комбинаций каналов 5, 4 и 3 для Landsat TM/ETM+ и каналов 6, 5 и 4 для Landsat OLI. Обработка снимков выполнена в геоинформационной системе Quantum GIS 3.12.3. Для проведения контролируемой классификации использован модуль Zdzetsaka. Данный модуль позволяет получить качественную классификацию с обучением земной поверхности с методом GMM (Gaussian Mixture Model). Для обучения нами созданы shp-файлы основных классов растительного покрова: 1 – темнохвойные с преобладанием кедра сибирского, 2 – светлохвойные с преобладанием лиственницы сибирской, 3 – темнохвойные с преобладанием ели сибирской, 4 – мелколиственные с преобладанием мелколиственной и карликовой березы, 5 – участки без леса, 6 – луга, 7 – увлажненные участки и тундры, 8 – редколесье, 9 – кустарники, 10 – новые лесные участки и восстановленные леса. Точность данных, полученных в результате контролируемой классификации, оценена используя Каппа-статистику и общую точность. Оценка точности осуществлена в инструменте анализов «г. карпа» (расчитывает матрицу ошибок и параметр каппа для оценки результатов классификации) программного пакета Quantum GIS 3.12.3. В качестве тестовых участков использовались наборы пикселей с классами легенды, определенных по материалам лесоустройства Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва и полевых данных. Процедура оценки состоит из наложения слоев (карта лесов и полевых данных) на классифицированные изображения. В результате была получена общая точность классификации, включающая основные показатели статистики при оценке точности тематических карт, коэффициент Каппа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате полевых работ выявлено большое количество крупного подроста (1,0–2,0 м) и молодого поколения кедра (3–5 м) в нижней и верхней полосах среднегорья хребта Западный Танну-Ола (рис. 3). На рис. 4 представлена динамика прироста подроста кедра на всех высотных уровнях среднегорья. По графику видно, что увеличение темпов прироста у кедрового подроста идет на всех высотных уровнях за весь период исследования с 2000 по 2016 г.

Согласно полученным результатам, отклик на воздействие климатических факторов на разных склонах неодинаков. Благоприятными для роста



Рис. 3. Точки полевых наблюдений:

А – лиственничный лес с подростом кедра на нижней полосе среднегорья, 18.04.2016; Б – кедрово-лиственничный лес с подростом кедра на верхней полосе среднегорья, 18.10.2015

Fig. 3. Points of field observations:

A – larch forest with cedar undergrowth at the lower band of the middle mountains, 18.04.2016; B – cedar-larch forest with cedar undergrowth at the upper band of the middle mountains, 18.10.2015

подроста кедра были зеленомошно-разнотравные, бруснично-зеленомошно-ерниковые типы леса с составом древостоя 8К2Л, 6К2Е2Л, 10К в 2000 и 2007 гг., при аномалии температуры апреля 2,9 и 4,5°C. Для склона западной экспозиции благоприятными для роста подроста кедра были бруснично-голубично-разнотравные, бруснично-разнотравные типы леса с составом древостоя 8Л2К, 10Л, 5К4Л1Е в 2007 г., при аномалии температуры за теплый период 2°C.

На склонах северо-восточной экспозиции нижней полосы среднегорья благоприятными по увлажнению для роста подроста кедра были условия увлажнения в бруснично-разнотравных лесах с составом древостоя 6Е3Л1К и 5К3Е2Л в 2006 г., при аномалии суммы осадков с апреля по июль 53,7 мм. Благоприятными по теплу были 2009 и 2012 гг., при аномалии температуры апреля 3,8 и 2,7°C соответственно.

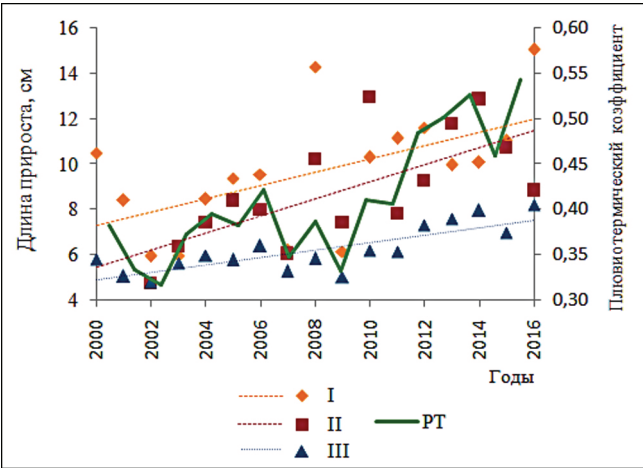


Рис. 4. Динамика вершинного прироста хр. Западный Танну-Ола: I – на нижней полосе среднегорья; II – на средней полосе среднегорья; III – на верхней полосе среднегорья; PT – плювиотермический коэффициент

Fig. 4. Dynamics of the top growth in the Western Tannu-Ola Range: I – at the lower band of the middle mountains; II – at the middle band of the middle mountains; III – at the upper band of the middle mountains; PT – pluviothermal coefficient

На склонах северной экспозиции нижней полосы среднегорья благоприятными для роста подростка кедра были условия в бруснично-зеленомошных лесах с составом древостоя 7КЗЕ1Л, 7Е2Л1К в 2008, 2010 и 2014 гг. с достаточными и большими осадками. В эти годы с апреля по июль сумма осадков на метеостанции Чадан составила 107, 245 и 109 мм (норма 107 мм). В горах, соответственно, логично ожидать еще больший рост увлажнения.

Для корреляционного анализа прироста подростка кедра с показателями климата выбраны: годовая относительная влажность, температура апреля и температура сентября, которые показали наиболее существенную корреляцию по срав-

нению с другими характеристиками (табл. 1). По таблице видно, что на склонах юго-западной экспозиции верхней полосы среднегорья приросты имеют значимую положительную корреляцию с температурой апреля ($r = 0,533$), а на склонах восточной экспозиции – с температурой сентября ($r = 0,504$).

Приросты нижней полосы среднегорья имеют положительную корреляцию с условиями влагообеспеченности. На склонах северо-восточной экспозиции нижней полосы среднегорья приросты имеют значимую положительную корреляцию с относительной влажностью ($r = 0,693$) и отрицательную корреляцию с температурой апреля и сентября. На склонах северо-восточной и северо-западной экспозиций значимая отрицательная корреляция прироста с температурой ($r = -0,907... -0,434$), возможно, связана с водным стрессом в результате испарения в апреле и отсутствия осадков в сентябре.

В табл. 2 представлены обобщенные характеристики подроста кедра на склонах разной экспозиции верхней и нижней полос среднегорья. Видно, что на склонах восточной экспозиции верхней полосы среднегорья и северо-восточной экспозиции нижней полосы среднегорья встречается наибольшее количество подроста кедра – 540 и 460 экз./га соответственно. Возможно, восточные склоны реже подвергаются низовым пожарам, как это отмечается в литературе [Типы лесов...,1980; Поликарпов и др., 1986].

В табл. 3 представлены средние из максимальных значений индекса *NDVI* за все сезоны года (зима, весна, лето и осень), которые подтверждают зарастание исследуемых участков подростом темнохвойных пород.

Таблица 1

Корреляция прироста подростка кедра с климатическими данными

Показатель	Верхняя полоса среднегорья				Нижняя полоса среднегорья			
	ЮЗ	З	СВ	В	С	СЗ	СВ	В
Относительная влажность	-0,724	-0,422	-0,269	-0,312	0,480	0,396	0,693	0,480
Температура апреля	0,533	0,125	0,127	0,186	-0,211	-0,568	-0,627	-0,169
Температура сентября	0,115	-0,169	0,372	0,504	-0,393	-0,434	-0,907	0,163

Примечание. Коэффициенты корреляции выше 0,3 являются значимыми на 5%-м уровне.

Значения индексов *NDVI* и *NDWI* используются как источники косвенных данных для оценки изменения продуктивности лесов. В табл. 4 представлены средние значения индексов *NDVI* и *NDWI*. Важным изменением становится рост средних максимальных

значений индексов *NDVI* и *NDWI* в период 2000–2019 гг. на трех высотных уровнях по сравнению с периодом 1987–1999 гг. По таблице видно, что в период 2000–2019 гг. в нижней полосе среднегорья среднее значение индекса *NDVI* увеличилось в 1,3

раза по сравнению с периодом 1987–1999 гг., а в верхней полосе среднегорья – в 1,2 раза. Между температурой воздуха и значениями индекса *NDVI* выявлены сильные положительные корреляции по Пирсону: от 0,84 до 0,87 в 1987–1999 гг. и от 0,87 до 0,91 в период 2000–2019 гг. на всех ключевых участках. Наибольшее значение корреляций отмечено в нижней полосе среднегорья (0,91). Также значения индекса *NDWI* показывают рост влажности на всех высотных уровнях в период 2000–2019 гг. Наибольший рост значений индекса *NDWI* отмечен в верхней полосе среднегорья (в 1,3 раза). Между температурой

воздуха и значениями индекса *NDWI* выявлены сильные отрицательные корреляции по Пирсону (–0,8) за 1987–1999 гг. в верхней полосе среднегорья, а также в период 2000–2019 гг. на всех высотных уровнях.

Следующим важным моментом становится изменение площади лесов. На основе снимков за даты 25.06.1992, 03.07.1995, 18.06.1998, 05.07.2010, 24.06.2015, 30.07.2019 в результате классификации построены карты наземного покрова и рассчитана площадь полученных классов. Общая точность классификации по летним снимкам составила 71%, а точность по Каппа-статистике – 63%.

Таблица 2

Характеристика подроста кедра по высотным уровням

Показатель	Верхняя полоса среднегорья				Нижняя полоса среднегорья			
	ЮЗ	З	СВ	В	С	СЗ	СВ	В
Количество подроста, экз./га	443,3	400,0	300,0	540,0	306,7	200,0	460,0	368,3
Высота подроста, см	137,0	101,5	104,3	164,0	136,1	158,7	142	139,3
Возраст, лет	26,5	17,4	21,8	26,0	13,9	14,0	17	14,7

Таблица 3

Максимальные значения *NDVI*

Зима		Весна		Лето		Осень	
Дата снимка	Макс.зн. <i>NDVI</i>	Дата снимка	Макс. зн. <i>NDVI</i>	Дата снимка	Макс. зн. <i>NDVI</i>	Дата снимка	Макс. зн. <i>NDVI</i>
<i>Нижняя полоса среднегорья</i>							
10.03.1994	0,385	24.05.1998	0,562	18.06.1998	0,785	26.09.1997	0,532
08.03.2019	0,621	11.05.2019	0,678	08.06.2021	0,817	23.09.2019	0,688
<i>Средняя полоса среднегорья</i>							
10.03.1994	0,393	24.05.1998	0,593	18.06.1998	0,750	26.09.1997	0,540
08.03.2019	0,622	11.05.2019	0,695	08.06.2021	0,760	23.09.2019	0,678
<i>Верхняя полоса среднегорья</i>							
10.03.1994	0,284	24.05.1998	0,593	18.06.1998	0,709	26.09.1997	0,593
08.03.2019	0,509	11.05.2019	0,676	08.06.2021	0,731	23.09.2019	0,654

Таблица 4

Значения вегетационных индексов по высотным уровням

Показатель	<i>NDVI</i>						<i>NDWI</i>					
	1987–1999 гг.			2000–2019 гг.			1987–1999 гг.			2000–2019 гг.		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Среднее значение	0,335	0,351	0,266	0,428	0,440	0,328	0,223	0,228	0,235	0,233	0,234	0,304
Стандартное отклонение	0,184	0,173	0,151	0,180	0,176	0,152	0,149	0,122	0,191	0,124	0,113	0,197

Примечание. Полосы среднегорья: I – нижняя, II – средняя, III – верхняя.

В табл. 5 представлены значения занимаемой площади лесов с участием темнохвойных пород в пределах исследуемых высотных уровней. При классификации кедр попадает в класс ели, поэтому приведены леса с участием кедра и ели. Видно, что площадь темнохвойных лесов увеличивается на всех высотных уровнях по сравнению с предыдущими снимками леса, в том числе площадь лесов с участием кедра сибирского и ели сибирской.

Площадь темнохвойных лесов (с преобладанием кедра и ели) нижней полосы среднегорья по данным снимка за 30.07.2019 увеличилась на 2,4 тыс. га, в верхней полосе среднегорья – на 1,3 тыс. га, а в средней полосе среднегорья уменьшилась на 1,9 тыс. га по сравнению с данными за 25.06.1992. На территории исследуемых участков не было крупных вывалов, появились леса возрастом до 30 лет. Чтобы исключить

попадание зеленой фитомассы других классов, были обработаны снимки с января по декабрь. В таблице 5 приведены значения *NDVI* за каждый сезон.

Таким образом, анализ показывает, что индикатор положительной динамики границ и состояния лесов хребта Западный Танну-Ола на разных высотных уровнях, где растет кедр, сомнений не вызывает.

В последние годы наблюдается общий тренд – возрастание прироста и расширение ареала темнохвойных лесов, особенно кедра: в нижней полосе среднегорья, которое четко связано с главным лимитирующим фактором роста – недостаточной увлажненностью; в верхней полосе среднегорья с главным лимитирующим фактором роста – температурой. Полученные результаты совпадают с данными, представленными в работах [Mantgem et al., 2009; Vicente-Serrano et al., 2010] по границам лесного пояса в горах.

Таблица 5

**Площадь темнохвойных лесов (тыс. га) по летним снимкам по высотным уровням
хр. Западный Танну-Ола**

Класс	Дата					
	25.06.1992	03.07.1995	18.06.1998	07.05.2010	24.06.2015	30.07.2019
<i>Нижняя полоса среднегорья</i>						
I	1,46	1,29	1,00	3,12	1,74	0,06
II	6,74	6,56	6,62	6,28	7,72	7,76
<i>Средняя полоса среднегорья</i>						
I	1,18	0,79	0,45	1,90	0,60	7,77
II	8,09	8,61	7,61	6,13	10,11	12,78
<i>Верхняя полоса среднегорья</i>						
I	1,45	0,76	0,27	1,47	1,74	5,68
II	6,20	7,79	6,31	5,05	7,72	11,75

Примечание. Типы классов: I – темнохвойные леса с преобладанием кедра сибирского; II – темнохвойные леса с преобладанием ели сибирской.

С известной долей вероятности при потеплении и увлажнении климата можно ожидать усиления роли темнохвойных пород – кедра и ели – на нижней границе лесного пояса, и кедра – на верхней границе леса в горах Западного Танну-Ола и других районах Республики Тыва.

На южном пределе распространения кедра в ряде других высокогорных районов Азии в начале XXI в. отмечается такая же тенденция [Власенко, 2001; Cazzolla et al., 2019; Tchebakova et al., 2022].

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Кедр является чутким индикатором климатических изменений на южной границе произрастания в горах Западного Танну-Ола. Отме-

чен положительный рост подроста кедра и расширение ареала распространения кедра на территории северного макросклона хр. Западный Танну-Ола по данным полевых наблюдений и снимков Landsat. Увеличение площади хвойных лесов, отраженное в данных *NDVI*, максимально для участков с ростом температуры в верхней полосе среднегорья и ростом увлажнения в нижней полосе среднегорья. Реакция подроста кедра на климатические изменения дает понимание происходящих процессов под пологом леса и выделяет основные лимитирующие факторы внешней среды.

Полученные результаты показывают, что продвижение темнохвойных лесов вниз, в зону доминирования лиственницы, свидетельствует о пространственном расширении темнохвойных лесов

на фоне потепления климата в регионе. Эту тенденцию, проявившуюся в Западном Танну-Ола, могут сильно сдерживать пожары, активно действующие в Республике Тыва. Дальнейшее увеличение площадей с преобладанием кедра на нижней границе леса будет зависеть от увеличения количества осад-

ков и снижения пожарной опасности. Расширение кедровников вблизи верхней границы леса будет зависеть также от ряда таких природных факторов, как пожары, ветер и морозы, которые также ограничивают распространение кедра на верхней границе леса.

Благодарности. Автор благодарит д-ра физ.-мат. наук Ю.Л. Гуревича, канд. физ.-мат. наук В.П. Ладыгину (ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск), за советы и помощь на разных этапах подготовки рукописи. Работа выполнена в рамках базового проекта ТуВИКОПР СО РАН № 121030200250-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баринов В.В., Мыглан В.С., Тайник А.В., Ойдунаа О.Ч., Ваганов Е.А. Экстремальные климатические события в Республике Тыва по дендрохронологическим данным // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2014. № 13. С. 279–280.
- Бочарников М.В. Связь фитоценоотического разнообразия северо-восточно-забайкальского оробиома с биоклиматическими показателями // Ботанический журнал. 2022. Т. 107. № 3. С. 211–236.
- Власенко В.И. Динамика лесных биогеоценозов охраняемых территорий гор Южной Сибири на их верхнем и нижнем пределах распространения // Krylovia. Т. 3. № 2. 2001. С. 21–34.
- Гайсин И.К., Моисеев П.А., Махмутова И.И., Низаметдинов Н.Ф., Моисеева О.О. Экспансия древесной растительности в экотоне лес – горная степь на Южном Урале в связи с изменениями климата и влажности местообитаний // Экология. 2020. № 4. С. 251–264.
- Кедровые леса Сибири / И.В. Семечкин, Н.П. Поликарпов, А.И. Ирошников и др. Новосибирск: Наука, 1985. 256 с.
- Кошкарлов А.Д., Кошкарлова В.Л., Назимова Д.И. Многовековые климатические тренды трансформации кедровников в разных лесорастительных зонах гор Западного Саяна // Сибирский лесной журнал. 2021. № 2. С. 3–16.
- Кухта А.Е. Линейный прирост деревьев как индикатор состояния среды // Сибирский экологический журнал. 2003. № 6. С. 767–771.
- Петров И.А., Шушпанов А.С., Голюков А.С., Харук В.И. Воздействие изменений климата на радиальный прирост *Pinus sibirica* Du Tour в горных лесах Кузнецкого Алатау // Сибирский лесной журнал. 2019. № 5. С. 43–53.
- Поликарпов Н.П., Чебакова Н.М., Назимова Д.И. Климат и горные леса Южной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 226 с.
- Приходько В.Е., Бляхарчук Т.А., Килуновская М.Е. Реконструкция климата, почв и растительности начала субатлантического периода голоцена Турано-Уюкской котловины Южной Сибири // Почвоведение. 2018. № 8. С. 927–942.
- Тайник А.В., Мыглан В.С., Баринов В.В., Ойдунаа О.Ч., Назаров А.Н. Прирост лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) на верхней границе леса в Республике Тыва // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 91–99.
- Типы лесов гор Южной Сибири / под ред. В.Н. Смагина, С.А. Ильиной, Д.И. Назимовой, И.Ф. Новосельцевой, Ю.С. Чередниковой. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.
- Тельнова Н.О. Выявление и картографирование многолетних трендов NDVI для оценки вклада изменений климата в динамику биологической продуктивности агроэкосистем лесостепной и степной зон Северной Евразии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 97–107.
- Харук В.И., Петров И.А., Двинская М.Л., Им С.Т., Шушпанов А.С. Сравнительная реакция прироста лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) на изменения климата в лесостепи и высокогорьях Южной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2018. № 25(4). С. 438–448.
- Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В., Циммерманн Н.Е. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на Полярном Урале // Экология. 2007. № 4. С. 243–248.
- Babushkina E., Belokopytova L., Zhirnova D., Barabantsova A., Vaganov E. Divergent growth trends and climatic response of *Picea obovata* along elevational gradient in Western Sayan Mountains, Siberia, *Journal of Mountain Science*, 2018, vol. 15, no. 11, p. 2378–2397.
- Camarretta N., Harrison P.A., Bailey T., Potts B., Hunt M., Lucieer A., Davidson N. Monitoring forest structure to guide adaptive management of forest restoration: a review of remote sensing approaches, *New Forests*, 2020, vol. 51, no. 4, p. 573–596.
- Fang S., He Z. Fifty years of change in a coniferous forest in the Gilian mountains, China – advantages of high-definition remote sensing, *Forests*, 2020, vol. 11, p. 1–16.
- Gao B. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote sensing of Environment*, 1996, vol. 58, p. 257–266.
- Kueppers L.M., Conlisk E., Castanha C., Moyes A., Germino M.J., Valpine de P., Mitton J. Warming and provenance limit tree recruitment across and beyond the elevation range of subalpine forest, *Global Change Biology*, 2017, vol. 23, p. 2383–2395.
- Kuular Kh. Application of remote sensing data for the assessment of the Ujuk mountain boreal forests (the Tyva Republic, Russia), *Geography, Environment, Sustainability*, 2016, no. 1(9), p. 87–93, DOI: 10.15356/2071-9388_01v09_2016_07.

- Misi D., Puchalka R., Pearson C., Robertson I., Koprowski M. Differences in the Climate-Growth Relationship of Scots Pine: A Case Study from Poland and Hungary, *Forests*, 2019, vol. 243(10), p. 1–12.
- Park S.J., Lee D.K., Jeong S.G., Jang D.S., Park K.M., Park Y., Kim S.H., Mo Y.W. Phenological analysis of sub-alpine forest on Jeju Island, South Korea, using data fusion of Landsat and Modis products, *Forests*, 2021, vol. 12(3), p. 1–12.
- Rouse J.W., Haas R.H., Shell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium (10–14 December 1973, Washington, DC), 1973, vol. 1, p. 309–317.
- Vicente-Serrano S.M., Lasanta T., Gracia C. Aridification determines changes in forest growth in *Pinus halepensis* forests under semiarid Mediterranean climate conditions, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, vol. 150(4), p. 614–628.
- Электронные ресурсы
- Cazzolla R.G., Callaghan T., Velichevskaya A., Dudko A. Fabbio L., Battipaglia G., Liang J. Accelerating upward treeline shift in the Altai Mountains under last century climate change, *Scientific Reports*, 2019, no. 9, p. 7678, DOI: 10.1038/s41598-019-44188-1.
- Ivanova Y., Soukhovolsky V. Modeling the Boundaries of Plant Ecotones of Mountain, *Ecosystems Forests*, 2016, vol. 7(11), 271, DOI: 10.3390/f7110271.
- Tchebakova N.M., Parfenova E.I., Bazhina E.V., Soja A.J., Groisman P.Ya. Droughts are not the likely primary cause for *Abies sibirica* and *Pinus sibirica* forest dieback in the South Siberian Mountains, *Forest*, 2022, vol. 13, 1378, DOI: 10.3390/f13091378.
- Mantgem van P.J., Stephenson N.L., Byrne J.C., Daniels L.D., Franklin J.F., Fulé P.Z., Harmon M.E., Larson A.J., Smith J.M., Taylor A.H., Veblen T.T. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States, *Science*, 2009, vol. 323, 521–524. URL: <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.1165000> (дата обращения 21.03.2022).
- Zhang Y., Liu L.Y., Liu Y., Zhang M., An C.B. Response of altitudinal vegetation belts of the Tianshan mountains in northwestern china to climate change during 1989–2015, *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, 4870, DOI: 10.1038/s41598-021-84399-z.

Поступила в редакцию 29.04.2022

После доработки 05.11.2022

Принята к публикации 22.02.2023

THE STATE AND DYNAMICS OF THE BORDERS OF CEDAR FORESTS AT THE WESTERN TANNU-OLA RANGE IN THE TYVA REPUBLIC

Kh.B. Kuular

Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Geoinformatics and Process Modeling Laboratory, Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Biology; e-mail: khbkr@list.ru

The paper presents the recent response of dark coniferous forest and cedar undergrowth in the forests of the Western Tannu-Ola Range to the observed climate change in the region. According to the nearby Chadan meteorological station, the anomaly of the average annual air temperature was $1,6 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$, the anomaly of the growing season was $1,0 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$. Key study areas are located in the Tyva Republic within $50^{\circ}55' - 51^{\circ}15' \text{N}$ and $91^{\circ}30' - 92^{\circ}20' \text{E}$, which corresponds to three altitudinal levels: the lower belt of the middle mountains (1100–1300 m a.s.l.) bordering the steppe and covered with larch forests with birch; the middle belt of the middle mountains (1300–1800 m a.s.l.) covered with larch and cedar forests; larch and cedar forests of the upper belt of the middle mountains (1800–2120 m a.s.l.). In the course of field work, the increment of the top shoot of cedar sapling (*Pinus sibirica* Du Tour) was measured, as well as its height, age and total number. Correlations between the increment, air temperature and relative humidity were quantitatively determined using data from the Chadan weather station for a number of years. The results indicate a positive correlation with humidity in the lower zone of the middle mountains and with air temperature in the upper zone of the middle mountains. Higher amounts of cedar sapling in the lower zone of the middle mountains and in the upper zone of the middle mountains confirm the shift of dark coniferous forests down and up the ridge under the regional climate warming. Space images of Landsat TM/ETM+/OLI show the increasing values of NDVI and NDWI vegetation indices. According to satellite images, an increase in the area of dark coniferous forests over the past decades was calculated for the territory of key areas; however, the reliability of these data was not evaluated statistically. The work needs to be continued in the field.

Keywords: cedar sapling, key areas, climate warming, Landsat images, correlations

Acknowledgements. The author thanks Yu.L. Gurevich, D.Sc. in Physics and Mathematics, and V.P. Ladygina, Ph.D. in Physics and Mathematics, from the FRC KSC of the SB RAS, Krasnoyarsk, for their recommendations and assistance at different stages of paper preparation. The work was carried out within the framework of the basic project of the TuvIENR of the SB RAS no. 121030200250-4.

REFERENCES

- Babushkina E., Belokopytova L., Zhirnova D., Barabantsova A., Vaganov E. Divergent growth trends and climatic response of *Picea obovata* along elevational gradient in Western Sayan Mountains, Siberia, *Journal of Mountain Science*, 2018, vol. 15, no. 1, p. 2378–2397.
- Barinov V.V., Myglan V.S., Tainik A.V., Oidupaa O.C., Vaganov E.A. [Extreme climatic events in the Republic of Tyva on dendrochronological data], *Problemy botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii* [Problems of botany of Southern Siberia and Mongolia], 2014, no. 13, p. 279–280. (In Russian)
- Bocharnikov M.V. Svyaz' fitocenoticheskogo raznoobraziya severovostochno-zabajkal'skogo orobioma s bioklimaticheskimi pokazatelyami [Relationship of phytocenotic diversity of the North-Eastern Transbaikalian orobiome with bioclimatic parameters], *Botanicheskii Zhurnal*, 2022, vol. 107, no. 3, p. 211–236. (In Russian)
- Camarretta N., Harrison P.A., Bailey T., Potts B., Hunt M., Lucieer A., Davidson N. Monitoring forest structure to guide adaptive management of forest restoration: a review of remote sensing approaches, *New Forests*, 2020, vol. 51, no. 4, p. 573–596.
- Fang S., He Z. Fifty years of change in a coniferous forest in the Gilian mountains, China – advantages of high-definition remote sensing, *Forests*, 2020, vol. 11, p. 1–16.
- Gaisin I.K., Moiseev P.A., Makhmutova I.I., Nizametdinov N.F., Moiseeva O.O. Expansion of tree vegetation in the forest-steppe ecotone on the Southern Urals in relation to changes in climate and habitat moisture, *Russian Journal of Ecology*, 2020, no. 4, p. 306–318.
- Gao B. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vega liquid water from space, *Remote sensing of Environment*, 1996, vol. 58, p. 257–266.
- Kedrovye lesa Sibiri* [Cedar forests of Siberia], I.V. Semechkin, N.P. Polikarpov, A.I. Novosibirsk et al. (auth.), Science Publ., 1985, 256 p. (In Russian)
- Kharuk V.I., Petrov I.A., Dvinskaya M.L., Im S.T., Shushpanov A.S. Comparative reaction of larch (*Larix sibirica* Ledeb.) radial increment on climate change in the forest steppe and highlands of Southern Siberia, *Sibirskiy Ekologicheskii zhurnal*, 2018, no. 4, p. 388–395.
- Koshkarov A.D., Koshkarova V.L., Nazimova D.I. Mnogovekovye klimaticheskie trendy transformacii kedrovnikov v raznyh lesorastitel'nyh zonah gor Zapadnogo Sayana [Centuries-old climatic trends of transformation of the Siberian stone pine forests in different forest vegetation zones of the Western Sayan Mountains], *Sibirskiy lesnoj zhurnal*, 2021, no. 2, p. 3–16. (In Russian)
- Kueppers L.M., Conlisk E., Castanha C., Moyes A., Germino M.J., Valpine de P., Mitton J. Warming and provenance limit tree recruitment across and beyond the elevation range of subalpine forest, *Global Change Biology*, 2017, vol. 23, p. 2383–2395.
- Kukhta A.E. Linejnyj prirost derev'ev kak indikator sostoyaniya sredy [Linear growth of trees as an indicator of the state of environment], *Sibirskiy Ekologicheskii zhurnal*, 2003, no. 6, p. 767–771. (In Russian)
- Kuular Kh. Application of remote sensing data for the assessment of the Ujuk mountaun boreal forests (the Tyva Republic, Russia), *Geography, Environment, Sustainability*, 2016, no. 1(9), p. 87–93.
- Misi D., Puchalka R., Pearson C., Robertson I., Koprowski M. Differences in the Climate-Growth Relationship of Scots Pine: A Case Study from Poland and Hungary, *Forests*, 2019, vol. 243(10), p. 1–12.
- Park S.J., Lee D.K., Jeong S.G., Jang D.S., Park K.M., Park Y., Kim S.H., Mo Y.W. Phenological analysis of sub-alpine forest on Jeju island, South Korea, using data fusion of Landsat and Modis products, *Forests*, 2021, vol. 12(3), p. 1–12.
- Petrov I.A., Shushpanov A.S., Golyukov A.S., Kharuk V.I. Vozdeistvie izmenenii klimata na radial'nyy prirost Pinus sibirica Du Tour v gornyx lesakh Kuznetskogo Alatau [*Pinus sibirica* Du Tour response to climate change in the forests of the Kuznetsk Alatau Mountains], *Sibirskiy lesnoj zhurnal*, 2019, no. 5, p. 43–53. (In Russian)
- Polikarpov N.P., Tchebakova N.M., Nazimova D.I. *Klimat i gornye lesa Yuzhnoj Sibiri*, Novosibirsk, Nauka Publ., 1986, 226 p. (In Russian)
- Prikhodko V.E., Blyakharchuk T.A., Kilunovskaya M.E. Reconstruction of climate, soils and vegetation in the Turan-Uyuk basin at the beginning of the Sub-Atlantic period of the Holocene, *Eurasian Soil Science*, 2018, no. 8, p. 865–879.
- Rouse J.W., Haas R.H., Shell J.A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium* (10–14 December 1973, Washington, DC), 1973, vol. 1, p. 309–317.
- Shiyatov S.G., Terent'ev M.M., Fomin V.V., Zimmermann N.E. *Vertikal'nyy i gorizontall'nyy sdvigi verkhney granitsy redkolesiy i somknytykh lesov v XX stoletii na Polyarnom Urale* [Altitudinal and horizontal shifts of the upper boundaries of open and closed forests in the Polar Urals in the 20th century], *Ekologiya*, 2007, no. 4, p. 223–227. (In Russian)
- Tajnik A.V., Myglan V.S., Barinov V.V., Oidupaa O.C., Nazarov A.N. Prirost listvenitsy sibirskoj (*Larix sibirica* Ledeb.) na verhnjej granice lesa v Respublike Tyva [Growth of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) at the upper border of forests in the Republic of Tyva], *Geografiya i prirodnye resursy*, 2015, no. 2, p. 91–99. (In Russian)
- Telnova N.O. Vyyavlenie i kartografirovaniye mnogoletnih trendov NDVI dlya ocenki vklada izmenenij klimata v dinamiku biologicheskoy produktivnosti agroekosistem lesostepnoj i stepnoj zon Severnoj Evrazii [Revealing and mapping long-term NDVI trends for the analysis of climate change contribution to agroecosystems' productivity dynamics in the Northern Eurasian forest-steppe and steppe], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, vol. 14, no. 6, p. 97–107. (In Russian)
- Tipy lesov gor Yuzhnoj Sibiri*, V.N. Smagin, S.A. Il'inskaya, D.I. Nazimova, I.F. Novosel'ceva, Yu.S. Tcherednikova (eds.), Novosibirsk, Nauka Publ., 1980, 336 p. (In Russian)
- Vicente-Serrano S.M., Lasanta T., Gracia C. Aridification determines changes in forest growth in *Pinus halepensis* forests under semiarid Mediterranean climate conditions, *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, vol. 150(4), p. 614–628.
- Vlasenko V.I. Dinamika lesnykh biogeocенозов ohranyayemykh territorij gor Yuzhnoj Sibiri na ih verhnem i nizhnem

nem predelah rasprostraneniya [The dynamics of forest ecosystems along the upper and lower limits of their extent in protected mountain regions of Southern Siberia], *Krylovia*, 2001, vol. 3, no. 2, p. 21–34. (In Russian)

Web sources

Cazzolla R.G., Callaghan T., Velichevskaya A., Dudko A., Fabbio L., Battipaglia G., Liang J. Accelerating upward treeline shift in the Altai Mountains under last century climate change, *Scientific Reports*, 2019, no. 9, p. 7678, DOI: 10.1038/s41598-019-44188-1.

Ivanova Y., Soukhovolsky V. Modeling the Boundaries of Plant Ecotones of Mountain, *Ecosystems Forests*, 2016, no. 7(11), p. 271, DOI: 10.3390/f7110271.

Tchebakova N.M., Parfenova E.I., Bazhina E.V., Soja A.J., Groisman P.Ya. Droughts are not the likely primary cause for *Abies sibirica* and *Pinus sibirica* forest dieback in the South Siberian Mountains, *Forest*, 2022, vol. 13, p. 1378, DOI: 10.3390/f13091378.

Mantgem van P.J., Stephenson N.L., Byrne J.C., Daniels L.D., Franklin J.F., Fulé P.Z., Harmon M.E., Larson A.J., Smith J.M., Taylor A.H., Veblen T.T. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States, *Science*, 2009, vol. 323, p. 521–524, DOI: pdf/10.1126/science.1165000 (access date 21.03.2022).

Zhang Y., Liu L.-Y., Liu Y., Zhang M., An C.-B. Response of altitudinal vegetation belts of the Tianshan mountains in northwestern china to climate change during 1989–2015, *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, p. 4870, DOI: 10.1038/s41598-021-84399-z.

Received 29.04.2022

Revised 05.11.2022

Accepted 22.02.2023

ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ХОДЕ РАЗВИТИЯ БОРЕАЛЬНОЙ ТРАНСГРЕССИИ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ БЕЛОГО МОРЯ НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ РАЗРЕЗА БЫЧЬЕ-2

Е.Е. Талденкова¹, Я.С. Овсепян², О.В. Руденко³, А.Ю. Степанова⁴, Х.А. Баух⁵

^{1,2} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена

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

² Геологический институт РАН, лаборатория биостратиграфии и палеогеографии океанов, ст. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук; e-mail: yaovsepyan@yandex.ru

³ Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Институт естественных наук и биотехнологии, кафедра географии, экологии и общей биологии, доц., канд. геогр. наук; e-mail: olrudenko2011@yandex.ru

⁴ Палеонтологический институт РАН, лаборатория протистологии,

ст. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук; e-mail: a.yu.stepanova@gmail.com

⁵ Институт полярных и морских исследований имени Альфреда Вегенера, Бремерхафен/ГЕОМАР, Киль, Германия, Ph.D.; e-mail: hbauch@geomar.de

Комплексное детальное изучение (литология, микропалеонтология, палинология) толщи морских осадков мощностью 455 см, залегающих на морене московского возраста в разрезе Бычьё-2 на р. Пезе, позволило восстановить историю изменений палеосреды в ходе развития бореальной трансгрессии. Стратиграфическое подразделение осадков основано на смене локальных палинологических зон, сопоставленных с ранее выделенными региональными подразделениями, имеющими возрастные привязки на основе корреляции с палинозонами Западной Европы. Накопление морских отложений в разрезе Бычьё-2 происходило с конца московского оледенения (>131 т.л.н.) до ~119,5 т.л.н. В разрезе выделено пять экзон на основании изменений комплексов бентосных фораминифер и остракод, морских цист динофлагеллат и колониальных пресноводных зеленых микроводорослей, которые тесно связаны с направленным изменением литологических характеристик. В совокупности они свидетельствуют о прогрессирующем обмелении бассейна на фоне улучшения климатических условий, что влияло прежде всего на степень его ледовитости. Выделены три последовательные фазы в развитии бореальной трансгрессии: 1) приглубого прибрежного ледовитого опресненного бассейна начальных фаз затопления (455–360 см, >131–130,5 т.л.н.); 2) менее ледовитого наиболее глубокого бассейна максимальной фазы затопления (360–290 см, 130,5–130,25 т.л.н.); 3) мелководного бассейна с сокращенным сезонным ледовым покровом (290–0 см, 130,25–119,5 т.л.н.). Затопление территории холодными арктическими водами было быстрым, о чем свидетельствует состав комплексов микрофоссилий, в которых помимо мелководных арктических видов присутствуют виды, предпочитающие глубины не менее 40–50 м. Регрессия в регионе началась около 130 т. л. н., что свидетельствует об опережающем гляциостатическом поднятии территории по отношению к глобальному эвстатическому подъему уровня моря. Наиболее тепловодные и достаточно разнообразные в видовом отношении комплексы фораминифер и остракод, содержащие виды, которые характерны для Балтийского моря, отмечены в регрессивную стадию в интервале ~128–124 т.л.н., что, возможно, свидетельствует о достаточно длительном по времени соединении Белого и Балтийского морей.

Ключевые слова: поздний неоплейстоцен, микулинское (земское) межледниковье, бентосные фораминиферы, остракоды, водные палиноморфы, северо-восток Беломорского региона

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.5

ВВЕДЕНИЕ

В связи с наблюдаемыми в последние десятилетия климатическими изменениями, наиболее выраженными в Арктике и Субарктике, растет интерес к реконструкциям климатически обусловленных изменений палеосреды во время предыдущих межледниковых и дегляциальных эпох. Становится актуальным изучение таких теплых эпох, как последнее межледниковье морской изотопной стадии (МИС) 5е

и предшествовавшей ему ледниковой терминации II в конце МИС 6, которые совпадают по времени с концом заальского оледенения и земским межледниковьем Западной Европы и концом московского оледенения и началом микулинского межледниковья европейской России, от примерно 130 до 115 тыс. лет назад (т.л.н.) [Dalton et al., 2022]. Этому потеплению частично соответствует послеледниковая бореальная (микулинская, земская) трансгрессия, отло-

жения которой встречаются на европейском севере России, в северной Европе и Скандинавии [Лаврова, 1961; Гудина, Евзеров, 1973; Девятова, 1982; Ikonen, Ekman, 2001; Funder et al., 2002; Grøsfjeld et al., 2006; Korsakova, 2009; Miettinen et al., 2014; Zaretskaya et al., 2021; Dalton et al., 2022].

Одним из важнейших вопросов в истории развития бореальной трансгрессии является взаимосвязь Арктики и Атлантики, а именно, проникновение теплых и соленых атлантических вод в Баренцево и Белое моря, характер и длительность соединения Белого и Балтийского морей. Продолжительность соединения оценивается по-разному: от 2,5–3 тыс. лет по ископаемым комплексам моллюсков [Funder et al., 2002] до 6 тыс. лет по ископаемым ассоциациям диатомей [Ikonen, Ekman, 2001; Miettinen et al., 2014]. Для начала микулинского (эемского) времени вопрос, была ли в действительности адвекция атлантических вод в данные районы более мощной по сравнению с голоценом, остается нерешенным [Bauch et al., 1999; Miettinen et al., 2014]. С одной стороны, быстрое продвижение на север теплолюбивой растительности в условиях морского климата [Гричук, 1989; Zagwijn, 1996] свидетельствует о значительном потеплении. Появление термофильных видов морской макро- и микрофауны в Белом море и в Карелии уже в начале межледниковья [Ikonen, Ekman, 2001; Funder et al., 2002; Grøsfjeld et al., 2006] объясняется притоком

атлантических вод. С другой стороны, палеоокеанологические данные, полученные из одновозрастных отложений Норвежского моря и пролива Фрама, свидетельствуют о противоположной тенденции – о более холодных поверхностных температурах вод в эемское время по сравнению с голоценом и существенном ослаблении притока поверхностных атлантических вод из-за большого объема талых ледниковых вод вплоть до середины (127 т.л.н.) или конечной стадии (118–116 т.л.н.) эемской эпохи [Bauch et al., 1999; Bauch, 2013; Rasmussen et al., 2003; Nieuwenhove van et al., 2011; Zhuravleva et al., 2017]. В этой связи важное значение приобретают детальные и комплексные региональные исследования разрезов морских отложений, позволяющие реконструировать ход развития трансгрессии в контексте с палеоклиматическими изменениями.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведено детальное комплексное изучение разреза Бычьё-2, расположенного на правом берегу р. Пёза в 5 км вниз по течению от ранее изученного разреза Бычьё-1 [Девятова, 1982; Grøsfjeld et al., 2006] (рис. 1). Разрез морских отложений мощностью 455 см залегает непосредственно на красноцветных валунных суглинках, вскрытых в урзе воды и интерпретируемых в регионе как морена московского оледенения, а сверху перекрывается песками аллювиального (?) происхождения (рис. 2).

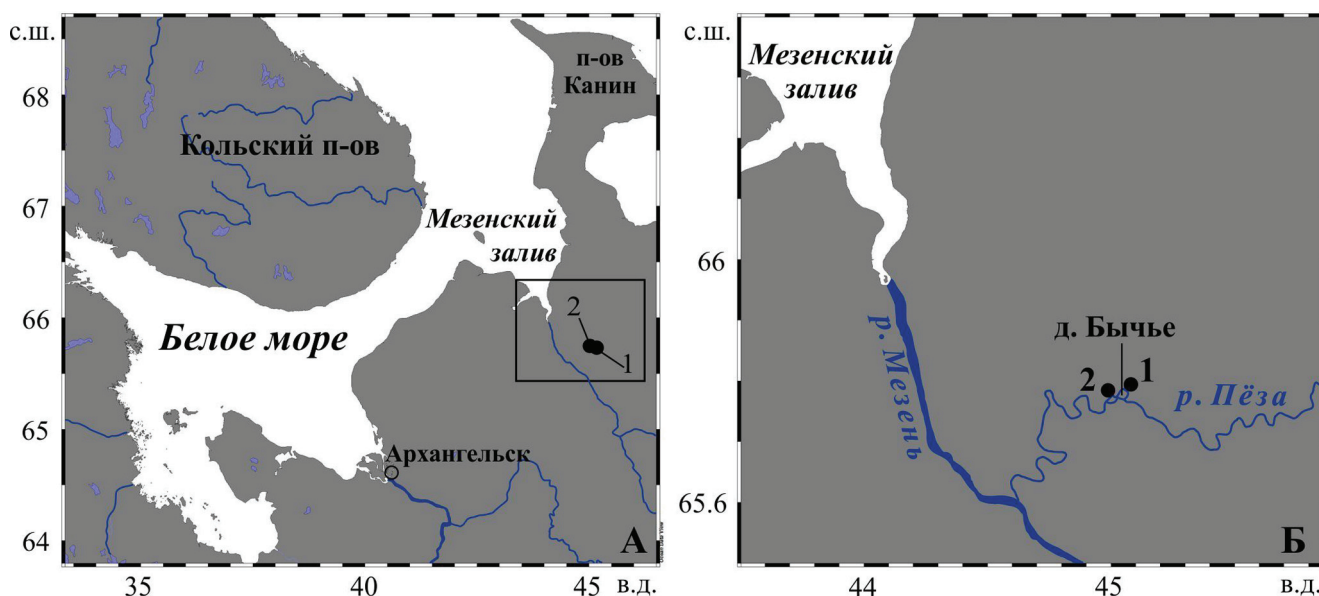


Рис. 1. Географическое положение ранее изученного разреза Бычьё-1 [Девятова, 1982; Grøsfjeld et al., 2006] (1) и исследованного разреза Бычьё-2 (2):

А – в регионе Белого моря; Б – в нижнем течении р. Пёза около дер. Бычьё в пределах квадрата, выделенного на рис. А

Fig. 1. Geographical location of the previously studied Bychye-1 section [Devyatova, 1982; Grøsfjeld et al., 2006] (1) and the studied Bychye-2 section (2):

A – in the White Sea Region; Б – in the lower reaches of the Pyoza River near Bychye village within the square highlighted in (A)

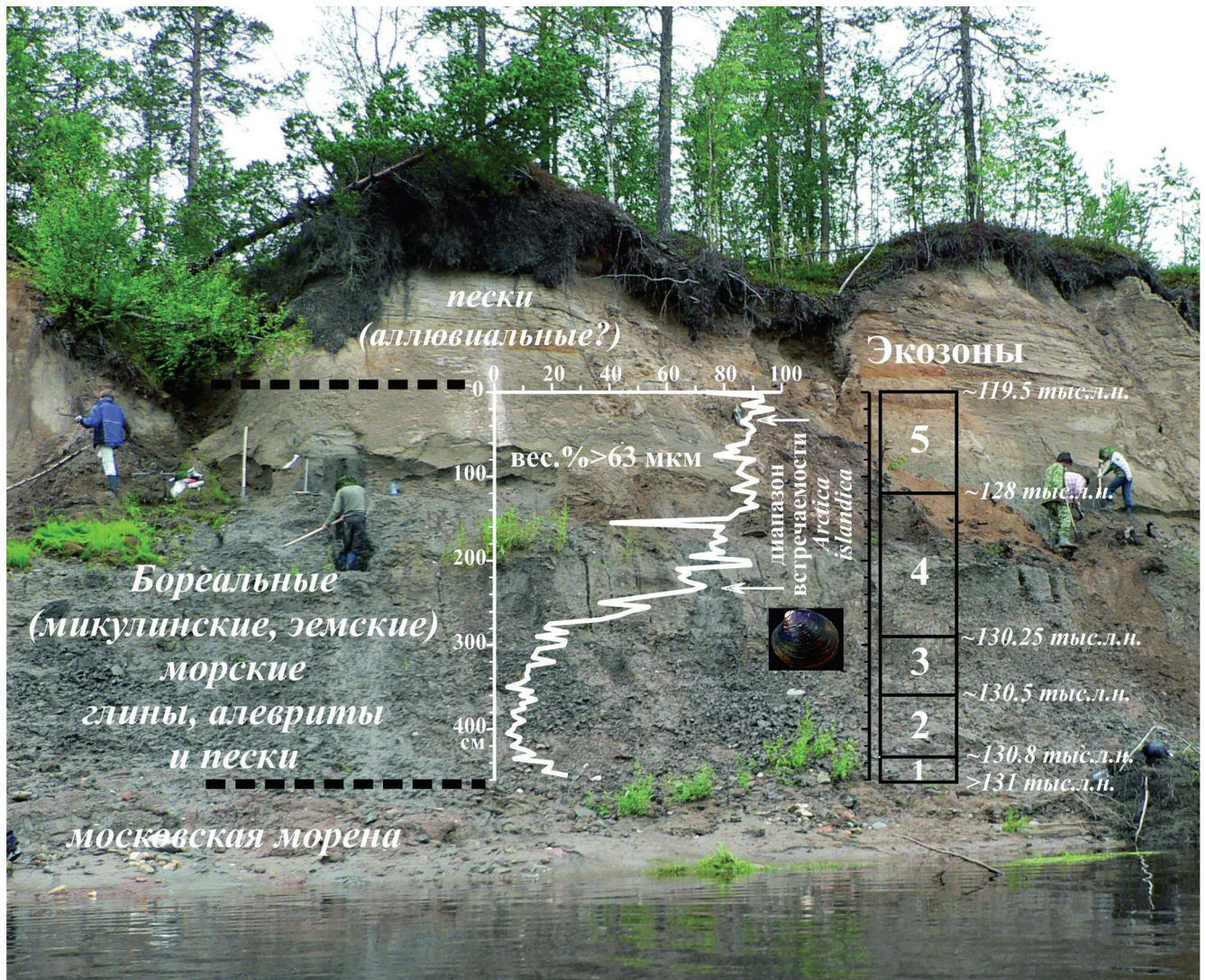


Рис. 2. Фотография участка обрыва правого берега р. Пёза в месте расположения исследованного разреза Бычье-2. Показаны: границы разреза морских осадков бореальной трансгрессии; график весового процентного содержания фракции >63 мкм; диапазон встречаемости раковин мелководного субарктического вида моллюсков *Arctica islandica*; экозоны, выделенные по микрофауне и водным палиноморфам, с предполагаемым возрастом их границ

Fig. 2. Photograph of the right bank of the Pyoza River at the location of Bychye-2 section. Shown: boundaries of the marine Boreal sediment sequence; weight percentage of >63 μm fraction; occurrence range of the shallow-water subarctic mollusk species *Arctica islandica*; ecozones identified by microfauna and aquatic palynomorphs with the estimated age of their boundaries

Комплексность исследования обусловлена сочетанием литологического, микрофаунистического и палинологического (споры, пыльца, водные непыльцевые палиноморфы) анализов. Образцы мощностью 2 см отобраны по всему разрезу с интервалом 5 см, что обеспечило высокую детальность проведенных исследований; для сравнения – ранее изученный разрез Бычье-1 был опробован с интервалом 50 см [Grøsfjeld et al., 2006].

Для литологического и микрофаунистического анализов осадок промывался на сите с диаметром ячеей 63 мкм, что позволило определить весовое процентное содержание (вес. %) фракции >63 мкм (см. рис. 2). Численность микрофауны во фракции

>63 мкм определялась относительно веса сухого непромывного осадка; на 1 г для многочисленных бентосных фораминифер, и на 100 г для редких остракод (рис. 3). Видовое разнообразие представлено как количество видов на образец. Для фораминифер подсчитывалось процентное содержание видов в образце, для остракод данные о содержании конкретных видов даны в виде количества экземпляров на 100 г осадка. Специального исследования ископаемых моллюсков не проводилось, но при отборе образцов отмечался видовой состав встреченных раковин. Установлен диапазон встречаемости мелководного субарктического вида *Arctica islandica* (см. рис. 2).

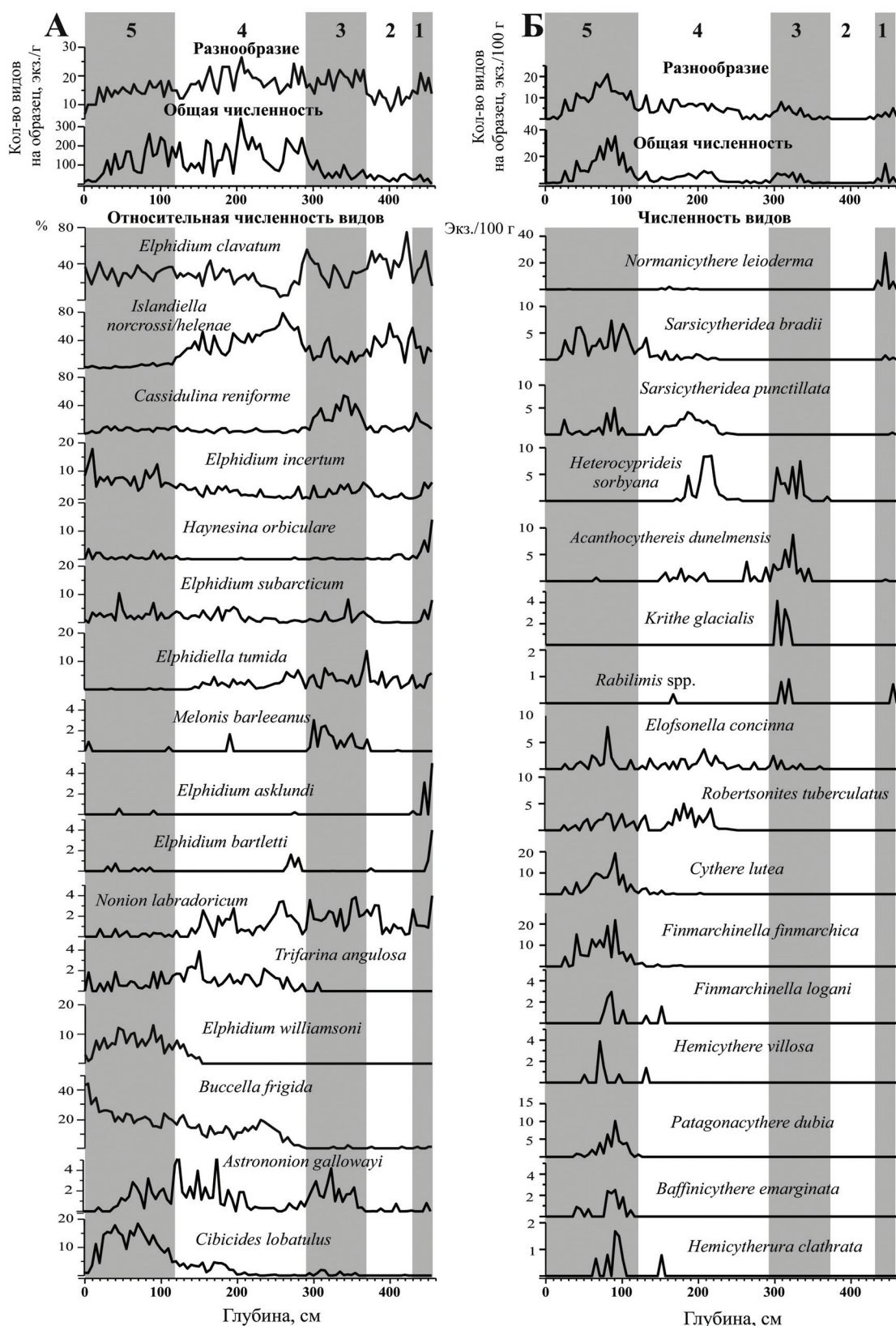


Рис. 3. Распределение по разрезу Бычье-2 ископаемых бентосных фораминифер (А) и остракод (Б). Показаны: видовое разнообразие, общая численность и содержание наиболее массовых и/или экологически значимых видов. Цифры от 1 до 5 сверху обозначают экозоны, выделенные по микрофауне и водным палиноморфам в сочетании с литологическими характеристиками осадка

Fig. 3. Distribution of fossil benthic foraminifers (А) and ostracods (Б) along Bychye-2 section. Shown: species diversity, total abundance and content of the most common and/or ecologically significant species. Numbers from 1 to 5 at the top indicate ecozones identified by microfauna and aquatic palynomorphs in combination with lithological characteristics

Главной задачей палинологической части исследования разреза Бычье-2 было его палиностратиграфическое расчленение на основе изучения изменений состава палинокомплексов и таксонов-биомаркеров (рис. 4). В процессе пыльцевого анализа было отмечено, что в препаратах постоянно встречаются немногочисленные непыльцевые палиноморфы – цисты динофлагеллат морского генезиса и пресноводные колониальные зеленые водоросли, несущие важную палеоэкологическую информацию. Их состав также был изучен в дополнение к спорам и пыльце (рис. 5). При этом мы принимаем во внимание тот факт, что ассоциация палиноморф неполная в связи с тем, что образцы подвергались довольно агрессивному способу про-

подготовки стандартным сепарационным методом с применением тяжелой жидкости ($KJ + CdJ_2$) с удельным весом $2,2 \text{ г/см}^3$. Идентификация микрофоссилий под микроскопом проведена при увеличении $\times 400$ с привлечением электронной базы фото непыльцевых палиноморф [NPP database..., 2022]. Латинские названия даны по [AlgaeBase..., 2020; Komárek, Jankovská, 2001; Komárek, Marvan, 1992; Taxonomy..., 2020]. Их относительная концентрация определялась путем добавления в осадок перед началом обработки таблетки с фиксированным числом спор-маркеров *Lycopodium clavatum* [Stockmarr, 1971]. Для подсчета концентрации и процентных соотношений использован пакет программ Tilia/TGView2.02.

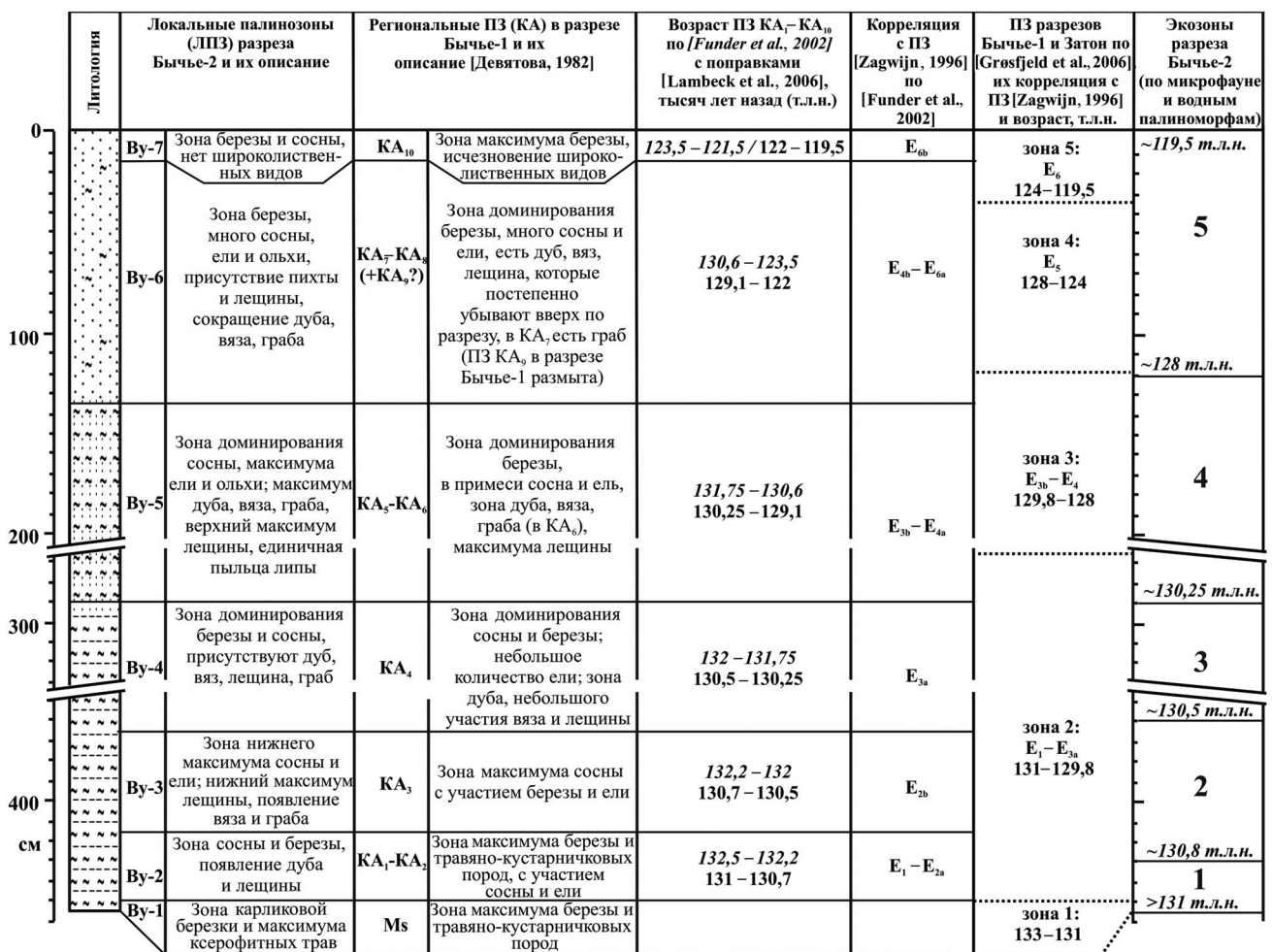


Рис. 4. Палинологическая характеристика отложений разреза Бычьё-2, корреляция локальных палинозон разрезов Бычьё-2 (Бу) и Бычьё-1 (КА) [Девятова, 1982], корреляция региональных палинозон Карелии и Беломорского региона (КА) [Девятова, 1982] с западноевропейскими и их возрастные оценки согласно [Funder et al., 2002] с поправками [Lambeck et al., 2006], возрастные границы экозон разреза Бычьё-2

Fig. 4. Palynological characteristics of Bychye-2 sediment sequence; correlation of the local palynozones of Bychye-2 (By) and Bychye-1 (KA) sections [Devyatova, 1982]; correlation of the regional palynozones of Karelia and the White Sea Region (KA) [Devyatova, 1982] with Western European palynozones, and their age estimates according to [Funder et al., 2002] with modifications of [Lambeck et al., 2006], age boundaries of the ecozones of Bychye-2 section

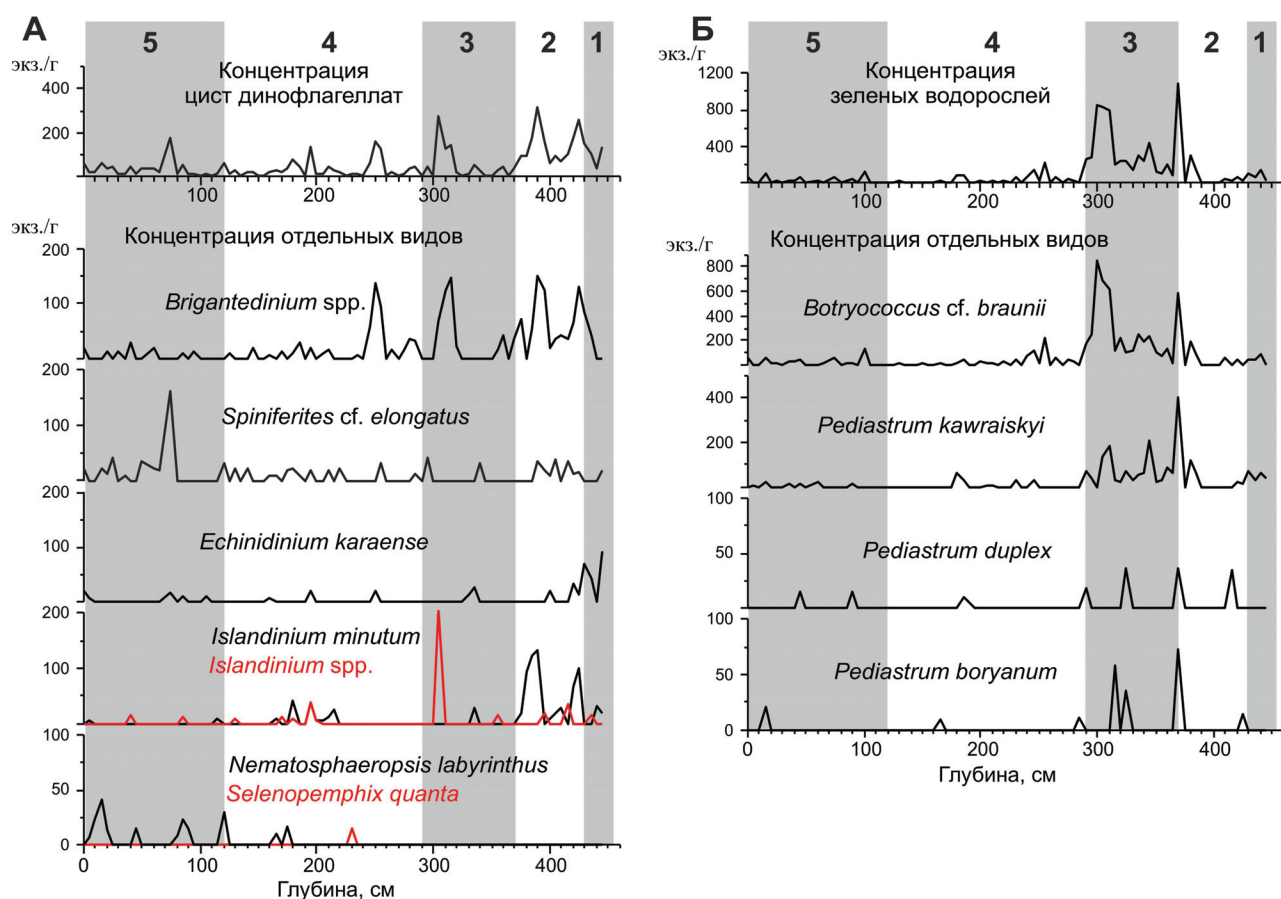


Рис. 5. Распределение по разрезу Бычье-2 ископаемых цист динофлагеллят (А) и пресноводных зеленых микроводорослей (Б).

Цифры от 1 до 5 сверху обозначают экононы, выделенные по микрофауне и водным палиноморфам в сочетании с литологическими характеристиками осадка

Fig. 5. Distribution of fossil dinocysts (А) and freshwater green microalgae (Б) along the Bychye-2 section.

Numbers from 1 to 5 at the top indicate ecozones identified by microfauna and aquatic palynomorphs in combination with lithological characteristics

По совокупности данных об изменениях литологии осадков, состава ископаемых комплексов бентосной микрофауны и ассоциаций водных палиноморф в разрезе Бычье-2 выделены пять экононов, отражающих основные этапы изменения палеосреды региона (см. рис. 2–5). Возрастные границы экононов определялись на основе данных, указанных на рис. 4, с применением метода интерполяции, исходя из предположения о равномерности скоростей осадконакопления между датированными границами палинозон.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Литология осадков. При анализе данных по вес. % содержанию фракции >63 мкм (см. рис. 2) отмечается направленное укрупнение гранулометрического состава осадков от алевроитистых глин в нижней части разреза (455–300 см), к алевроитам и алевроитистым пескам средней части разреза (300–135 см) и к пескам с примесью алевроита верхней части разреза.

Бентосные фораминиферы. Численность фораминифер сильно варьирует по разрезу с максимумом в интервале 300–100 см (200–300 экз./г) (см. рис. 3). Видовое разнообразие распределено более равномерно, в среднем 10–20 видов на образец, сокращаясь на глубинах 430–370 см и 0–20 см.

Изменения видового состава фораминифер, как наиболее многочисленной группы микрофоссилий, легли в основу выделения экононов (см. рис. 3). Подавляющее большинство видов, присутствующих в разрезе Бычье-2, являются типичными обитателями шельфов арктических морей, к числу более тепловодных элементов можно отнести только *Elphidium williamsoni* и *Trifarina angulosa*, которые появляются в верхней части разреза.

В интервале 455–430 см (экозона 1) доминируют типичные арктические виды *Elphidium clavatum*, *Cassidulina reniforme* и *Islandiella norcrossi/helenae*. Эти виды составляют основу ископаемых комплексов фораминифер, особенно в экононах 1–4. *E. clavatum* преобладает в нижних 15 см разреза,

в этом же интервале велико содержание таких видов, как *Haynesina orbiculare*, *Elphidium incertum*, *E. asklundi*, *E. bartletti*, которые характерны для опресненных арктических мелководий вблизи устьев рек [Polyak et al., 2002]. Выше более многочисленными становятся виды среднего и внешнего шельфов *C. reniforme* и *I. norcrossi/helenae*. В то же время надо отметить, что даже в самом основании разреза в составе комплекса присутствуют виды, характерные для удаленных от устьев рек районов арктических шельфов, такие как *Nonion labradoricum*, *Astrononion gallowayi*.

В интервале 430–370 см (экозона 2) на фоне существенного сокращения биоразнообразия доминируют два вида – *E. clavatum* и *I. norcrossi/helenae*. *E. clavatum* – оппортунистический арктический вид, достигающий высокой численности в условиях, неблагоприятных для большинства видов, таких как опреснение, высокая ледовитость, повышенная мутность вод. *I. norcrossi* и *I. helenae* обитают на удалении от берега, достигая высокой численности у края сезонных льдов, к которому приурочены вспышки повышенной продуктивности в период весеннего цветения диатомовых водорослей [Polyak et al., 2002].

Интервал 370–290 см (экозона 3) характеризуется преобладанием арктического оппортунистического вида *C. reniforme*, предпочитающего холодные и соленые придонные воды среднего шельфа [Steinsund, 1994; Polyak et al., 2002]. Уменьшается содержание вида *E. clavatum*. Некоторое увеличение процентного содержания таких видов, как *A. gallowayi* и *Elphidium subarcticum*, указывает на активизацию придонной гидродинамики. Присутствует вид *N. labradoricum*, связанный со вспышками сезонной продуктивности у края сезонных льдов [Polyak et al., 2002]. Важной чертой данного комплекса является присутствие относительно глубоководного вида *Melonis barleeanus*.

Интервал 370–120 см (экозона 4) характеризуется ростом численности до максимальных значений около 300 экз./г и видового разнообразия фораминифер до 27 видов на образец. Сокращается численность *E. clavatum* и *C. reniforme*, доминирующее положение занимает *I. norcrossi/helenae*, появляются относительно тепловодные виды *E. williamsoni* и *T. angulosa*. Последний вид, наряду с *A. gallowayi*, *E. subarcticum* и *Cibicides lobatulus*, характерен для активных придонных обстановок и относительно грубозернистых грунтов [Steinsund, 1994]. Увеличивается процентное содержание мелководного вида *Buccella frigida*.

Самый верхний интервал 120–0 см (экозона 5) демонстрирует направленное снижение численности и видового разнообразия фораминифер, до-

минирование *E. clavatum*, *B. frigida* и *C. lobatulus*, рост содержания видов мелководного арктического шельфа, которые присутствовали в основании разреза, а также достаточно высокое содержание относительно тепловодного и мелководного вида *E. williamsoni*.

Остракоды. Немногочисленные по разрезу остракоды также изменяются по численности (до 40 экз./100 г) и таксономическому составу (до 20 видов на образец) (см. рис. 3).

В пределах экононы 1 они представлены морским видом *Normanicythere leioderma*, характерным для арктических шельфовых морей на глубинах до 50 м, а в составе экононы 2 вообще отсутствуют.

Более разнообразный арктический комплекс характерен для экононы 3. В нем доминируют морские виды *Acanthocythereis dunelmensis*, *Elofsonella concinna*, а также эвригалинный вид *Heterocyprideis sorbyana*. Как и в случае с бентосными фораминиферами, здесь также присутствуют относительно глубоководные виды *Krithe glacialis* и *Rabilimys* sp.

Выше по разрезу в пределах эконон 4 и 5 увеличивается численность, и комплекс становится более разнообразным, в том числе благодаря появлению морских видов *Sarsicytheridea punctillata*, *S. bradii*, *Robertsonites tuberculatus*, характерных для среднего и внешнего арктического шельфа [Stepanova et al., 2003, 2007]. Выше по разрезу к ним добавляются мелководные и более тепловодные бореальные морские *Cythere lutea*, *Hemicytherura clathrata*, *Hemicythere villosa*, характерные для Балтийского моря [Frenzel et al., 2010; Stepanova et al., 2019] и не встреченные в высокоарктических шельфовых морях. В некоторых образцах из экононы 5 тепловодные и мелководные виды преобладают над арктическими шельфовыми видами.

Водные палиноморфы. Концентрация морских цист динофлагеллат наиболее высока в экозоне 2 (100–300 экз./г), сокращаясь выше по разрезу (см. рис. 5). В экозоне 1 преобладают цисты *Echinidinium karaense*, гетеротрофного вида, обильного в регионах с многомесячным ледовым покровом и коротким продуктивным сезоном, также характерного для опресненных приустьевых районов и дельт [Vernal et al., 1997; Marret, Zonneveld, 2003]. Выше по разрезу его концентрация резко снижается до единичных находок, а доминантами ассоциации в пределах эконон 2–4 становятся гетеротрофные криофильные *Islandinium minutum* и *Brigantedinium* spp. В верхней части экононы 4 и в экозоне 5 появляются цисты автотрофного (фотосинтезирующего) вида *Nematosphaeropsis labyrinthus* и увеличивается концентрация *Spiniferites* cf. *elongatus*, что, в целом, можно считать сигналом потепления вод бассейна и уменьшения его ледовитости. Зеленые водоросли,

представленные *Botryococcus cf. braunii*, *Pediastrum kawraiskyi*, *P. duplex*, *P. boryanum*, многочисленны только в составе экононы 3.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Возрастные определения экононы даны в соответствии с рис. 4, на котором показана последовательность корреляций выделенных нами локальных палинозон (ЛПЗ) разреза Бычье-2 (Бу) с региональными палинозонами Карелии и Архангельской области (КА), установленными в разрезе Бычье-1 [Девятова, 1982]. Последние были ранее скоррелированы [Funder et al., 2002; Lambeck et al., 2006] с палинозонами Западной Европы и России [Müller, 1974; Zagwijn, 1996; Grichuk, 1984]. Также на рис. 4 указаны возрастные границы палинозон разрезов Затон и Бычье-1, принятые в работе [Grøsfjeld et al., 2006]. Высокая точность границ палинозон в нижней части исследованного разреза возрастом от >131 до 130,25 т.л.н. связана с тем, что изначально длительность быстро сменявших друг друга палинозон начальной стадии эемского межледникового была определена в ленточных глинах скважины озерных отложений в Bispingen (северная Германия) методом ручного подсчета годовых слоев [Müller, 1974]. Zagwijn (1983) привязал максимальный уровень эемского моря к первой половине палинозоны E5. На основании полученных по кораллам датировкам максимума глобального уровня моря в 128 ± 1 т.л.н. и принятых временных рамок европейских палинозон, начало эемского межледникового предложено отсчитывать от 131 т.л.н. [Funder et al., 2002; Lambeck et al., 2006; Beets et al., 2006]. Кроме того, нами были использованы возрастные реперы появления/исчезновения тех или иных видов, определенные в разрезе Пески на Карельском перешейке [Miettinen et al., 2014].

Экононы 1 возрастом >131–130,8 т.л.н. соответствует концу ледниковой эпохи с господством перигляциальной растительности (ЛПЗ Бу-1) и переходу к межледниковым условиям, в которых началось распространение древесной растительности (ЛПЗ Бу-2). Затопление территории было быстрым, на это указывают глинистый состав осадков в сочетании с видовым составом бентосных фораминифер и остракод, среди которых присутствуют арктические виды среднего и внешнего шельфа даже в слоях, залегающих непосредственно на морене. Их наличие предполагает, что палеобассейн имел глубину не менее 40–50 м и придонную соленость около 30‰. Вместе с тем многочисленность бентосных фораминифер, характерных для прибрежных районов арктических морей, указывает на значительное опреснение поверхностных вод и наличие стратификации, преимущественно, за счет поступления талых ледниковых

вод, а также на продолжительный сезонный ледовый покров. Последнее подтверждается доминированием среди цист динофлагеллат гетеротрофного *E. karaense*, обитающего в узком диапазоне температур и выдерживающего пониженную соленость из-за обильного таяния льда в районах с многомесячным ледовым покровом и коротким продуктивным сезоном, в том числе в опресненных приустьевых районах [Vernal et al., 1997].

Экононы 2 соответствует интервалу ~130,8–130,5 т.л.н., с которым связывается распространение в регионе хвойных лесов и неморальных элементов флоры (ЛПЗ Бу-3). Она характеризует условия дальнейшего углубления палеобассейна, судя по увеличению процентного содержания видов внешнего шельфа с доминированием *I. norcrossi/helenae*. Соленость придонных вод была не менее 30‰. Природные условия оставались суровыми, сохранялись значительная стратификация вод и продолжительный ледовый покров, о чем свидетельствуют присутствие среди доминирующих видов бентосных фораминифер *E. clavatum*, отсутствие остракод, преобладание гетеротрофных видов диноцист *I. minutum* и *Brigantedinium* spp., обитающих в узком диапазоне температур и условиях пониженной солености. Будучи тесно связанными в своем жизненном цикле с криофильными диатомовыми водорослями рода *Chaetoceros* [Polyakova et al., 2003], они чаще всего встречаются в поверхностном слое морской воды между тающими льдинами и полыньями. В работе [Grøsfjeld et al., 2006] связывается обилие *I. minutum* и *Brigantedinium* spp. в сочетании с *I. helenae* с краткостью продуктивного периода у края сезонных льдов в условиях низких температур.

Экононы 3 соответствует короткому промежутку времени 130,5–130,25 т.л.н. и периоду проникновения в состав сосново-березовых лесов некоторых широколиственных растений (ЛПЗ Бу-4). Именно в это время бореальный палеобассейн на данной территории достиг максимальных глубин более 50–70 м, так как только в этой экононе зарегистрированы наиболее глубоководные виды как среди бентосных фораминифер, так и среди остракод. Вид *M. barleeanus* обитает в районах арктического внешнего шельфа и верхнего континентального склона в условиях равномерного ограниченного поступления органики, часто в подводных трогах и котловинах [Polyak et al., 2002; Руденко и др., 2022]. Виды *K. glacialis* и *Rabilimis* sp. встречаются как на внешнем шельфе и верхнем континентальном склоне арктических морей [Stepanova et al., 2003, 2007], так и в пределах открытого Арктического бассейна [Gemery et al., 2015]. Подобные условия, по-видимому, создались вследствие быстрого эвстатического подъема уровня Мирового океана в

сочетании с сильным остаточным изостатическим прогибом территории, находившейся под ледником во время МИС 6. Бентосная микрофауна экозон 1–3 имеет отчетливо выраженный арктический облик. Так, например, все виды, кроме *Elphidiella tumida* среди бентосных фораминифер и *N. leioderma* среди остракод, встречены нами в поверхностных осадках моря Лаптевых [Stepanova et al., 2003, 2007; Овсепян, 2016]. Среди диноцист доминируют те же гетеротрофные виды, что и в экзоне 2, свидетельствуя об опреснении поверхностных вод и достаточно продолжительном сезонном ледовом покрове. Отличительной чертой экозоны 3 является максимум концентрации пресноводных зеленых водорослей. В основном они поступают в морские осадки с речным стоком [Matthiessen et al., 2000], поэтому можно предположить усиление речного влияния и его вклада в опреснение поверхностных вод в сравнении с экзонами 1 и 2, сформированных в условиях более активного флювиогляциального влияния. В то же время палеообстановки даже во время фазы максимального углубления бассейна могли быть похожи, скорее, на внешнюю часть фьорда, чем на удаленные от берега открытые части моря, тем более что даже вышеперечисленные относительно глубоководные виды встречаются во фьордах Шпицбергена и Новой Земли [Korsun et al., 1995; Szymańska et al., 2017; Mackiewicz, 2006]. В течение всего времени развития бореальной трансгрессии берег, вероятно, располагался сравнительно недалеко от разреза Бычье-2, а береговая линия была достаточно сильно изрезана, о чем свидетельствуют характерные особенности палиноспектров, непохожих на спектры открытого моря, в которых, как правило, доминируют легко плавающие споры папоротников и пыльца сосны.

Экозона 4 соответствует продолжительному интервалу времени от ~130,25 до 128 т.л.н. и сопоставляется с ЛПЗ Ву-5 и нижней частью ЛПЗ Ву-6, характеризующих наиболее благоприятные межледниковые условия и расцвет лесной растительности с большим участием сосны, ели, пихты, ольхи и наибольшим разнообразием широколиственных деревьев. Резкое увеличение вес. % песчаной и более крупных фракций в самом начале этой экзона (~130 т.л.н.), возможно, отражает обмеление бассейна на стадии регрессии. Примерно с середины зоны появляются раковины мелководного моллюска *A. islandica*. Об обмелении и активизации придонной гидродинамики свидетельствуют и изменения видового состава бентосных микрофоссилий, среди которых в большом количестве присутствуют *B. frigida* и *E. subarcticum*. Практически все виды фораминифер и остракод, отмеченные в осадках экзона 4, встречаются в разных зонах арктическо-

го шельфа, от внутренней до внешней. Выше появляются относительно тепловодные виды *T. angulosa* и *E. williamsoni*, а бентосные фораминиферы достигают максимума численности и видового разнообразия. В совокупности это позволяет сделать вывод об увеличении разнообразия биотопов за счет распространения обширных мелководий с прогреваемыми летом и активно перемешиваемыми водами, переходящих, в свою очередь, в открытые морские бассейны. На сокращение продолжительности ледового покрова указывает постепенное увеличение доли автотрофных (фотосинтезирующих) видов динофлагеллат.

Экозона 5 – самая длительная по времени существования, от 128 до 119,5 т.л.н. Она соответствует верхней части ЛПЗ Ву-6 и ЛПЗ Ву-7, отличительными чертами которых являются обеднение состава пылевых спектров, постепенное сокращение до полного исчезновения доли участия широколиственных растений и распространение березы. Эти характерные признаки означают конец земского потепления [Miettinen et al., 2014]. Если экзона 4 формировалась в наиболее теплых климатических условиях, как показывает состав растительности окружающей суши, то экзона 5 отражает наиболее тепловодные условия в морском бассейне в связи с увеличением площади прогреваемых мелководий. В ней достигают расцвета наиболее тепловодные и мелководные виды бентосных фораминифер и остракод с широким диапазоном адаптаций по солености. Наибольшее количество и разнообразие тепловодных и мелководных видов, не встречающихся в арктических морях, отмечено среди остракод, в особенности в первой половине экзона 5 (~128–124 т.л.н.). Наиболее примечательны *C. lutea*, *H. villosa*, *H. clathrata*, характерные для Балтийского моря [Frenzel et al., 2010; Stepanova et al., 2019]. Возможно, их проникновение в беломорский палеобассейн связано с более длительным периодом соединения этих морей, чем предполагается в [Funder et al., 2002]. Несмотря на то что в экзоне 5 вновь появляются бентосные фораминиферы, многочисленные в основании разреза и характерные для внутреннего шельфа арктических морей, придонная соленость, видимо, оставалась близкой к нормально морской, на что указывает высокая численность видов внешнего шельфа (*C. lobatulus*, *A. gallowayi*). Увеличение количества цист автотрофных видов динофлагеллат предполагает сокращение ледового покрова и некоторое усиление морского влияния. Снижение численности всех групп микрофоссилий в верхних 15–20 см разреза совпадает с исчезновением широколиственных растений на суше и означает окончание бореальной трансгрессии и межледниковых условий.

Разрез Бычье-2 содержит практически полную последовательность развития событий бореальной трансгрессии на территории северо-восточного побережья Белого моря, которая до начала трансгрессии во время МИС 6 была покрыта ледником. Прибрежный приглубый бассейн начала затопления примерно через 1–2 тыс. лет превратился в относительно глубоководный бассейн, после чего быстро последовала регрессия, которая привела к постепенному обмелению в течение последующих 10–11 тыс. лет.

Несмотря на приблизительность возрастных оценок по палинологическим данным разреза Бычье-2 и корреляций со значительно удаленными разрезами Прибалтики, Карельского перешейка и Западной Европы, в нем достаточно четко обозначены следующие возрастные «реперы»:

1) контакт морских приглубых отложений с московской мореной, который, судя по пылевым данным, совсем ненамного древнее времени перехода от перигляциальной ледниковой растительности к межледниковой около 131 т.л.н.;

2) отчетливое проявление как самой глубоководной фазы развития бассейна около 130,5–130,25 т.л.н. (по составу бентосной микрофауны), так и последующей регрессии около 130 т.л.н. (по резкому укрупнению гранулометрического состава осадков);

3) наиболее теплая фаза в развитии растительности (ЛПЗ Ву-5) следует сразу за началом регрессии примерно 130–129 т.л.н.;

4) исчезновение широколиственных растений и значительное снижение численности и разнообразия бентосной микрофауны в самом верху разреза маркируют окончание бореальной трансгрессии и самого межледниковья около 119,5 т.л.н.

Экозоны 1–3 (>131–130,25 т.л.н.) соответствуют холодному ледовитому арктическому бассейну с высокими скоростями осадконакопления и с сильной стратификацией водной толщи. Это обусловлено опреснением поверхностных вод талыми ледниковыми и речными водами и существованием придонных вод нормально морской солености. С самого начала затопления палеобассейн заселили бентосные виды, типичные для различных зон арктических шельфовых морей, включая виды, характерные для внешнего шельфа и континентального склона, что указывает на ведущую роль солености вод, а не температуры, в расселении видов при проникновении моря на шельфы после снятия ледниковой нагрузки [Bauch, 2013]. Видов, характерных для атлантических вод, в осадках разреза Бычье-2 не встречено. Наши данные подтверждают представления о преимущественно подповерхностном характере атлантических вод в восточной части Норвежско-Гренландского бассейна вплоть до сере-

дины или конца эемской эпохи [Bauch et al., 1999; Bauch, 2013; Rasmussen et al., 2003; Nieuwenhove van et al., 2011; Zhuravleva et al., 2017]. Учитывая большой объем талых ледниковых вод во время терминации II, можно предположить, что эти воды занимали глубины более 100–150 м и не оказывали влияния на северо-восток беломорского бассейна, в котором, как показал состав бентосной микрофауны в разрезе Бычье-2, глубины моря не превышали 100 м. Сведения о находках планктонных фораминифер, в том числе тепловодных, в скважине в г. Петрозаводске [Ikonen, Ekman, 2001] или раковин бентосных фораминифер *Cassidulina teretis* и *C. laevigata* в разрезах Кольского полуострова [Абрукина, Красильникова, 1972; Гудина, Евзеров, 1973; Korsakova, 2009], с одной стороны, требуют уточнения, а с другой стороны, могут быть свидетельством того, что подповерхностные атлантические воды могли распространяться к югу вдоль Кольского полуострова, где глубины моря были более значительными [Funder et al., 2002].

Экозоны 4 и 5 (130,25–119,5 т.л.н.) соответствуют длительной регрессивной стадии, совпавшей с межледниковым потеплением климата. Увеличение площади прогреваемых летом мелководий способствовало расселению мелководных и тепловодных видов бентосной микрофауны, в том числе остракод, характерных для Балтийского моря и не встречающихся в настоящее время в арктических морях. Наиболее многочисленны они в период между ~128 и 124 т.л.н. Предположительно, соединение между Белым и Балтийским морями существовало вплоть до этого времени, т. е. длилось порядка 6–7 тыс. лет, начиная с >131 т.л.н., что согласуется с представлениями в [Ikonen, Ekman, 2001] и [Miettinen et al., 2014].

Регрессия в исследованном районе началась рано, около 130 т.л.н., что свидетельствует об опережающем гляциоизостатическом поднятии территории по отношению к глобальному эвстатическому подъему уровня моря и его максимуму (highstand). Последний обычно датируется 128 ± 1 т.л.н., возрастные оценки, однако, сильно разнятся [Bauch, 2013; Miettinen et al., 2014]. Наши данные расходятся с возрастными оценками в [Grøsfjeld et al., 2006], где полагается, что регрессия началась после 128 т.л.н., в середине их экозоны 3, в которой тем не менее авторы зарегистрировали пик содержания относительно глубоководного вида бентосных фораминифер *M. barleeanus*. В разрезе Бычье-2 максимум содержания этого вида совпадает с присутствием относительно глубоководных видов остракод (*K. glacialis* и *Rabilimis* sp.), что подтверждает, наряду с тонкозернистым составом осадков, достижение максимальной глубины палеобассейна на исследованной территории до начала регрессии.

ВЫВОДЫ

1. Выделены три последовательные фазы изменений палеосреды в ходе развития бореальной трансгрессии на северо-востоке Белого моря: 1) приглубого прибрежного ледовитого опресненного бассейна начальных фаз затопления (экозоны 1–2 разреза Бычье-2), 2) менее ледовитого наиболее глубокого бассейна максимальной фазы затопления (экозона 3) и 3) мелководного бассейна с сокращенным сезонным ледовым покровом (экозоны 4–5).

2. Накопление морских бореальных отложений происходило в период от >131 до 119,5 т.л.н.

3. Затопление территории холодными арктическими водами было быстрым; холодный ледовитый и относительно глубокий бассейн с высокими скоростями осадконакопления существовал в течение ~750 лет, от >131 до 130,25 т.л.н.

4. Регрессия в регионе началась около 130 т.л.н., что свидетельствует об опережающем гляциоизо-

статическом поднятии территории по отношению к глобальному эвстатическому подъему уровня моря.

5. Длительная регрессивная эпоха (~130–119,5 т.л.н.) совпала с межледниковым потеплением климата и развитием прогреваемых летом мелководий, на которых расселялись остракоды, характерные для Балтийского моря и не встречающиеся в настоящее время в арктических морях, с максимумом ~128–124 т.л.н. Предположительно, соединение между Белым и Балтийским морями длилось порядка 6–7 тыс. лет, начиная с >131 т.л.н.

6. Отсутствие видов – индикаторов атлантических вод в составе ископаемых комплексов бентоса позволяет предположить, что подповерхностные атлантические воды не достигали исследованного региона, представлявшего собой шельф с глубинами менее 100 м даже в период максимального углубления палеобассейна.

Благодарность. Исследования выполнены по проекту РНФ 22-27-00324.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрукина Р.Е., Красильникова Г.Н. Фораминиферы морских межледниковых отложений Кольско-Карельского региона, их стратиграфическое значение и история развития // Четвертичная геология и геоморфология восточной части Балтийского щита. Труды института геологии. Карельский филиал АН СССР. 1972. № 13. С. 39–58.
- Гричук В.П. История флоры и растительности Русской равнины в плейстоцене. М.: Наука, 1989. 183 с.
- Гудина В.И., Езеров В.Я. Стратиграфия и фораминиферы верхнего плейстоцена Кольского полуострова. Новосибирск: Наука, 1973. 146 с.
- Девятова Э.И. Природная среда позднего плейстоцена и ее влияние на расселение человека в Северодвинском бассейне и в Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1982. 156 с.
- Лаврова М.А. Соотношение межледниковой бореальной трансгрессии севера СССР с эемской в Западной Европе // Труды ин-та геологии Акад. наук Эст. ССР. 1961. Т. VIII. С. 74–88.
- Овсепян Я.С. Позднечетвертичные фораминиферы моря Лаптевых и реконструкции изменения среды на основе палеоэкологического анализа: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2016. 240 с.
- Руденко О.В., Талденкова Е.Е., Шкарубо С.И., Руденко А.А. Изменения природной среды центральной впадины Баренцева моря в позднеледниковье – голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 5. С. 123–139.
- Bauch H.A. Interglacial climates and the Atlantic meridional overturning circulation: is there an Arctic controversy? *Quat. Sci. Rev.*, 2013, vol. 63, p. 1–22, DOI: 10.1016/j.quascirev.2012.11.023.
- Bauch H., Erlenkeuser H., Fahl K., Spielhagen R.F., Weinelt M.S., Andruseit H., Heinrich R. Evidence for a steeper Eemian than Holocene sea surface temperature gradient between Arctic and sub-Arctic regions, *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 1999, vol. 145, p. 95–117, DOI: 10.1016/S0031-0182(98)00104-7.
- Beets D.J., Beets C.J., Cleveringa P. Age and climate of the late Saalian and early Eemian in the type-area, Amsterdam basin, the Netherlands, *Quat. Sci. Rev.*, 2006, vol. 25, p. 876–885, DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.10.001.
- Dalton A.S., Gowan E.J., Mangerud J., Möller P., Lunkka J.P., Astakhov V. Last Interglacial (MIS 5e) sea level proxies in the glaciated Northern Hemisphere, *Earth Syst. Sci. Data*, 2022, vol. 14, p. 1447–1492, DOI: 10.5194/essd-14-1447-2022.
- Frenzel P., Keyser D., Viehberg A. An illustrated key and (palaeo)ecological primer for Postglacial to Recent Ostracoda (Crustacea) of the Baltic Sea, *Boreas*, 2010, vol. 39, p. 567–575, DOI: 10.1111/j.1502-3885.2009.00135.x.
- Funder S., Demidov I., Yelovicheva Ya. Hydrography and mollusk faunas of the Baltic and the White Sea-North Sea seaway in the Eemian, *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 2002, vol. 184, p. 275–304, DOI: 10.1016/S0031-0182(02)00256-0.
- Gemery L., Cronin T.M., Briggs W.M., Brouwers E.M., Schornikov E., Stepanova A., Wood A.M., Yasuhara M. An Arctic and subarctic ostracode database: biogeographic and paleoceanographic applications, *Hydrobiologia*, 2015, vol. 786, no. 1, p. 59–95, DOI: 10.1007/s10750-015-2587-4.
- Grichuk V.P. Late Pleistocene vegetation history, A.A. Velichko, H.E. Wright, C.W. Barnosky (eds.), *Late Quaternary Environments of the Soviet Union*, London, Longman, 1984, p. 155–179.
- Grösfeld K., Funder S., Seidenkrantz M.S., Glaister C. Last Interglacial marine environments in the White Sea region, northwestern Russia, *Boreas*, 2006, vol. 35, p. 493–520, DOI: 10.1080/03009480600781917.
- Ikonen L., Ekman I. Biostratigraphy of the Mikulino interglacial sediments in NW Russia: the Petrozavodsk site and

- a literature review, *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III Geologica-Geographica*, 2001, vol. 161, 88 p.
- Komárek J., Marvan P. Morphological differences in natural populations of the genus *Botryococcus* (Chlorophyceae), *Archiv für Protistenkunde*, 1992, vol. 141, p. 65–100, DOI: 10.1016/S0003-9365(11)80049-7.
- Komárek J., Jankovská V. Review of the green algal genus *Pediastrum*: implication for pollen-analytical research, *Bibliotheca Phycologica*, 2001, Band 108, 127 p.
- Korsakova O. Pleistocene marine deposits in the coastal areas of Kola Peninsula (Russia), *Quat. Int.*, 2009, vol. 206, p. 3–15, DOI: 10.1016/j.quaint.2008.11.004.
- Korsun S.A., Pogodina I.A., Forman S.L., Lubinski D.J. Recent foraminifera in glaciomarine sediments from three arctic fjords of Novaja Zemlja and Svalbard, *Polar Res.*, 1995, vol. 14(1), p. 15–31, DOI: 10.3402/polar.v14i1.6648.
- Lambeck K., Purcell A., Funder S., Kjær K.H., Larsen E., Möller P. Constraints on the Late Saalian to early Middle Weichselian ice sheet of Eurasia from field data and rebound modeling, *Boreas*, 2006, vol. 35, p. 539–575, DOI: 10.1080/03009480600781875.
- Mackiewicz A. Recent benthic Ostracoda from Hornsund, south Spitsbergen, Svalbard Archipelago, *Polish Polar Res.*, 2006, vol. 27(1), p. 71–90.
- Marret F., Zonneveld K. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution, *Rev. Palaeobotany and Palynology*, 2003, vol. 125, p. 1–200, DOI: 10.1016/S0034-6667(02)00229-4.
- Matthiessen J., Kunz-Pirring M., Mudie P.J. Freshwater chlorophycean algae in recent marine sediments of the Beaufort, Laptev and Kara Seas (Arctic Ocean) as indicators of river runoff, *Intern. J. Earth Sci.*, 2000, vol. 89, p. 470–485, DOI: 10.1007/s005310000127.
- Miettinen A., Head M.J., Knudsen K. Eemian sea-level highstand in the eastern Baltic Sea linked to long-duration White Sea connection, *Quat. Sci. Rev.*, 2014, vol. 86, p. 158–174, DOI: 10.1016/j.quascirev.2013.12.009.
- Müller H. Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der eem-zeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe, *Geol. Jahrbuch.*, 1974, vol. A21, p. 19–169.
- Nieuwenhove van N., Bauch H.A., Eynaud F., Kandiano E., Cortijo E., Turon J.-L. Evidence for delayed poleward expansion of North Atlantic surface waters during the last interglacial (MIS 5e), *Quat. Sci. Rev.*, 2011, vol. 30, p. 934–946, DOI: 10.1016/j.quascirev.2011.01.013.
- Polyak L., Korsun S., Febo L., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B.E., Lubinski D.A. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced arctic marine environment, *J. of Foraminiferal Res.*, 2002, vol. 32, no. 3, p. 252–273, DOI: 10.2113/32.3.252.
- Polyakova Ye.I., Dzhinoridze R.N., Novichkova T.S., Golovnina Ye.A. Diatoms and palynomorphs in the White Sea sediments as indicators of ice and hydrological conditions, *Oceanology*, 2003, vol. 43, suppl., p. 144–158.
- Rasmussen T.L., Thomsen E., Kuijpers A., Wastegård S. Late warming and early cooling of the sea surface in the Nordic seas during MIS 5e (Eemian Interglacial), *Quat. Sci. Rev.*, 2003, vol. 22, p. 809–821, DOI: 10.1016/S0277-3791(02)00254-8.
- Steinsund P.I. Benthic foraminifera in the surface sediments of the Barents, Kara Seas: modern and late Quaternary applications, *Dissertation*, University of Tromsø, 1994.
- Stepanova A., Taldenkova E., Bauch H.A. Recent Ostracoda of the Laptev Sea (Arctic Siberia): taxonomic composition and some environmental implications, *Mar. Micropal.*, 2003, vol. 48, no. 1–2, p. 23–48, DOI: 10.1016/S0377-8398(02)00136-6.
- Stepanova A., Taldenkova E., Simstich J., Bauch H.A. Comparison study of the modern ostracod associations in the Kara and Laptev seas: Ecological aspects, *Mar. Micropal.*, 2007, vol. 63, p. 111–142, DOI: 10.1016/j.marmicro.2006.10.003.
- Stepanova A., Obrochta S., Quintana Krupinski N.B., Hyttinen O., Kotilainen A., Andrén T. Late Weichselian to Holocene history of the Baltic Sea as reflected in ostracod assemblages, *Boreas*, 2019, vol. 48, no. 3, p. 761–778, DOI: 10.1111/bor.12375.
- Stockmarr J. Tablets spores used in absolute pollen analysis, *Pollen Spores.*, 1971, vol. 13, p. 616–621.
- Szymańska N., Pawłowska J., Kucharska M., Kujawa A., Łącka M., Zajaczkowski M. Impact of shelf-transformed waters (STW) on foraminiferal assemblages in the outwash and glacial fjords of Adventfjorden and Hornsund, Svalbard, *Oceanologia*, 2017, vol. 59, p. 525–540, DOI: 10.1016/j.oceano.2017.04.006.
- Vernal de A., Rochon A., Turon J.-L., Matthiessen J. Organic-walled dinoflagellate cysts: palynological tracers of seasurface conditions in middle to high latitude marine environments, *Geobios.*, 1997, vol. 30, p. 905–920, DOI: 10.1016/S0016-6995(97)80215-X.
- Zagwijn W.H. Sea-level changes in the Netherlands during the Eemian, *Geologie en Mijnbouw*, 1983, vol. 62, p. 437–450, DOI: 10.1016/0277-3791(96)00011-X.
- Zaretskaya N., Rybalko A., Repkina T., Shilova O., Krylov A. Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangel'sk region, Russia): Stratigraphy and palaeoenvironments, *Quat. Int.*, 2021, vol. 605–606, p. 126–141, DOI: 10.1016/j.quaint.2020.10.057.
- Zhuravleva A., Bauch H., Spielhagen R. Atlantic water heat transfer through the Arctic gateway (Fram Strait) during the last interglacial, *Glob. Planet. Change*, 2017, vol. 157, p. 232–243, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2017.09.005.

Электронные ресурсы

- Algae Base, National University of Ireland, Galway, 2020, URL: <https://www.algaebase.org> (дата обращения 17.08.2021).
- NPP database, URL: <https://non-pollen-palynomorphs.uni-goettingen.de/> (дата обращения 01.06.2022).
- Taxonomy and distribution of modern organic-walled dinoflagellate cysts in surface sediments from the Northern Hemisphere: an update of Rochon et al., 1999, N. Nieuwenhove van, V. Pospelova, R.W. Jordan (eds.), *Mar. Micropal.*, 2020, special vol. 159, URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/marine-micropaleontology/vol/159/suppl/C> (access date 01.06.2022).
- Zagwijn W.H. Sea-level changes in the Netherlands during the Eemian, *Geologie en Mijnbouw*, 1983, vol. 62, p. 437–450, URL: https://drive.google.com/file/d/0B7j8bPm9Cse0Si1tX1dSZzhWa2c/view?resourcekey=0--_sQQ0jvEzQk1pA6By7fNA (access date 01.06.2022).

Поступила в редакцию 17.11.2022
После доработки 15.12.2022
Принята к публикации 22.02.2023

ENVIRONMENTAL CHANGES DURING THE BOREAL TRANSGRESSION IN THE NORTH-EASTERN WHITE SEA REGION (DETAILED CASE STUDY OF BYCHYE-2 SEDIMENT SECTION)

E.E. Taldenkova¹, Ya.S. Ovsepyan², O.V. Rudenko³, A.Yu. Stepanova⁴, H.A. Bauch⁵

^{1,2} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Pleistocene Paleogeography,

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

² Geological Institute RAS, Laboratory of biostatigraphy and paleogeography of the oceans,

Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: yaovsepyan@yandex.ru

³ Orel State University named after I.S. Turgenev, Institute of Natural Sciences and Biotechnology, Chair of Geography, Ecology and General Biology, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: olrudenko2011@yandex.ru

⁴ Paleontological Institute RAS, Laboratory of Protistology,

Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: a.yu.stepanova@gmail.com

⁵ Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Bremerhaven/GEOMAR, Kiel, Germany, Ph.D. in Geology; e-mail: hbauch@geomar.de

Detailed multiproxy (lithology, micropaleontology, palynology) study of a 455 cm thick marine sediment sequence overlying the Moscovian till exposed in Bychye-2 section on the Pyoza River allowed for reconstructing past environmental changes during the Boreal transgression. Stratigraphic subdivision is based on the succession of local palynological zones that were correlated with previously established regional zones. The latter are constrained on the basis of correlation with the West European palynological zones. Marine sediments of Bychye-2 section accumulated from the end of the Moscovian glacial (>131 ka BP) until ca. 119.5 ka BP. Five ecological zones were established in the section in accordance with the upward trends in the changes in lithology and variability in the taxonomic composition of fossil assemblages of benthic foraminifers and ostracods and associations of marine dinocysts and freshwater green microalgae. Taken together, they are indicative of the progressive shallowing of the basin under the improving climatic conditions, which primarily influenced the degree of sea-ice cover extent. Three successive phases in the evolution of the Boreal transgression have been identified: 1) a seasonally sea-ice covered relatively deep freshened basin of the initial phases of flooding (455–360 cm, >131–130.5 ka BP); 2) a deep basin of the maximum phase of flooding with less extensive sea-ice cover (360–290 cm, 130.5–130.25 ka BP); 3) a shallow basin with reduced seasonal sea-ice cover (290–0 cm, 130.25–119.5 ka BP). The flooding of the territory with cold Arctic waters was rapid, as evidenced by the composition of microfossil assemblages represented by river-proximal Arctic species in combination with the species that prefer water depths of at least 40–50 m. The regression in the region started about 130 ka BP, which indicates that the glacioisostatic rebound of the territory was ahead of the global eustatic sea level rise. The most warm-water and taxonomically diverse assemblages of foraminifers and ostracods, containing species typical of the Baltic Sea, were recorded during the regressive stage, especially in the time interval of ~128–124 ka BP. This probably gives evidence for a rather long-lasting connection of the White and Baltic seas.

Keywords: late Pleistocene, Mikulinian (Eemian) Interglacial, benthic foraminifers, ostracods, aquatic palynomorphs, northeastern White Sea Region

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 22-27-00324).

REFERENCES

- Abrukina R.E., Krasil'nikova G.N. [Foraminifers of marine interglacial deposits of the Kola-Karelia region, their stratigraphic importance and evolutionary history], *Chetvertichnaya geologiya i geomorfologiya vostochnoi chasti Baltiskogo shchita. Trudy instituta geologii. Karel'skii filial AN SSSR* [Quaternary geology and geomorphology of the eastern Baltic shield. Proc. Institute of Geology. Karelian Branch AS USSR], 1972, no. 13, p. 39–58. (In Russian)
- Bauch H.A. Interglacial climates and the Atlantic meridional overturning circulation: is there an Arctic controversy? *Quat. Sci. Rev.*, 2013, vol. 63, p. 1–22, DOI: 10.1016/j.quascirev.2012.11.023.
- Bauch H., Erlenkeuser H., Fahl K., Spielhagen R.F., Weinelt M.S., Andruleit H., Heinrich R. Evidence for a steeper Eemian than Holocene Sea surface temperature gradient between Arctic and sub-Arctic regions. *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 1999, vol. 145, p. 95–117, DOI: 10.1016/S0031-0182(98)00104-7.
- Beets D.J., Beets C.J., Cleveringa P. Age and climate of the late Saalian and early Eemian in the type-area, Amsterdam basin, the Netherlands, *Quat. Sci. Rev.*, 2006, vol. 25, p. 876–885, DOI: 10.1016/j.quascirev.2005.10.001.
- Dalton A.S., Gowan E.J., Mangerud J., Möller P., Lunkka J.P., Astakhov V. Last Interglacial (MIS 5e) sea level proxies in the glaciated Northern Hemisphere, *Earth Syst. Sci. Data*, 2022, vol. 14, p. 1447–1492, DOI: 10.5194/essd-14-1447-2022.

- Devyatova E.I. *Prirodnaya sreda pozdnego pleistotsena i ee vliyaniye na rasseleniye cheloveka v Severodvinskoy basseine i v Karelii* [Late Pleistocene environment and its influence on human settlement in the Severnaya Dvina River basin and in Karelia], Petrozavodsk, Karelia Publ., 1982, 156 p. (In Russian)
- Frenzel P., Keyser D., Viehberg A. An illustrated key and (palaeo)ecological primer for Postglacial to Recent Ostracoda (Crustacea) of the Baltic Sea, *Boreas*, 2010, vol. 39, p. 567–575, DOI: 10.1111/j.1502-3885.2009.00135.x.
- Funder S., Demidov I., Yelovicheva Ya. Hydrography and mollusc faunas of the Baltic and the White Sea-North Sea seaway in the Eemian, *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 2002, vol. 184, p. 275–304, DOI: 10.1016/S0031-0182(02)00256-0.
- Gemery L., Cronin T.M., Briggs W.M., Brouwers E.M., Schornikov E., Stepanova A., Wood A.M., Yasuhara M. An Arctic and subarctic ostracode database: biogeographic and paleoceanographic applications, *Hydrobiologia*, 2015, vol. 786, no. 1, p. 59–95, DOI: 10.1007/s10750-015-2587-4.
- Grichuk V.P. Late Pleistocene vegetation history, *Late Quaternary Environments of the Soviet Union*, A.A. Velichko, H.E. Wright, C.W. Barnosky (eds.), London, Longman, 1984, p. 155–179.
- Grichuk V.P. *Istoriya flory i rastitel'nosti Russkoi ravniny v pleistotsene* [Pleistocene history of flora and vegetation of the Russian Plain], Moscow, Nauka Publ., 1989, 183 p. (In Russian)
- Grøsfjeld K., Funder S., Seidenkrantz M.S., Glaister C. Last Interglacial marine environments in the White Sea region, northwestern Russia, *Boreas*, 2006, vol. 35, p. 493–520, DOI: 10.1080/03009480600781917.
- Gudina V.I., Evzerov V.Ya. *Stratigrafiya i foraminifery verkhnego pleistotsena Kol'skogo poluoostrova* [Upper Pleistocene stratigraphy and foraminifers of the Kola Peninsula], Novosibirsk, Nauka Publ., 1973, 146 p. (In Russian)
- Ikonen L., Ekman I. Biostratigraphy of the Mikulino interglacial sediments in NW Russia: the Petrozavodsk site and a literature review, *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III Geologica-Geographica*, 2001, vol. 161, 88 p.
- Komárek J., Marvan P. Morphological differences in natural populations of the genus *Botryococcus* (*Chlorophyceae*), *Archiv für Protistenkunde*, 1992, vol. 141, p. 65–100, DOI: 10.1016/S0003-9365(11)80049-7.
- Komárek J., Jankovská V. Review of the green algal genus *Pediastrum*: implication for pollen-analytical research, *Bibliotheca Phycologica*, 2001, Band 108, 127 p.
- Korsakova O. Pleistocene marine deposits in the coastal areas of Kola Peninsula (Russia), *Quat. Int.*, 2009, vol. 206, p. 3–15, DOI: 10.1016/j.quaint.2008.11.004.
- Korsun S.A., Pogodina I.A., Forman S.L., Lubinski D.J. Recent foraminifera in glaciomarine sediments from three arctic fjords of Novaja Zemlja and Svalbard, *Polar Res.*, 1995, vol. 14(1), p. 15–31, DOI: 10.3402/polar.v14i1.6648.
- Lambeck K., Purcell A., Funder S., Kjær K.H., Larsen E., Möller P. Constraints on the Late Saalian to early Middle Weichselian ice sheet of Eurasia from field data and rebound modeling, *Boreas*, 2006, vol. 35, p. 539–575, DOI: 10.1080/03009480600781875.
- Lavrova M.A. [Correlation of the interglacial Boreal transgression of the northern USSR and Eemian transgression of the western Europe], *Trudy instituta geologii Akad. Nauk Est. SSR* [Proc. of the Institute of Geology, Academy of Sciences of Estonian SSR], 1961, vol. VIII, p. 74–88. (In Russian)
- Marret F., Zonneveld K. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution, *Rev. Palaeobotany and Palynology*, 2003, vol. 125, p. 1–200, DOI: 10.1016/S0034-6667(02)00229-4.
- Matthiessen J., Kunz-Pirrung M., Mudie P.J. Freshwater chlorophycean algae in recent marine sediments of the Beaufort, Laptev and Kara Seas (Arctic Ocean) as indicators of river runoff, *Intern. J. Earth Sci.*, 2000, vol. 89, p. 470–485, DOI: 10.1007/s005310000127.
- Miettinen A., Head M.J., Knudsen K. Eemian sea-level highstand in the eastern Baltic Sea linked to long-duration White Sea connection, *Quat. Sci. Rev.*, 2014, vol. 86, p. 158–174, DOI: 10.1016/j.quascirev.2013.12.009.
- Müller H. Pollenanalytische Untersuchungen und Jahresschichtenzählungen an der eem-zeitlichen Kieselgur von Bispingen/Luhe, *Geol. Jahrbuch*, 1974, vol. A21, p. 19–169.
- Nieuwenhove van N., Bauch H.A., Eynaud F., Kandiano E., Cortijo E., Turon J.-L. Evidence for delayed poleward expansion of North Atlantic surface waters during the last interglacial (MIS 5e), *Quat. Sci. Rev.*, 2011, vol. 30, p. 934–946, DOI: 10.1016/j.quascirev.2011.01.013.
- Ovsepyan Ya.S. *Pozdnechetvertichnye foraminifery morya Laptevskiy i rekonstruktsiya izmeneniya sredy na osnove paleoekologicheskogo analiza* [Late Quaternary foraminifers of the Laptev Sea and reconstruction of environmental changes on the basis of paleoecological analysis], Ph.D. Thesis in Geology and Mineralogy, Moscow, 2016, 240 p. (In Russian)
- Polyak L., Korsun S., Febo L., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B.E., Lubinski D.A. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced arctic marine environment, *J. of Foraminiferal Res.*, 2002, vol. 32, no. 3, p. 252–273, DOI: 10.2113/32.3.252.
- Polyakova Ye.I., Dzhinoridze R.N., Novichkova T.S., Golovnina Ye.A. Diatoms and palynomorphs in the White Sea sediments as indicators of ice and hydrological conditions, *Oceanology*, 2003, vol. 43, suppl., p. 144–158.
- Rasmussen T.L., Thomsen E., Kuijpers A., Wastegård S. Late warming and early cooling of the sea surface in the Nordic seas during MIS 5e (Eemian Interglacial), *Quat. Sci. Rev.*, 2003, vol. 22, p. 809–821, DOI: 10.1016/S0277-3791(02)00254-8.
- Rudenko O.V., Taldenkova E.E., Shkarubo S.I., Rudenko A.A. *Izmeneniya prirodnoi sredy tsentral'noi vpadiny Berentseva moray v pozdnelednikov'e – golotsene* [Past environmental changes in the Central Deep of the Barents Sea during Lateglacial and the Holocene], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 5, p. 123–139. (In Russian)
- Steinsund P.I. *Benthic foraminifera in the surface sediments of the Barents, Kara Seas: modern and late Quaternary applications*. Dissertation, University of Tromsø, 1994.
- Stepanova A., Taldenkova E., Bauch H.A. Recent Ostracoda of the Laptev Sea (Arctic Siberia): taxonomic composition and some environmental implications, *Mar. Micropal.*, 2003, vol. 48, no. 1–2, p. 23–48, DOI: 10.1016/S0377-8398(02)00136-6.
- Stepanova A., Taldenkova E., Simstich J., Bauch H.A. Comparison study of the modern ostracod associations in the Kara and Laptev seas: Ecological aspects, *Mar. Micro-*

- pal.*, 2007, vol. 63, p. 111–142, DOI: 10.1016/j.marmicro.2006.10.003.
 - Stepanova A., Obrochta S., Quintana Krupinski N.B., Hyttinen O., Kotilainen A., Andrén T. Late Weichselian to Holocene history of the Baltic Sea as reflected in ostracod assemblages, *Boreas*, 2019, vol. 48, no. 3, p. 761–778, DOI: 10.1111/bor.12375.
 - Stockmarr J. Tablets spores used in absolute pollen analysis, *Pollen Spores*, 1971, vol. 13, p. 616–621.
 - Szymańska N., Pawłowska J., Kucharska M., Kujawa A., Łacka M., Zajączkowski M. Impact of shelf-transformed waters (STW) on foraminiferal assemblages in the outwash and glacial fjords of Adventfjorden and Hornsund, Svalbard, *Oceanologia*, 2017, vol. 59, p. 525–540, DOI: 10.1016/j.oceano.2017.04.006.
 - Vernal de A., Rochon A., Turon J.-L., Matthiessen J. Organic-walled dinoflagellate cysts: palynological tracers of seasurface conditions in middle to high latitude marine environments, *Geobios*, 1997, vol. 30, p. 905–920, DOI: 10.1016/S0016-6995(97)80215-X.
 - Zagwijn W.H. An analysis of Eemian climate in western and central Europe, *Quat. Sci. Rev.*, 1996, vol. 15, p. 451–469, DOI: 10.1016/0277-3791(96)00011-X.
 - Zaretskaya N., Rybalko A., Repkina T., Shilova O., Krylov A. Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangel'sk region, Russia): Stratigraphy and palaeoenvironments, *Quat. Int.*, 2021, vol. 605–606, p. 126–141, DOI: 10.1016/j.quaint.2020.10.057.
 - Zhuravleva A., Bauch H., Spielhagen R. Atlantic water heat transfer through the Arctic gateway (Fram Strait) during the last interglacial, *Glob. Planet. Change*, 2017, vol. 157, p. 232–243, DOI: 10.1016/j.gloplacha.2017.09.005.
- Web sources*
- Algae Base*, National University of Ireland, Galway, 2020, URL: <https://www.algaebase.org> (access date 17.08.2021).
- NPP database*, URL: <https://non-pollen-palynomorphs.uni-goettingen.de/> (access date 01.06.2022).
- Mackiewicz A. Recent benthic Ostracoda from Hornsund, south Spitsbergen, Svalbard Archipelago, *Polish Polar Res.*, 2006, vol. 27(1), p. 71–90, URL: <https://journals.pan.pl/dlibra/publication/126754/edition/110608/content> (access date 01.06.2022).
- Taxonomy and distribution of modern organic-walled dinoflagellate cysts in surface sediments from the Northern Hemisphere: an update of Rochon et al., 1999, N. Nieuwenhove van, V. Pospelova, R.W. Jordan (eds.), *Mar. Micropal.*, 2020, special vol. 159, URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/marine-micropaleontology/vol/159/suppl/C> (access date 01.06.2022).
- Zagwijn W.H. Sea-level changes in the Netherlands during the Eemian, *Geologie en Mijnbouw*, 1983, vol. 62, p. 437–450, URL: https://drive.google.com/file/d/0B7j8bPm9Cse0SiltX1dSZzhWa2c/view?resourcekey=0--_sQQ0jvEzQk1pA6By7fNA (access date 01.06.2022).

Received 17.11.2022

Revised 15.12.2022

Accepted 22.02.2023

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 528.92

АТЛАСНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

В.С. Тикунов¹, А.Н. Панин², В.Р. Гайдуков³

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

¹ Проф., д-р геогр. наук; e-mail: vstikunov@yandex.ru

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

³ Аспирант; e-mail: gayd.vladislav2013@yandex.ru

Изучение социально-экономического развития является темой, не теряющей своей актуальности. Значительные возможности для ее реализации дает использование атласных информационных систем (АИС). В рамках работы описывается базовая концепция создания специализированной АИС для мониторинга, расчета и картографирования интегральных индексов социально-экономического развития; поэтапный процесс формирования многоуровневой системы индексов социально-экономического развития и их расчета. На примере моделирования и картографирования интегрального индекса социально-демографического развития дается примерное описание функциональных возможностей системы и краткое географическое описание полученных результатов. Затрагиваются вопросы разработки универсальной системы индексов и индикаторов социально-экономического развития на страновом и региональном уровнях. Сочетание картографического, геоинформационного, статистического подходов, реализуемых в рамках концепции АИС, позволяет не только создать широкие возможности визуализации и проектирования картографических изображений, но и использовать данную систему для анализа и прогнозирования социально-экономического развития территории по различным параметрам, сформировать базу рекомендаций для принятия управленческих решений в данной области.

Ключевые слова: социальное развитие, демографическое развитие, атласные информационные системы, индексы, индикаторы

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.6

ВВЕДЕНИЕ

Идея реализации подобной системы включает взаимообусловленные задачи. Во-первых, разработку универсальной системы индексов и индикаторов, характеризующих социально-экономические параметры развития стран мира и их регионов. Во-вторых, разработку для достижения этой задачи специфического инструментария современной картографии – «атласной информационной системы».

Обе задачи имеют научную значимость и практическую актуальность, которая является бесспорной и очевидной. АИС в современной картографии позволяет повысить оперативность, качество и многообразие визуализации для комплексного анализа аналитического материала и способно корректно работать в рамках всей системы комплексных социально-экономических индексов.

Социально-экономическое развитие любого географического объекта – процесс многомерный и многоаспектный, который неоспоримо должен рассматриваться с точки зрения совокупности различных целей и результатов. Данная особенность требует использования такого инструментария, который мог бы агрегировать всю совокупность целей и результатов, которые порой представлены сложно сочетаемыми показателями [Корчагина, 2012].

В качестве такого инструмента могут выступать индексы. Индекс представляет собой агрегированный или взвешенный индикатор, который основан на взаимодействии нескольких других индикаторов, однако, важной проблемой в реализации работоспособных интегральных индексов является разработка практических и надежно измеряемых индикаторов [Тарасова, Кручина, 2004]. Для комплексной оценки социально-экономической обстановки ча-

сто недостаточно анализа единичных показателей. Особое значение заключается в том, что эти самостоятельные составляющие порой разнонаправлены и должны быть гармонично переплетены между собой и укреплять нынешний и будущий потенциал развития общества в целом и каждого человека в отдельности. К числу таких индексов можно отнести несколько индексов.

Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП) – статистический сводный индекс ожидаемой продолжительности жизни, образования (среднее количество лет обучения в школе и ожидаемые годы обучения при поступлении в систему образования), а также показателей дохода на душу населения, который используется для ранжирования стран по четырем направлениям человеческого развития. Он был разработан пакистанским экономистом М. Хаком [Индекс..., 2022] и в дальнейшем использовался для оценки развития стран Отделом Отчета о человеческом развитии Программы развития Организации Объединенных Наций (ПРООН).

К недостаткам ИРЧП, которые признаются его разработчиками [Caplan, 2009], относится то, что индекс рассчитывается на основе средних национальных показателей, и это не позволяет показать и проанализировать асимметричность распределения благ внутри государств, поэтому во многих случаях может не отражать реальной картины.

Также определенные вопросы вызывает использование в качестве индикаторов образования среднего количества лет обучения в школе и ожидаемые годы обучения при поступлении в систему образования. Поскольку его синхронизация даже на страновом уровне сопряжена с большим числом трудностей и упирается в различные сроки обучения и разницу в самих системах образования в странах мира. То же самое касается и уровня доходов, который можно лишь условно количественно соизмерить для проведения межстрановых исследований.

Тем не менее в целом это не сказывается на успешном выполнении задач, для которых он был разработан. Высокий уровень доверия к ООН и к ее специализированным подразделениям и комитетам, включая ПРООН, а также методология, опирающаяся на измеряемые статистические показатели, создают базу для его практического использования [Зюлина, 2013].

Индекс человеческого капитала (ИЧК) [Всемирный банк..., 2019], разработанный Всемирным Банком, измеряет человеческий капитал следующего поколения, который определяется как объем человеческого капитала, на который родившийся в настоящий момент ребенок может рассчитывать накопить, с поправкой на риск, связанный с ненадлежащим качеством здравоохранения и образования в стране, где этот ребенок живет. ИЧК включает три компонента:

– выживаемость – отражает тот факт, что ребенку, родившемуся сегодня, необходимо дожить до момента начала накопления человеческого капитала в системе официального образования. Уровень выживаемости измеряется по данным о смертности детей в возрасте до 5 лет [Всемирный банк..., 2019];

– ожидаемая продолжительность обучения в школе, скорректированная на результаты обучения. Информация об объеме образования, которое ребенок может рассчитывать получить к 18-летнему возрасту, используется в сочетании с данными о качестве, т. е. о том, чему ребенок может научиться в школе, судя по показателям страны в международных тестированиях учебных достижений школьников. Эти данные в сочетании позволяют рассчитать ожидаемую продолжительность обучения в годах с поправкой на качество. Благодаря корректировке на качество обучения этот компонент отражает тот факт, что дети в одних странах получают гораздо меньше знаний, чем дети в других странах, хотя и обучаются в школах в течение примерно одинакового времени [Всемирный банк..., 2019];

– состояние здоровья; для оценки общей ситуации о состоянии здоровья жителей страны используются два показателя: распространенность заболеваемости среди детей в возрасте до 5 лет и выживаемость взрослых, определяемая как доля 15-летних, доживших до своего 60-летия [Всемирный банк..., 2019]. Первый показатель отражает состояние здоровья плода, младенца и ребенка младшего дошкольного возраста. Второй используется в качестве измерителя состояния здоровья, которое ребенок, родившийся сегодня, может иметь во взрослом возрасте [Всемирный банк..., 2019].

Основным недостатком данного индекса является концептуальная неоднозначность использования наборов данных в блоке образования, так как найти правомерные измерения качества образования для стран и регионов мира практически невозможно на объективно доказательной базе, без привлечения оценочных суждений. А также вызывает вопросы сама идея использования ожидаемой продолжительности обучения в школе как индикатора и у ИРЧП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Таким образом, даже самые авторитетные индексы обладают рядом существенных недостатков, которые значительно затрудняют проведение эффективного представления и сбора факторов, составляющих их, особенно в случае применения таких методик для одновременного проведения международных и региональных исследований. Основные проблемы кроются порой в несоизмеримости данных статистического учета на различных территориальных уровнях, а также концептуальной

неоднозначности использования некоторых наборов данных. В этом и заключены основные трудности использования подобных индексов, возможное решение которых в первую очередь заключается в обоснованном определении круга индикаторов, отражающих данное явление. Требуется также связать воедино разнонаправленные по действию показатели, что, в свою очередь, создает потребность гармонично соединить их в одном агрегированном показателе, ставит задачу проанализировать каждый показатель на предмет методологической и статистической соизмеримости на различных территориальных уровнях.

Все это доказывает острую необходимость разработки единой методики подобной оценки, столь необходимой для создания целевых программ, принятие которых связано с решением проблем социально-экономического развития регионов и которые должны разрабатываться с учетом определения уровня их текущего развития.

Вследствие чего был предложен ряд требований для сбора данных в рамках формирования баз данных и последующих расчетов интегральных ин-

дексов социально-экономической тематики разных территориальных уровней. К подобным требованиям можно отнести:

- учет спектра максимально комплексных и основополагающих факторов социально-экономического развития;
- обеспечение минимальных затрат времени и средств для реализации;
- содержание наиболее комплексной информации, доступной из официальных статистических источников на заявленных территориальных уровнях;
- обеспечение простоты получения и интерпретации статистических данных.

С учетом основных требований, а также недостатков вышеописанных индексных систем был сформирован наиболее универсальный и современный набор для создания базы данных индикаторов социально-экономического развития. Далее использовались оценочный и типологический алгоритмы [Тикунов, 1997] по расчету интегральных индексов первого и второго уровней для формирования иерархической системы индексов и индикатора. Это привело к их следующему набору (рис.):

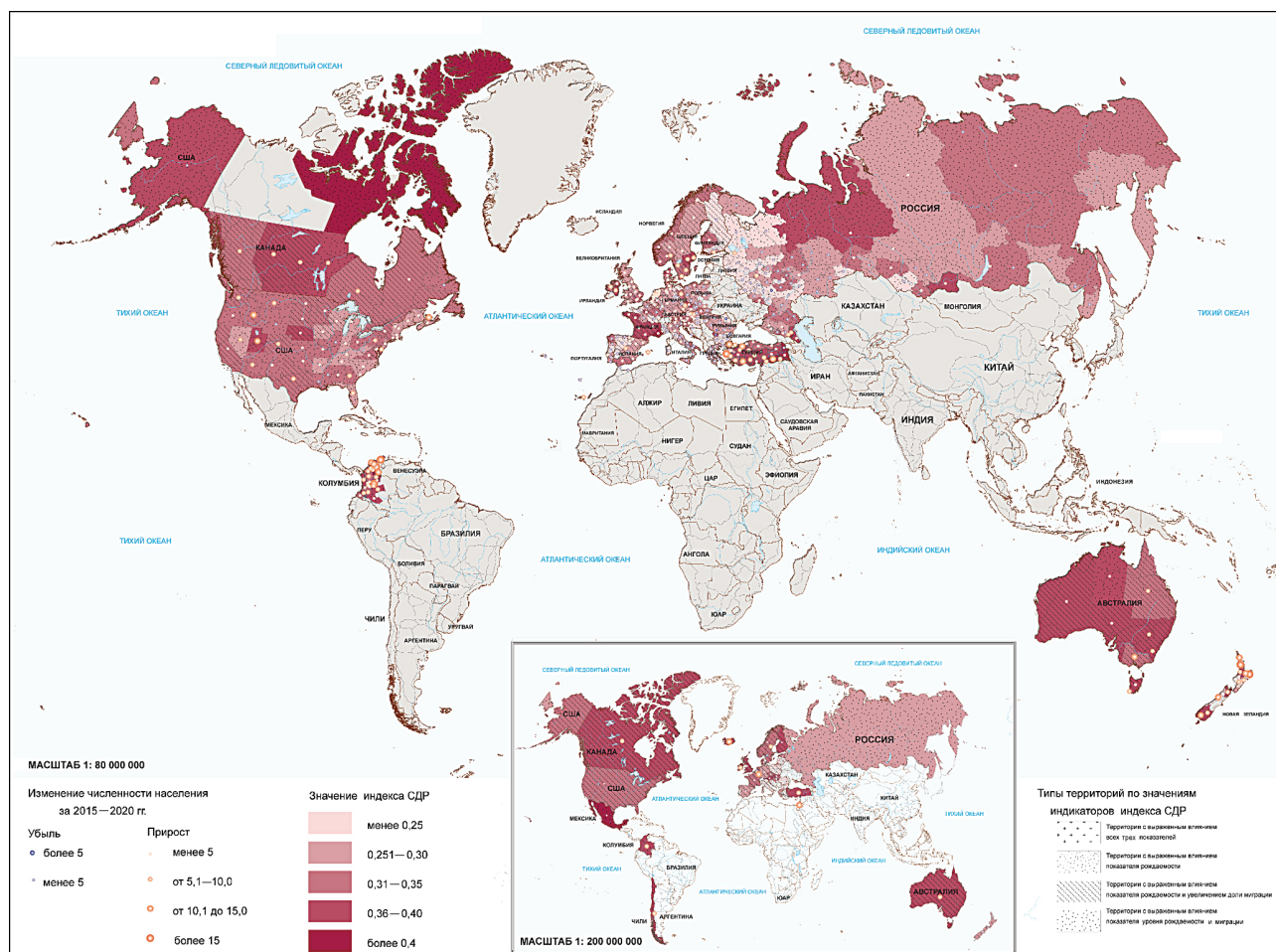


Рис. Индекс социально-демографического развития, 2015–2020

Fig. Socio-Demographic Development Index, 2015–2020

- индексы географического размера территорий на базе площадей, численности населения, ВРП по ППС;

- индексы демографического развития территорий с анализом рождаемости, смертности, естественного и миграционного потенциала;

- индекс человеческого капитала, для чего использовались показатели ВРП по ППС, индекс общественного здоровья, образовательный уровень.

Далее была собрана база геоданных на 454 территориях, 39 из которых составили страны и 415 – регионы данных стран. После этого данные показатели были перенесены в АИС, где подверглись обработке по оценочному и типологическому алгоритмам, описанным выше. Особо отметим обработку данных как единого массива, что в последующем позволило производить абсолютно правомерное сравнение их между собой. В качестве временных промежутков исследования нами были взяты осредненные данные за период с 2015 по 2020 г. Информационной базой послужили базы национальных и международных статистических организаций.

Данный набор, на наш взгляд, более чем достаточен для оценки социальной и социально-экономической составляющих развития территории. В данном наборе заведомо редуцированы экологическая и экономическая составляющие до самого возможного предела, при котором данные аспекты не затрагиваются как самостоятельные индексы, но индикативно входят в состав интегральных индексов первого и второго порядков. Причина, по которой авторы осознанно отказываются от более детальной проработки данных блоков или создания отдельных индексов данной тематики, кроется, с одной стороны, в сложностях с соизмерением данных показателей, с другой – в наличии большого числа существующих индексов подобной тематики при сравнительной малочисленности самостоятельных индексов социального развития. Это делает более актуальным создание и расчет интегрального индекса социально-экономического развития с более детальной проработкой социальной составляющей. Подобные эксперименты проводились и ранее [Тикунов, Черешня, 2017], однако именно данный набор учитывает все сложности статистического и методологического характера при создании системы для проведения межтерриториальных сравнений.

При этом разработка таких индексов должна не только осуществляться в соответствии с целями социально-экономического развития территории, но и сопровождаться использованием современных методов, в том числе математических, картографических, статистических и прогностических [Бакирова и др., 2010].

В результате нами были выбраны такие алгоритмы расчетов, которые позволили сгенерировать оценочные значения, которые далее рассматривались как интегральные индикаторы первого и второго уровней и обрабатывались по тем же алгоритмам, что и на нижнем уровне. Применение алгоритмов нижнего уровня позволяет свести три результата к одной характеристике социально-экономического развития территорий на верхнем уровне. Данная методика позволила сформировать единую соизмеримую внесистемную (независящую от территориального ранга территории) систему, позволяющую проводить правомерные сравнения территорий разного уровня – от странового до регионального.

В процессе дальнейшей разработки системы перед нами возникла задача выбора наиболее подходящего инструмента для создания картографических изображений и визуализации полученных данных. В результате проведения экспериментальных работ нами установлено, что линейка классических геоинформационных пакетов не обладает тем специфическим математическим аппаратом, который необходим для расчетов интегральных индексов в полной мере. Решение данной проблемы видится нам либо в использовании уже готовых расчетов в сторонних программах с дальнейшим экспортом в мощные геоинформационные среды с широким спектром возможностей визуализации, либо обращение к несколько иному продукту – атласной информационной системе (АИС) [Ormeling, 1995].

В работе отмечается, что АИС по своим функциональным возможностям относятся к высшему классу электронных атласов и применяются в виде систем поддержки принятия решений, разработки сценариев развития территории и др. [Тикунов, Яблоков, 2013]. Они имеют развитые моделирующие функции, могут интегрировать экспертные системы и оформляться как полномасштабные мультимедийные конструкции. АИС позволяют визуализировать непространственные данные и проводить разнообразный анализ, вплоть до разработки возможных вариантов развития таких комплексных систем, как природа – общество – хозяйство [Тикунов, Яблоков, 2013]. В АИС реализован ряд принципов, в том числе:

- когнитивность; сюжеты разного масштабного уровня соединяются ассоциативными (смысловыми) связями, куда входят мультимасштабность и мультигенерализованность, учитывающие иерархическую взаимосвязь различных территориальных уровней АИС и заключающиеся в преемственности не только масштабов, но и содержания;

- блочность; заключается в том, что ряды тематических блоков можно дополнять или видоизменять, не меняя структуры всей системы;

– эволюционность, реализующую возможность ретроспективного анализа территории или явления, изучения динамики и тенденций изменения;

– многовариантность, так как АИС представляет собой экспертную систему, которая предлагает конечному пользователю ряд сценариев развития интересующей территории или явления;

– интеллектуальность; система обладает возможностями для комплексного многоаспектного моделирования того или иного явления в зависимости от групп внешних и внутренних факторов с применением систем искусственного интеллекта, нейронных сетей и алгоритмов для решения нечетких задач;

– мультимедийность, заключающуюся во взаимовязанном наборе пространственных и мультимедийных данных, которые облегчают восприятие и в конечном счете принятие решений [Яблоков, Тикуннов, 2017].

При этом АИС представляют собой систему, существующую в геоинформационной среде, однако не только связанную с определенной территорией, но и содержащую набор функций, заточенный под выполнение исследований заданной тематики [Ormeling, 1996]. Она включает, с одной стороны, редуцированный набор функций пространственного анализа по сравнению с геоинформационными системами, с другой стороны, в ряде случаев дополнена узкоспециализированными операциями в рамках поставленных задач проводимого исследований, в нашем случае – алгоритмами расчетов интегральных индексов, что делает концептуально АИС наиболее подходящим инструментом для проведения исследования.

Таким образом, общее определение АИС для расчета и картографирования интегральных индексов социально-экономического содержания может быть сформулировано следующим образом: АИС – комплексная ГИС-платформа для упорядоченной организации данных социально-экономического толка, оснащенная передовыми средствами картографирования, специфическими средствами математического моделирования и содержащая средства текущего, ретроспективного и прогнозного анализа ситуации в области индикаторов и индексов социально-экономического развития территории.

Далее создано геоинформационное web-приложение, имеющее клиент-серверную архитектуру. Центральным объектом является карта административно-территориального деления России и мира. Для разработки web-приложения была выбрана база данных PostgreSQL – одна из самых популярных свободных объектно-реляционных систем управления базами данных, и расширение Postgis, позволяющее хранить пространственные данные в

специальном формате WKB, а также осуществлять пространственные операции над этими данными [Место PostGIS..., 2022].

В качестве картографического web-сервера был выбран Geoserver – также одно из самых популярных решений для структуризации данных и доступа к ним в форматах, установленных OGC (Open Geospatial Consortium). Для отображение большого количества векторных объектов использовалось расширение VectorTiles [Классификация..., 2022].

Рассмотрим процесс создания конечных материалов на примере интегрального индекса социально-демографического развития.

Прежде всего был определен базовый набор показателей, который позволит оценить уровень социально-демографического развития исследуемой территории, в качестве которых были выбраны суммарный коэффициент рождаемости, общий коэффициент смертности и сальдо миграции. Эти показатели являются наиболее базовыми с точки зрения демографии и максимально доступными с точки зрения мировой и региональной статистики, а также, что немаловажно, непосредственно участвуют в изменении численности населения территории. Помимо этого, являются комплексными и также способны указывать на проблемы в социальной сфере страны и региона, косвенно отражая уровень социально-экономического развития исследуемой территории [Завгородний, 2015, с. 55]. Более ранние эксперименты подтвердили наибольшую целесообразность и работоспособность данного набора показателей [Тикуннов, Гайдуков, 2021; Гайдуков и др., 2022].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После проведения всех расчетов, которые во многом определяют информативность и назначение картографических и аналитических материалов, речь идет о моделировании тематического содержания картографических изображений. В процессе создания данного материала выбираются основные способы отображения. Данный этап требует хорошего понимания получаемых интегральных индексов и во многом сугубо индивидуален для каждого из них. В результате данного этапа создаются синтетические картографические изображения как наиболее подходящие для картографирования интегральных индексов.

В результате анализа полученных картографических материалов были сделаны следующие выводы о пространственной дифференциации исследуемой территории в рамках изучения интегрального индекса социально-демографического развития.

Самыми низкими значениями индекса обладают 35 территорий, которые представлены Болгарией на страновом уровне и регионами России преимущественно Европейского центра и северо-запада, Румынией, а также единичными регионами Франции, Германии, Австрии, Испании, Италии, Финляндии, Греции и Новой Зеландии. Для данных территорий характерно снижение численности населения, низкие показатели рождаемости. При этом, рассматривая данную группу с позиций проведенных расчетов по установлению их типологии согласно влиянию компонентов интегрального индекса, можно увидеть, что ее преимущественно составляют образования с одинаково низкими показателями рождаемости и миграционного прироста. Гораздо более редким является тип, характеризующийся большим преобладанием роли миграции в значениях индекса.

Следующая группа территорий имеет значения индекса в диапазоне от 0,251 до 0,3 условных оценочных единиц. Данный массив является самым представительным и охватывает сразу 181 территорию. Здесь встречаются территории как теряющие население – 97 единиц, так и территории, где наблюдается положительная динамика изменения численности населения. На страновом уровне данные значения наблюдаются в 14 странах преимущественно восточной и южной Европы. Географический охват этой группы в региональном срезе крайне разнообразен и охватывает практически все исследуемые страны за исключением Канады, Австралии и Колумбии. С позиций выявления типов территорий данная группа представлена территориями с преобладанием показателей рождаемости и миграционного прироста.

Группа территорий со значениями индекса от 0,301 до 0,35 является второй по численности и насчитывает 150 территорий. На страновом уровне это преимущественно страны Центральной и Северной Европы, а также США. География этой группы также весьма обширна, в нее входит подавляющее большинство регионов США, отчетливо выделяются регионы побережья Скандинавского полуострова, а также регионы Европейского Юга, Поволжья и Северного Кавказа на территории России. В этой группе все еще регистрируются территории с отрицательной динамикой численности населения, однако оно не значительно и не выходит за пределы 5%. С наиболее распространенным типом территорий будут единицы с преобладанием роли и миграции, и рождаемости или равным их влиянием, что и повышает значения индекса.

Число территорий со значениями индекса от 0,351 до 0,4 существенно меньше и составляет 67 единиц, насчитывая четыре государства – Ав-

стрию, Чили, Исландию и Турцию. В региональном разрезе особо заметны регионы Северного Урала в России, западной границы Франции, штатов Австралии и Новой Зеландии. Ключевой аспект увеличения значений индекса социально-демографического развития в данной группе заключается в высоком положительном влиянии рождаемости и высокой миграционной привлекательности данных регионов.

Группу с самыми высокими значениями индекса образуют лишь 19 территорий. К странам в данной группе относятся Мексика и Израиль. В первом случае наблюдается наличие значительного демографического ресурса, в то время как во втором – достаточно высоки уровень миграционной привлекательности и уровень жизни. Региональный разрез представлен регионами Турции, Колумбии, единичными регионами Австралии, Франции, а также России. Для данных территорий характерно, с одной стороны, наличие значительного демографического ресурса и досрочного уровня социально-экономического развития, которые не приводят к возникновению негативных тенденций, связанных с миграционным оттоком населения, либо наличие существенного миграционного прироста, способного компенсировать возможные проблемы, связанные с недостаточными темпами прироста населения в рамках его естественного движения.

ВЫВОДЫ

При анализе теоретического материала было установлено, что использование индексного подхода в рамках исследования социально-экономического развития сопряжено с рядом концептуальных и методологических сложностей, которые особенно проявляются и становятся непреодолимыми при их разработке на различных территориальных уровнях. Вследствие чего был создан обоснованный набор исходных данных, а также многоуровневая система оценки социально-экономического развития.

В рамках поиска наиболее подходящего инструментария для проведения исследования было установлено, что АИС наиболее точно отвечают всем техническим требованиям для проведения исследований подобной тематики. Поскольку линейка классических геоинформационных пакетов не обладает специфическим математическим аппаратом, необходимым для расчетов и моделирования интегральных индексов в полной мере, разработаны новые блоки визуализации и моделирования, инкорпорированные в АИС.

Также в работе описана концепция и дано определение узкоспециализированной АИС для расчета и картографирования интегральных ин-

дексов социально-экономического содержания. АИС концептуально является комплексной ГИС-платформой для упорядоченной организации данных социально-экономического толка, которая обладает передовыми средствами картографирования, специфическими средствами математического моделирования и содержит средства текущего, ретроспективного и прогнозического анализа ситуации в области индикаторов и индексов социально-экономического развития территорий.

Были подобраны такие алгоритмы расчетов, которые позволили сформировать единую соизмеримую немасштабную (независящую от территориального ранга территории) систему, позволяющую проводить правомерные сравнения территорий разного уровня от странового до регионального. Это является крайне важным для проведения научных исследований развития территорий.

В качестве практической апробации предлагаемого в статье инструментария, созданной АИС, был успешно использован интегральный индекс второго уровня – индекс социально-демографи-

ческого развития. Полученные результаты и проведение межтерриториальных сравнений доказали соответствие сложившимся реалиям и не противоречат результатам других исследований, коррелирующих с географическим анализом, представленным в работе. Они также доказывают саму возможность создания работоспособного интегрального индекса на минимально возможном наборе данных без существенных потерь и искажений содержательной составляющей индекса.

В целом предложенная концепция (как АИС, так и многоуровневая система оценки) может быть особо полезной в рамках проведения столь необходимых и правомерных межтерриториальных сравнений. Осуществлена интеграция обширной базы знаний социально-экономической географии и передовых технологий картографии и геоинформатики. Это позволяет создать и эффективно использовать получаемые картографические и аналитические материалы для наглядного и оперативного анализа и прогнозирования социально-экономического развития территории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бакирова А.М., Буланов А.Ю., Гervasев М.А. Факторы устойчивого развития регионов России. Новосибирск: СИБПРИНТ, 2010. 276 с.
- Всемирный банк. Доклад о мировом развитии «Изменение характера труда». Вашингтон: Всемирный банк, 2019. 150 с.
- Гайдуков В.Р., Железняков А.С., Тикуннов В.С., Тикуннова И.Н. Расчет индекса демографического развития стран и регионов на примере Монголии и ее ближайшего окружения с помощью ГИС-технологий // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 2. С. 86–110. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-86-110.
- Завгородний А.Ф. Демографическое состояние региона – социальный показатель современного этапа развития страны // Сборники конференций НИЦ Социосфера. 2015. № 11. С. 49–55.
- Зюлина В.В. Влияние индекса человеческого развития на социально-экономическую политику государства // Известия МГТУ МАМИ. 2013. Т. 5. № 1(15). С. 254–258.
- Корчагина Е.В. Методы оценки устойчивого развития региональных социально-экономических систем // Проблемы современной экономики. 2012. № 1. С. 67–71.
- Тарасова Н.П., Кручина Е.Б. Индексы и индикаторы устойчивого развития // Устойчивое развитие: ресурсы России / под ред. акад. РАН Н.П. Лаверова. М.: Издательский центр РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. С. 43–76.
- Тикуннов В.С., Яблоков В.М. Атласная информационная система для Байкальского региона: материалы Международной конференции «Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт» // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2013. Т. 19(1). С. 197–202. DOI: 10.24057/2414-9179-2013-1-19-197-202.
- Тикуннов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? Опыт формальных классификаций. Москва; Смоленск: СГУ, 1997. 367 с.
- Тикуннов В.С., Черешня О.Ю. Индекс социального развития регионов Российской Федерации // Известия РАН. Серия географическая. 2016. Т. 1. С. 19–24.
- Тикуннов В.С., Черешня О.Ю. Комплексная многоуровневая оценка устойчивости развития регионов и ее визуализация // ИнтерКарто. ИнтерГИС: материалы Международной конференции. 2017. Т. 23(1). С. 10–19. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-10-19.
- Тикуннов В.С., Гайдуков В.Р. Демографическая характеристика зоны прохождения Нового Шелкового пути // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 2. С. 73–91.
- Яблоков В.М., Тикуннов В.С. Принципы создания атласной информационной системы на базе Интернета для устойчивого развития территорий // Вестн. моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 1. С. 29–38.
- Ormeling F. Atlas Information Systems, Proceedings of the 17th Int. Cartogr. Conf. and 10th Gen. Assembly ICA. Barcelona, Sept. 3–9, 1995, vol. 2, Barcelona, 1995, p. 2127–2133.
- Ormeling F. Functionality of Electronic School Atlases, Seminar on Electronic Atlases II, ICA Proceedings on National and Regional Atlases, B. Köbben, F. Ormeling, T. Trainor (eds.), Prague, 1996, p. 33–39.
- Электронные ресурсы
Индекс развития человеческого потенциала. Информационно-аналитический портал «Центр гуманитарных технологий». URL: <http://gtmarket.ru/ratings/human-development-index/human-developmentindex-info> (дата обращения 22.11.2022).

Место PostGIS/PostgreSQL среди СУБД с поддержкой пространственных данных. URL: <https://gis-lab.info/qa/postgis-compare.html> (дата обращения 09.01.2023).

Классификация картографических веб-сервисов OGC. URL: <https://gis-lab.info/qa/postgis-compare.html> (дата обращения 22.12.2022).

Caplan B. Against the Human Development Index, 2009, URL: http://econlog.econlib.org/archives/2009/05/against_the_hum.html (дата обращения 05.12.2022).

Поступила в редакцию 09.01.2023

После доработки 10.02.2023

Принята к публикации 22.02.2023

ATLAS INFORMATION SYSTEM FOR PRODUCING INTEGRAL INDICES OF THE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF TERRITORIES

V.S. Tikunov¹, A.N. Panin², V.R. Gaidukov³

¹⁻³ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Complex Mapping, Professor*

¹ *D.Sc. in Geography; e-mail: vstikunov@yandex.ru*

² *Assistant professor, Ph.D. in Geography; e-mail: alex_panin@mail.ru*

³ *Postgraduate student; e-mail: gayd.vladislav2013@yandex.ru*

The study of socio-economic development is an ever-relevant topic. Significant opportunities for the implementation of the topic are provided by the use of atlas information systems (AIS). The paper describes the basic concept of creating a specialized AIS for monitoring, calculating and mapping integral indices of socio-economic development. A step-by-step process of forming a multilevel system of socio-economic development indices and their calculation is described. Using the example of modeling and mapping of the integral index of socio-demographic development, an approximate description of the system's functionality is given, as well as a brief geographical description of the results obtained. The issues of developing a universal system of indices and indicators of socio-economic development at the national and regional levels are also considered. The combination of cartographic, geoinformation and statistical approaches implemented within the framework of the AIS concept allows not only creating ample opportunities for visualization and design of cartographic images, but also using the system to analyze and forecast the socio-economic development of a territory according to various parameters, and forming a set of recommendations for decision-making in this sphere.

Keywords: social development, demographic development, atlas information systems, indices, indicators

REFERENCES

- Bakirova A.M., Bulanov A.Yu., Gervas'ev M.A. *Faktory ustoychivogo razvitiya regionov Rossii* [Factors of sustainable development of Russia's regions], Novosibirsk, SIBPRINT Publ., 2010, 276 p. (In Russian)
- Gaidukov V.R., Zheleznyakov A.S., Tikunov V.S., Tikunova I.N. [Calculation of the index of demographic development for countries and regions using GIS-technologies (case study of Mongolia and neighboring territories)], *Geoinformatsionnoye i kartograficheskoye obespechenie ekologicheskikh, ekonomicheskikh i sotsialnykh aspektov ustoychivogo razvitiya territorij* [Geoinformation and cartographic support of environmental, economic and social aspects of sustainable development of territories], *InterKarto, InterGIS*, 2022, vol. 28, no. 2, p. 86–110, DOI: 10.35595/2414-9179-2022-2-28-86-110. (In Russian)
- Korchagina E.V. *Metody otsenki ustoychivogo razvitiya regional'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem* [Methods of assessing the sustainable development of regional social-economic systems], *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2012, no. 1, p. 67–71. (In Russian)
- Ormeling F. Atlas Information Systems – 17th Int. Cartogr. Conf. and 10th Gen. Assembly ICA, Barcelona, Sept. 3–9, 1995, *Proceedings*, vol. 2, Barcelona, 1995, p. 2127–2133.
- Ormeling F. Functionality of Electronic School Atlases, *Seminar on Electronic Atlases II*, B. Köbben, F. Ormeling, T. Trainor (eds.), ICA Proceedings on National and Regional Atlases, Prague, 1996, p. 33–39.
- Tarasova N.P., Kruchina E.B. *Indeksy i indikatory ustoychivogo razvitiya* [Indices and indicators of sustainable development], *Ustoychivoe razvitiye: resursy Rossii* [Sustainable development: resources of Russia], N.P. Laverov (ed.), Moscow, D.I. Mendeleev Russian university of chemical technology Publ., 2004, p. 43–76. (In Russian)
- Tikunov V.S., Chereschnya O.Yu. *Kompleksnaya mnogourovnevnyaya otsenka ustoychivosti razvitiya regionov i yeye vizualizatsiya* [Complex multilevel assessment of the sustainable development of regions and its visualization], *InterCarto, InterGIS*, Proceedings of the International Conference, 2017, vol. 23(1), p. 10–19, DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-10-19. (In Russian)

- Tikunov V.S., Cheresnaya O.Yu. Indeks sotsial'nogo razvitiya regionov Rossiiskoi Federatsii [Index of social development of the regions of Russia], *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk, Seriya geograficheskaya*, 2016, vol. 1, p. 19–24. (In Russian)
- Tikunov V.S., Gaidukov V.R. Demograficheskaya kharakteristika zony prokhozheniya Novogo Shelkovogo puti [Demographic characteristics of the zone of the New Silk Route], *Nauka, Innovatsii, Tekhnologii*, 2021, no. 2, p. 73–91. (In Russian)
- Tikunov V.S. *Klassifikatsii v geografii: renessans ili uvyadanie? (Opyt formal'nykh klassifikatsii)* [Classifications in geography: renaissance or decline? (Experience of formal classifications)], Moscow, Smolensk, SGU Publishing house, 1997, 367 p. (In Russian)
- Tikunov V.S., Yablokov V.M. [Atlas information system for the Baikal Lake region], *InterCarto, InterGIS, Proceedings of the International Conference*, 2013, vol. 19(1), p. 197–202, DOI: 10.24057/2414-9179-2013-1-19-197-202. (In Russian)
- World Development Report 2019, The Changing Nature of Work*, World Bank, Washington, 2019, 150 p.
- Yablokov V.M., Tikunov V.S. Printsipy sozdaniya atlasnoi informatsionnoi sistemy na baze Interneta dlya ustoichivogo razvitiya territorii [Principles of elaboration of the Internet-based atlas information system for sustainable development of territories], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 1, p. 29–38. (In Russian)
- Zavgorodny A.F. The demographic state of the region is a social indicator of the current stage of the country's development, *Collections of conferences of SIC Sociosphere*, 2015, no. 11, p. 49–55.
- Zyulina V.V. Vliyanie indeksa chelovecheskogo razvitiya na sotsial'no-ekonomicheskuyu politiku gosudarstva [Influence of the index of human development on the social-economic policies of a state], *Izvestiya Mosk. Polytech. Un-ta*, 2013, vol. 5, no. 1(15), p. 254–258. (In Russian)
- Web sources*
- Indeks razvitiya chelovecheskogo potentsiala, Informatsionno-analiticheskii portal "Tsentr gumanitarnykh tekhnologii", URL: <http://gtmarket.ru/ratings/human-development-index/human-developmentindex-info> (access date 22.11.2022).
- Mesto PostGIS/PostgreSQL sredi SUBD s podderzhkoi prostranstvennykh dannykh, Russkoyazychnyi nekommercheskii veb-proekt i soobshchestvo, posvyashchennoe rabote s geograficheskimi informatsionnymi sistemami i dannymi distantsionnogo zondirovaniya zemnoi poverkhnosti GIS-Lab.info, URL: <https://gis-lab.info/qa/postgis-compare.html> (access date 09.01.2023).
- Klassifikatsiya kartograficheskikh veb-servisov OGC, Russkoyazychnyi nekommercheskii veb-proekt i soobshchestvo, posvyashchennoe rabote s geograficheskimi informatsionnymi sistemami i dannymi distantsionnogo zondirovaniya zemnoi poverkhnosti GIS-Lab.info, URL: <https://gis-lab.info/qa/postgis-compare.html> (access date 22.12.2022).
- Caplan B. Against the Human Development Index, 2009, Caplan, URL: http://econlog.econlib.org/archives/2009/05/against_the_hum.html (access date 05.12.2022).

Received 09.01.2023

Revised 10.02.2023

Accepted 22.02.2023

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 911.3:338.012

КРЕАТИВНЫЕ ИНДУСТРИИ В КРУПНЕЙШИХ ГОРОДАХ ЯПОНИИ

А.-А.А. Зверева¹, И.С. Тихоцкая²^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии*¹ *Бакалавр географии; e-mail: annazvereva.654@gmail.com*² *Канд. экон. наук, доц.; e-mail: iritiro@gmail.com*

Статья посвящена выявлению особенностей креативных индустрий в японских городах с населением более 1 млн человек. Поскольку в Японии до сих пор не выработано универсальное определение креативных индустрий и нет официально принятой их классификации, в данном исследовании на базе анализа и агрегирования различных источников информации разработан авторский классификатор креативных индустрий, учитывающий особенности японской культуры и традиций. Анализ креативных индустрий в крупнейших городах позволил определить, что наиболее развитым креативным сектором в Японии является передовая креативная индустрия – «ИТ и компьютерные сервисы». Из традиционных отраслей наиболее широко распространены «ремесла и прикладное искусство» и «архитектура». Для всех 12 анализируемых городов были рассчитаны коэффициенты специализации – соотношение доли креативных организаций и занятых в креативных индустриях по городу к соответствующим долям отрасли по стране – и построены лепестковые диаграммы для всех креативных индустрий. В результате было получено представление о креативном профиле каждого из крупнейших японских городов на национальном уровне. Для выявления территориальных различий в развитии креативных индустрий в городах Японии применялся сравнительно-географический метод, а для определения территориальной структуры креативных индустрий на национальном уровне – картографический. Показано, что креативные отрасли распределены по территории страны неравномерно и территориальная структура креативных индустрий в Японии является моноцентрической – с гиперконцентрацией в Токио, «креативном хабе» всей страны, который намерены превратить в креативный центр Азии. По мере уменьшения численности населения города прослеживается довольно плавное снижение числа креативных организаций и занятых в креативных отраслях. Развитие креативного сектора – важная составляющая национальной политики Cool Japan, в рамках которой японские традиции и культурное наследие рассматриваются как инновации для экономического роста и развития креативных индустрий. В зависимости от числа выявленных креативных специализаций были выделены «креативные ядра» первого, второго и третьего порядков, которые можно рассматривать как потенциальные креативные центры своих регионов.

Ключевые слова: крупнейшие города Японии, креативный профиль города, креативные ядра

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.7

ВВЕДЕНИЕ

В последние два десятилетия широко обсуждается феномен креативности, быстрый рост креативной экономики, а также растущее значение креативных индустрий и их влияние на экономическое развитие стран и формирование городской среды. Рост креативных отраслей – основной тренд развития мегаполисов. Городская среда выступает как сфера притяжения креативных индустрий, особенностью развития и проектирования которых является «кластерность» и формирование креативных кластеров, обеспечивающих социально-экономическое и культурное развитие городов.

Результатом широкого распространения креативных индустрий во многих странах мира стало формирование различных представлений и видений креативных индустрий и их роли в экономике и политике. В этом отношении показателен и опыт Японии, где развитие креативных индустрий является важной частью национальной экономической стратегии и экономической политики правительства [Cool..., 2012]. Ее эффективная реализация позволила Японии закрепить за собой статус «культурной сверхдержавы» и повысить конкурентоспособность благодаря национальному брендингу территории. Япония оказывает большое культурное

влияние на многие страны не только своего региона: японская культура приобрела огромную популярность во всем мире, что еще более повышает актуальность исследования ее опыта. В то же время японские креативные индустрии остаются крайне слабо изученной темой. В Японии до сих пор не выработано универсального определения креативных индустрий и официально принятой классификации креативных отраслей.

Существует множество работ, посвященных анализу специфики развития креативных индустрий и особенностей формирования креативных кластеров. Впервые понятие «культурная индустрия» ввели представители франкфуртской школы критической теории с основами марксистской идеологии философы Т. Адорно и М. Хоркхаймер; термин был использован в главе «Культурная индустрия: просвещение как обман масс», вошедшей в книгу «Диалектика Просвещения» (1947) [Kong, 2014]. Географические аспекты теории креативных индустрий оформлялись параллельно с разработанной американским экономистом М. Портером концепцией индустриальных кластеров; его идеи были основаны на утверждениях А. Маршалла, который отмечал важность концентрации индустрий, способствующих обмену знаниями и ресурсами [Flew, 2010]. В результате, благодаря разработанной кластерной теории и становлению теории креативных индустрий, в науке сформировалось направление «креативная экономика», впервые упомянутое Дж. Хокинсом в одноименной работе.

На рубеже 1990-х гг. меняется вектор изучения креативных индустрий и масштаб их анализа: от социологического подхода в глобальном и страновом разрезе происходит переход к экономико-географическому подходу, заключающемуся в изучении креативных индустрий, выраженных в пространстве креативными кластерами, уже на городском уровне. Это послужило толчком к расширению области изучения креативных индустрий и витку новых теоретических разработок, таких как «креативный город» Ч. Лэндри, «креативный класс» Р. Флориды, а также «креативные кластеры» – под непосредственным влиянием концепции кластеров М. Портера.

Наиболее общепринятым определением креативных индустрий, на которое опирается большинство ученых и исследователей, считается сформулированное в 1998 г. в связи с деятельностью Совета Большого Лондона по созданию культурных кварталов определение Департамента культуры, медиа и спорта правительства Великобритании (DCMS) [Белова, 2020]: «Креативные индустрии – это деятельность, в основе которой лежит индивидуальное творческое начало, навык или талант и которое несет в себе потенциал создания добавленной

стоимости и рабочих мест путем производства и эксплуатации интеллектуальной собственности» [Creative..., 2001]. Именно из этого мы и исходим в данном исследовании.

Цель настоящего исследования заключается в выявлении особенностей креативных индустрий в 12 крупнейших городах Японии, население которых превышает 1 млн человек. В ходе исследования решались следующие задачи: охарактеризовать развитие креативных индустрий в Японии и основные государственные программы по их поддержке на национальном уровне; разработать собственный классификатор японских креативных индустрий; выявить территориальные различия в развитии креативных индустрий по крупнейшим городам Японии и определить их специализацию в рамках креативного сектора.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В теоретическую основу нашего исследования вошли работы отечественных и зарубежных ученых и специалистов [Зеленцова, Гладких, 2021; Замятина, 2013; Florida, 2014; Foord, 2009; Grodach, 2017; Landry, 2008; Lorenzen, 2018; Scott, 2014]. Крайне полезными были работы японских ученых, большинство из которых относится к двум направлениям исследований:

- концепция креативного города в Японии на примере таких городов, как Канадзава – приамурского города эпохи Эдо, имеющего богатую историю и памятники прошлого, и Йокогама – портового города и одного из крупнейших городских центров Японии [Kakiuchi, 2016; Sasaki, 2010];

- национальная стратегия Cool Japan и роль государства при реализации государственных программ по развитию креативных индустрий в стране [Iwabuchi, 2020; Kawashima, 2018; Oyama, 2016].

В данной работе применялись такие теоретические методы, как анализ, обобщение и классификация. На базе анализа национальной статистики для выявления территориальных различий в развитии креативных индустрий в городах Японии применялся сравнительно-географический метод, а для выявления территориальной структуры креативных индустрий на национальном уровне – картографический.

Информационно-статистическая база исследования включает статистические данные и отчеты Министерства экономики, торговли и промышленности, а также официальные данные анализируемых городов портала статистики Японии (e-Stat).

В теории креативных индустрий до сих пор не выработано единой методологии и системного подхода к оценке влияния креативного сектора на экономическое развитие. Нет и единого классифи-

катора креативных отраслей. Для проведения анализа и определения территориального распределения креативных индустрий в данной работе мы использовали отраслевой подход, в рамках которого на основе обобщения исследований японских авторов [Куриэйтибу..., 2015; Yoshimoto, 2009], отчетов ЮНКТАД, документов Министерства экономики, торговли и промышленности Японии, а также на базе японской стандартной промышленной классификации (JSIC) был разработан собственный классификатор креативных видов деятельности, учиты-

вающий специфику японской культуры и традиций (табл. 1). Безусловно, в ряде случаев отнюдь не все из отобранных отраслей являются креативными, как, например, текстильная промышленность, однако ввиду невозможности выделения лишь креативной части, мы посчитали подобное допущение правомерным. Так же поступают и многие другие исследователи [Креативная..., 2021; Креативные..., 2022]. Тем более что в случае Японии креативность проявляется повсюду – как и красота, присутствующая в повседневной жизни японцев.

Таблица 1

Классификатор креативных видов экономической деятельности

№ п/п	Креативная индустрия	Наименование и код вида экономической деятельности
1	Ремесла и прикладное искусство	321: Производство изделий из драгоценных металлов и ювелирных изделий 327: Производство лакированной посуды 824: Услуги по обучению искусству, культуре, гуманитарному и техническому образованию (включая каллиграфию, чайную церемонию и др.)
2	Архитектура	742: Архитектурное и строительное проектирование
3	Дизайн и мода	112: Текстильная индустрия 118: Производство одежды в японском стиле и другой одежды и аксессуаров 726: Дизайн-услуги
4	Издательская деятельность	413: Издание газет. 414: Издательская деятельность (кроме газет) 727: Писательская и художественная деятельность
5	Музыка и исполнительские искусства	302: Производство аудио- и визуального оборудования 324: Производство музыкальных инструментов 802: Развлекательные заведения и компании (кроме перечисленных отдельно) 809: Различные услуги в сфере развлечений и отдыха (караоке-боксы)
6	Контент	411: Производство и распространение визуальной информации 416: Услуги, связанные с производством визуальной, аудио- и текстовой информации 746: Деятельность в области фотографии 801: Деятельность кинотеатров
7	Телевидение и радиовещание	381: Общественное вещание (за исключением кабельного вещания) 382: Коммерческое вещание (за исключением кабельного вещания) 383: Кабельное вещание
8	IT и компьютерные сервисы	391: Издание программного обеспечения 392: Услуги по обработке данных и информационные услуги 401: Интернет-услуги
9	Реклама и маркетинг	415: Коммерческое искусство и графический дизайн 731: Рекламная деятельность

Примечание. Составлено по данным японской стандартной промышленной классификации [Industrial Classification..., 2016].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Реализация концепции креативного города в Японии. С конца 1970-х гг. в региональной политике Японии акцент сменился с поляризованного развития на многополюсное, заключающееся в пла-

нировании с учетом региональных особенностей, специфики и потенциала развития каждой территории [Меркушева, 2016]. Одной из стратегий стала программа, получившая название «Одна деревня – один продукт» (*иссон-иппин*), концепция которой зародилась в 1979 г. в префектуре Оита. Это ин-

новационная программа, в рамках которой каждая местная община определяет один или несколько продуктов в качестве оригинальных местных продуктов, концентрируя ресурсы на их производстве, и утверждает их как «локальный бренд». Это движение возникло как попытка оживить депрессивные деревни и малые города путем производства товаров на базе использования местных ресурсов и человеческого капитала с целью получения дохода от продаж на рынке. В результате возник такой феномен, как глокализация – сохранение для глобального успеха локальной специфики и самобытности, региональных различий в экономическом развитии. Креативные индустрии являются основой глокализации, поскольку творческие направления и индустрии, использующие региональные и местные особенности территории, служат ее драйвером.

С 1980-х гг. в США и Европе постепенно начинает происходить распространение японской медиакультуры и расширяться культурное влияние Японии в целом. Впервые экономический и политический потенциал креативных отраслей Японии отметил американский журналист Д. МакГрей в статье, опубликованной в 2002 г. Высоко оценив японскую популярную культуру как «крутую» (cool), он утверждал, что Япония должна использовать этот актив для спасения экономики от спада, наблюдавшегося с 1990-х гг. в результате краха экономики «мыльного пузыря». Именно он отметил, что Япония заново изобретает понятие «сверхдержавы», изменяя его содержание: имидж страны, экспорт творческой индустрии, образ жизни и культурная специфика Японии в основном базируются на ее самопрезентации как этнически и лингвистически однородной и культурно уникальной страны [McGray, 2002].

Крах экономики «мыльного пузыря» в начале 1990-х гг. и глобализация оказали в Японии огромное влияние на экономику и общество. Экономические и коммерческие функции страны стали еще больше концентрироваться в крупнейших городах, расположенных вдоль Тихоокеанского побережья, и в особенности в Токио. В результате экономический разрыв между столицей и другими городами продолжал расти. Многие региональные города перестали служить центрами промышленного производства из-за переноса производственных площадок в страны с более низкими издержками.

Именно концепция креативного города рассматривается такими городами как инструмент перспективного городского планирования и формирования центров креативного класса, при использовании которого инновационная экономическая структура и уникальная региональная культура находятся во взаимодействии. С ее помощью можно решать социальные и экономические проблемы

городов – такой подход может способствовать их комплексному возрождению. Ввиду высокой концентрации компаний, связанных с IT-индустрией, в крупных городах ряд региональных городов с богатыми культурными традициями также начинают постепенно использовать концепцию креативного города в своей городской и промышленной политике в стремлении найти новые средства для поддержания своей экономической и социальной жизнеспособности. Такой подход имеет большое значение для городов, решающих проблемы глобализации, экономической стагнации и депопуляции. Так происходит внедрение концепции креативных индустрий в Японии, и городское пространство становится главной ареной жизнедеятельности общества и высокой кластеризации креативных индустрий [Тихоцкая, Боратинский, 2020].

Политика реализации концепции креативных городов разрабатывается все в большем числе японских городов (например, в Иокогаме, Саппоро, Сэндае¹, Канадзаве, Хамамацу, Ямагате такую политику уже активно претворяют в жизнь) и затрагивает искусство и культуру. В редких случаях инициатива по продвижению креативных индустрий четко определена или связана с достижением определенных результатов, поскольку в Японии нет единой концепции и общепринятой отраслевой классификации креативного сектора. Каждый город должен определить те индустрии, которые являются наиболее перспективными и могут стать драйверами их экономического развития.

В креативных индустриях 12 городов-миллионников Японии насчитывается 91 877 организаций и 1 643 645 занятых, или 33,6% всех креативных индустрий Японии по числу организаций и 56,3% по численности работников. Наиболее крупными креативными индустриями являются «IT и компьютерные сервисы», «ремесла и прикладное искусство» и «архитектура» (в порядке убывания). Это обусловлено спецификой японских креативных индустрий: преобладанием занятий традиционной культурой (чайная церемония, производство керамики, икэбана, бонсай и т. д.) по всей Японии, а также тем, что IT-индустрия в Японии является ключевым двигателем экономического роста. Здесь сформирована одна из самых передовых в мире информационных и телекоммуникационных инфраструктур благодаря активному проведению реформ и государственной политики в этой отрасли (яркий пример – стратегия e-Japan).

В территориальной структуре креативных индустрий Японии четко прослеживается довольно плавное снижение числа креативных организаций и занятых в креативном секторе по мере уменьше-

¹ Названия японских городов даны согласно принятой в российском японоведении транскрипции Е.Д. Поливанова.

ния людности города. Иными словами, креативные отрасли распределены по территории страны неравномерно. Токио² выступает как «магнит» для притяжения предприятий, инвестиций, креативного класса и талантов. Вследствие этого формируется *моноцентрическая территориальная структура с центром концентрации креативного класса и креативных индустрий в Токио*, на долю которого приходится 16,2% креативных организаций Японии и 38,4% занятых в креативных индустриях (рис. 1). По доле в местной экономике креативные индустрии Токио также выделяются: 8,4% в общем числе местных предприятий страны и 13,4% в общей численности занятых в местных отраслях.

Для всех 12 анализируемых городов были рассчитаны коэффициенты специализации, которые представляют собой соотношение доли креативных организаций и занятых в креативных индустриях по городу к соответствующим долям отрасли по стране. Затем для них были построены лепестковые диаграммы по всем креативным отраслям, на основании которых получено представление о креативном профиле, т. е. развитых креативных отраслях каждого из крупнейших японских городов (рис. 2).

Коэффициент специализации позволяет сравнить уровень развития креативных индустрий (в нашем случае число организаций и численность занятых в креативных индустриях) в экономике отдельных городов с уровнем развития креативных отраслей в стране в целом. Значение выше единицы указывает на более высокую специализацию анализируемой территориальной единицы по отношению к национальному масштабу, а ниже единицы – на отсутствие подобной специализации. Такие коэффициенты широко используют для анализа концентрации творческой деятельности на различных территориальных уровнях.

Территориальная структура креативных индустрий по крупнейшим городам Японии. Ведущим центром креативных индустрий и национальным «креативным хабом» [Promotion..., 2012] выступает Токио – «креативное ядро» *первого порядка*. Реструктуризация обрабатывающей промышленности под давлением глобализации оказала заметное влияние на структуру промышленности столицы, в результате чего с начала 2000-х гг. выросло число работников отраслей сферы услуг, в особенности в рамках Интернет-услуг и креативных индустрий [Kikuchi, Sugai, 2018]. По коэффициенту специализации Токио значительно превосходит другие города по концентрации организаций в следующих креативных индустриях: «издательская деятельность», «ре-

клама и маркетинг», «ИТ и компьютерные сервисы», «контент», «дизайн и мода», «музыка и исполнительские искусства». А в сфере занятости наиболее высокая доля в таких отраслях, как «издательская деятельность», «реклама и маркетинг», «ИТ и компьютерные сервисы» и «контент». Именно четыре последние являются преобладающими креативными отраслями в Токио: в городе сосредоточена основная часть издательских фирм, звукозаписывающих студий, компаний, разрабатывающих компьютерные игры и игровые приставки. Иными словами, преобладают передовые креативные индустрии.

Кроме того, в Токио постоянно появляются все новые оригинальные здания, как, например, Ginza Six («седьмое небо для покупателей предметов роскоши») – крупный торговый центр, каждый из двухуровневых магазинов которого выглядит по-своему и имеет различные узоры на окнах (рис. 3, 4). На нескольких этажах – между торговыми этажами – расположены офисные помещения, а на части крыши, обращенной к центральной улице столицы, Гиндзе, разбит настоящий сад со скамейками и прогулочными тропами.

Вслед за Токио выделяются «креативные ядра» *концентрации креативных индустрий второго и третьего порядка*. Креативный сектор «креативных ядер» второго порядка представлен достаточно широким спектром индустрий (табл. 2). «Креативными ядрами» третьего порядка, где только одна креативная индустрия (и по числу креативных организаций, и по численности занятых в разрезе креативного сектора) обладает коэффициентом специализации выше единицы, являются города Кавасаки и Кобэ. Это связано с их территориальной близостью соответственно к Токио или Осаке, т. е. городам с наиболее высокой концентрацией креативных индустрий.

Анализ креативных профилей крупнейших городов, расположенных в одном или в соседних географических регионах, показал, что территориальная структура креативных индустрий имеет четкую региональную специализацию, т. е. такие города имеют схожие тенденции по выбранным параметрам исследования. Так, в Иокогаме и Кавасаки, Хиросиме и Фукуоке, Саппоро и Сэндае, согласно построенным диаграммам, наблюдается почти идентичная структура креативных индустрий. Такая тенденция, однако, не характерна для городов региона Кинки, где каждый из них имеет свою специализацию и разные по соотношению параметров креативные индустрии. Вероятно, это следствие полицентричности Осакской агломерации (Хансин), в которой четко выделяются три центра, имеющих разные функции: Осака – оптовая торговля, Киото – культурный центр, Кобэ – внешнеторговый порт [Социально-экономическая..., 2016].

² Под Токио в данном исследовании понимается 23 специальных района, обладающих правами городов.

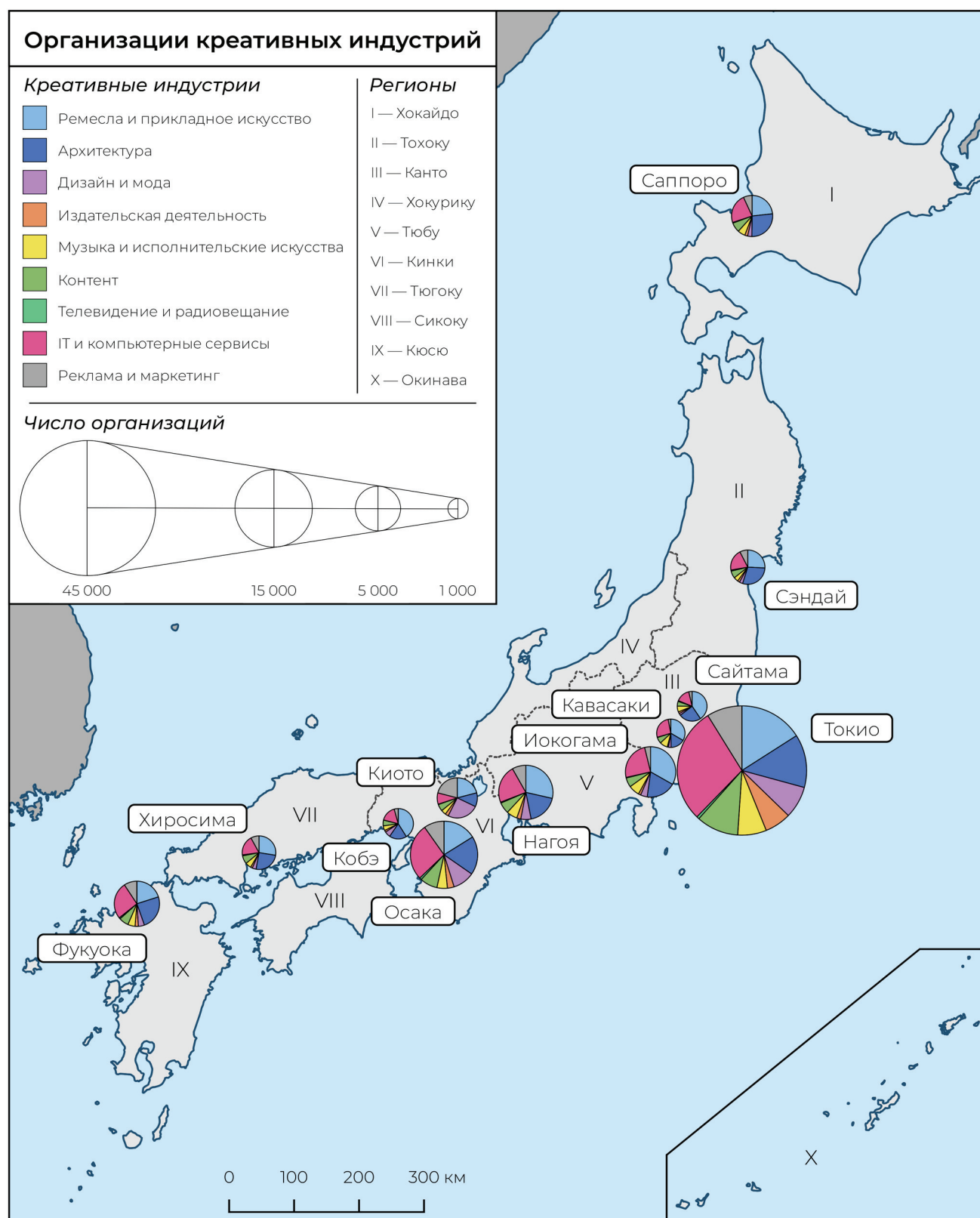


Рис. 1. Организации креативных индустрий по крупнейшим городам Японии

Fig. 1. Organizations of creative industries by major cities in Japan

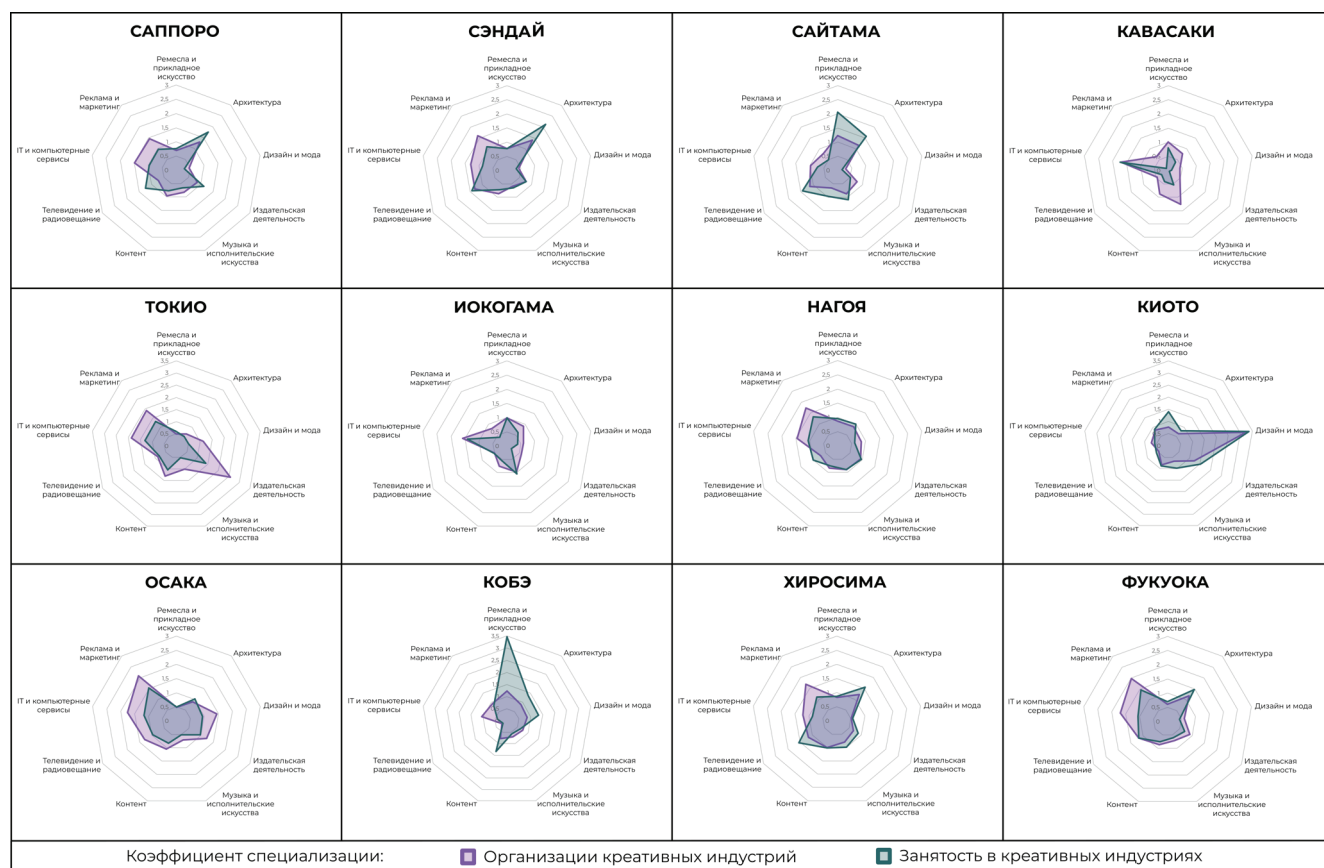


Рис. 2. Креативный профиль крупнейших городов Японии

Fig. 2. Creative profiles of Japan's major cities



Рис. 3 Ginza Six. Источник: сайт корпорации Кадзима [Ginza..., 2017]

Fig. 3. Ginza Six. Source: Kajima Corporation website [Ginza..., 2017]



Рис. 4. Ginza Six: А – вид с улицы; Б – внутренний интерьер.
Фото И.С. Тихоцкой, сентябрь 2019 г.

Fig. 4. Ginza Six: A – view from the street; Б – the interior. Photo by I.S. Tikhotskaya, September 2019

Таблица 2

Креативная специализация крупнейших городов Японии

«Креативное ядро»	Город	Креативная специализация
Первый порядок	Токио	Издательская деятельность, реклама и маркетинг, IT и компьютерные сервисы, контент
Второй порядок	Осака	Реклама и маркетинг, IT и компьютерные сервисы, телевидение и радиовещание, издательская деятельность
	Фукуока	Реклама и маркетинг, IT и компьютерные сервисы, архитектура, телевидение и радиовещание
	Хиросима	Реклама и маркетинг, архитектура, телевидение и радиовещание, контент
	Иокогама	IT и компьютерные сервисы, музыка и исполнительские искусства, ремесла и прикладное искусство
	Сайтама	Ремесла и прикладное искусство, архитектура, телевидение и радиовещание
	Саппоро	Архитектура, IT и компьютерные сервисы, реклама и маркетинг
	Сэндае	Архитектура, телевидение и радиовещание, реклама и маркетинг
	Киото	Дизайн и мода, издательская деятельность
Третий порядок	Нагоя	Реклама и маркетинг, IT и компьютерные сервисы
	Кавасаки	IT и компьютерные сервисы
	Кобэ	Ремесла и прикладное искусство

Примечание: составлено по данным e-Stat – официального портала статистики Японии.

Когда-то Осака была главным промышленным городом Японии, а также национальным центром финансов и торговли, где параллельно процветали различные виды современной популярной культуры (распространение газет и других массовых изданий, театров). Однако «открытие» Японии и революция Мэйдзи, перенос столицы из расположенного рядом с Осакой Киото в Токио привели к перераспределению экономических функций страны и постепенному переезду штаб-квартир крупных корпораций в Токио. Выявленные в ходе исследования в рамках креативного сектора специализации Осаки (например, «реклама и маркетинг», «IT и компьютерные сервисы») на современном этапе могут стать рычагом возрождения этого города.

В Киото большую роль сыграло историко-культурное наследие: это город, который является «сердцем» японской культуры, где сохранились многие традиционные виды производства. В частности, Киото прославился изготовлением и производством особых шелковых тканей для кимоно, и преобладающим направлением креативных индустрий в Киото является «дизайн и мода».

Город Кобэ после открытия порта специализировался на внешней торговле: к 1868 г. в нем находились селтльменты – особые экстерриториальные поселения для иностранцев, поэтому Кобэ отличается дух космополитизма, и он представляет собой «правильный котел» разных культур. В структуре креативных индустрий этого города особое место занимают «ремесла и прикладное искусство».

В долгосрочной перспективе территориальная структура креативных индустрий может быть трансформирована из моноцентрической в полицентрическую в результате формирования трех ведущих креативных центров Японии – агломерации Кэйхин (Токийской), где будут преобладать передовые креативные индустрии, а также агломераций Хансин (Осакской) и Тюкё (Нагойской) с акцентом на развитии традиционных направлений в креативном секторе.

ВЫВОДЫ

Креативные индустрии в Японии начали развиваться с конца 1970-х гг., когда при разработке региональной политики стала учитываться региональная специфика каждой территории. В настоящее

время развитие креативного сектора является частью национальной политики Cool Japan, в рамках которой японские традиции и культурное наследие рассматриваются как инновации для экономического роста и развития креативных индустрий.

Структура креативного сектора по крупнейшим городам Японии главным образом представлена «передовой» креативной индустрией – «IT и компьютерные сервисы», в то же время из традиционных отраслей наиболее широко распространены «ремесла и прикладное искусство» и «архитектура», которые территориально представлены почти во всех ее крупнейших городах благодаря отличительной черте этой страны – сохранению традиций и бережному отношению к традиционным ремеслам и видам искусства.

Территориальная структура креативных индустрий по крупнейшим городам Японии является моноцентрической, ее особенность – гиперконцентрация в Токио, национальном «креативном хабе», который Япония надеется в конечном итоге превратить в самый выдающийся креативный центр Азии.

Крупнейшие города Японии выступают как центры притяжения креативных индустрий и «креативные ядра» различного порядка в зависимости от количества креативных специализаций. Преобладают «креативные ядра» второго порядка, специализирующиеся на двух или более креативных индустриях, тогда как «креативным ядрам» третьего порядка свойственна специализация на одной креативной отрасли, а остальные отрасли почти не развиты вследствие их территориальной близости к «креативным ядрам» более высокого порядка.

Для территориальной структуры креативных индустрий Японии характерна определенная региональная специализация (за исключением городов региона Кинки), вследствие чего крупнейшие города выступают как центры креативных индустрий с высоким потенциальным масштабированием креативного сектора при реализации совокупности таких факторов, как подготовка необходимых кадров в местных университетах, поддержка местных специализаций в рамках креативного сектора, благоустройство необходимой для креативного класса городской среды и соответствующей ей креативной инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белова Е.Д. География мировой киноиндустрии как части креативной экономики и фактора развития других отраслей (на примере кинематографического туризма): дис. ... канд. геогр. наук. М., 2020. 260 с.

Замятина Н.Ю. Креативный класс, символический капитал и территория // Общественные науки и современность. 2013. № 4. С. 130–139.

Зеленцова Е.В., Гладких Н.В. Творческие индустрии: теории и практики. М.: Т8 Rugram, 2021. 210 с.

- Креативная экономика Москвы в цифрах / под ред. Л.М. Гохберга. М.: НИУ ВШЭ, 2021. 108 с.
- Куриэтибу сангё-но дзиттай то кадай-ни кансую тёса. Токио: Управление по вопросам промышленности и труда префектуры Токио, 2015. 57 с. (На яп. языке)
- Меркушева О.А. Региональная политика Японии на общенациональном и местном уровне: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2016. 217 с.
- Социально-экономическая география Японии / под ред. И.С. Тихоцкой. М.: Аспект Пресс, 2016. 528 с.
- Тихоцкая И.С., Боратинский В.И. Типология городских зон занятости // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 2. С. 73–81.
- Flew T. Toward a cultural economic geography of creative industries and urban development: introduction to the special issue on creative industries and urban development, *The Information Society*, 2010, vol. 26, no. 2, p. 85–91.
- Florida R. *The rise of the creative class*, New York, Basic Books, 2014, 512 p.
- Foord J. Strategies for creative industries: an international review, *Creative Industries Journal*, 2009, vol. 1, no. 2, p. 91–113.
- Grodach C. Urban cultural policy and creative city making, *Cities*, 2017, vol. 68, p. 82–91.
- Iwabuchi K. Cool Japan, creative industries, and diversity, *Re-imagining creative cities in twenty-first century Asia*, X. Gu, M.K. Lim, J. O'Connor (eds.), Cham, Palgrave Macmillan, 2020, p. 187–199.
- Kakiuchi E. Culturally creative cities in Japan: Reality and prospects, *City, Culture and Society*, 2016, vol. 7, no. 2, p. 101–108.
- Kawashima N. Cool Japan and creative industries: an evaluation of economic policies for popular culture industries in Japan, *Asian Cultural Flows: Cultural Policies, Creative Industries, and Media Consumers*, N. Kawashima, H.-K. Lee (eds.), Singapore, Springer, 2018, p. 19–36.
- Kikuchi T., Sugai T. *Tokyo as a Global City: New Geographical Perspectives*, Singapore, Springer, 2018, 334 p.
- Kong L. From cultural industries to creative industries and back? Towards clarifying theory and rethinking policy, *Inter-Asia Cultural Studies*, 2014, vol. 15, no. 4, p. 593–607.
- Landry C. *The creative city: A toolkit for urban innovators*, London, Routledge, 2008, 300 p.
- Lorenzen M. The Geography of the creative industries: Theoretical stocktaking and empirical illustration, *The New Oxford Handbook of Economic Geography*, Oxford, Oxford University Press, 2018, p. 305–323.
- McGray D. Japan's gross national cool, *Foreign policy*, 2002, vol. 130, p. 44–54.
- Oyama S. Japanese creative industries in globalization, *Routledge Handbook of New Media in Asia*, L. Hjorth, O. Khoo (eds.), New York, Routledge, 2016, p. 322–332.
- Scott A.J. Beyond the creative city: cognitive-cultural capitalism and the new urbanism, *Regional Studies*, 2014, vol. 48, no. 4, p. 565–578.
- Sasaki M. Urban regeneration through cultural creativity and social inclusion: Rethinking creative city theory through a Japanese case study, *Cities*, 2010, vol. 27, p. S3–S9.
- Yoshimoto M. Creative industry trends – The creative industry profiles of Japan's ordinance-designated cities, *NLI Research Report*, 2009, p. 1–8.
- Электронные ресурсы**
- Креативные специализации российских городов. 2022. URL: https://www.hse.ru/data/2022/02/17/1747882405/Human_Capital_NCMU_Digest_Special_Issue_Creative_Cities_02-2022.pdf (дата обращения 21.02.2022).
- Cool Japan Strategy, 2012, URL: https://www.meti.go.jp/english/policy/mono_info_service/creative_industries/pdf/120116_01a.pdf (дата обращения 28.01.2022).
- Creative Industries Mapping Documents, 2001, URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/183544/2001part1-foreword2001.pdf (дата обращения 30.01.2022).
- GINZA Six, 2017, URL: <https://www.kajima.co.jp/english/tech/kd/works/detail.html?id=117&year=2017&kind=0> (дата обращения 20.11.2022).
- Industrial Classification used in the 2016 Economic Census for Business Activity, URL: <https://www.stat.go.jp/english/data/e-census/2016/industry.html> (дата обращения 16.02.2022).
- Promotion of the Cool Japan Strategy and the Creative Tokyo Project, 2012, URL: https://www.meti.go.jp/english/policy/mono_info_service/creative_industries/pdf/121016_01b.pdf (access date 28.01.2022).

Поступила в редакцию 24.08.2022

После доработки 16.10.2022

Принята к публикации 22.02.2023

CREATIVE INDUSTRIES IN MAJOR CITIES OF JAPAN

A.-A.A. Zvereva¹, I.S. Tikhotskaya²

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

¹ Bachelor in Geography; e-mail: annazvereva.654@gmail.com

² Associate Professor, Ph.D. in Economics; e-mail: iritiro@gmail.com

The article seeks to identify the features of creative industries in Japanese cities with a population over 1 million people. Since there is no universal definition of creative industries in Japan and no officially adopted classification, we analyzed and aggregated various sources of information to develop a classification of crea-

tive industries, which takes into account specific features of Japanese culture and traditions. The analysis of creative industries in the largest cities has revealed that the advanced creative industry, i. e. “IT and computer services”, is the most developed creative sector in Japan. The most widely spread traditional industries include “crafts and applied arts” and “architecture”. For all 12 cities included in the analysis we calculated specialization coefficients, i.e. the ratio of the share of creative organizations and employed in the creative industries in a city to the corresponding shares of the industry in the country, and built petal diagrams for all creative industries. As a result, we have obtained an understanding about creative profiles of all largest Japanese cities. We applied a comparative-geographical method to identify territorial differences in the development of creative industries in Japanese cities, and a cartographic method to reveal the territorial structure of creative industries at the national level. The study has shown that the creative industries are unevenly distributed over the country and the territorial structure of creative industries in Japan is monocentric with hyperconcentration in Tokyo, the “creative hub” of the whole country, which is intended to become a creative center of Asia. Our study revealed that as the city’s population decreases, the number of creative organizations and people employed in creative industries is declining quite steadily. The progress of the creative sector is an important component of the “Cool Japan” national policy, which views Japanese traditions and cultural heritage as innovations for economic growth and the development of creative industries. Depending on the number of found creative industries we identified first-, second-, and third-order “creative cores” which have a potential to become creative centers in their regions.

Keywords: major cities in Japan, creative profile of cities, creative cores

REFERENCES

- Belova E.D. *Geografiya mirovoi kinoindustrii kak chasti kreativnoi ekonomiki i faktora razvitiya drugikh otraslei (na primere kinematograficheskogo turizma)* [Geography of the global cinematography as a part of creative economy and a factor of other industries development (case study of cinematographic tourism)], Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, 2020, 260 p. (in Russian)
- Flew T. Toward a cultural economic geography of creative industries and urban development: introduction to the special issue on creative industries and urban development, *The Information Society*, 2010, vol. 26, no. 2, p. 85–91.
- Florida R. *The rise of the creative class*, New York, Basic Books, 2014, 512 p.
- Foord J. Strategies for creative industries: an international review, *Creative Industries Journal*, 2009, vol. 1, no. 2, p. 91–113.
- Grodach C. Urban cultural policy and creative city making, *Cities*, 2017, vol. 68, p. 82–91.
- Iwabuchi K. Cool Japan, creative industries, and diversity, *Re-imagining creative cities in twenty-first century Asia*, X. Gu, M.K. Lim, J. O’Connor (eds.), Cham, Palgrave Macmillan, 2020, p. 187–199.
- Kakiuchi E. Culturally creative cities in Japan: Reality and prospects, *City, Culture and Society*, 2016, vol. 7, no. 2, p. 101–108.
- Kawashima N. Cool Japan’and creative industries: an evaluation of economic policies for popular culture industries in Japan, *Asian Cultural Flows, Cultural Policies, Creative Industries, and Media Consumers*, N. Kawashima, H.-K. Lee (eds.), Singapore, Springer, 2018, p. 19–36.
- Kikuchi T., Sugai T. *Tokyo as a Global City: New Geographical Perspectives*, Singapore, Springer, 2018, 334 p.
- Kong L. From cultural industries to creative industries and back? Towards clarifying theory and rethinking policy, *Inter-Asia Cultural Studies*, 2014, vol. 15, no. 4, p. 593–607.
- Kreativnaya ekonomika Moskvy v tsifrakh* [Moscow’s creative economy in figures], L.M. Gokhberg (ed.), Moscow, HSE University, 2021, 108 p. (In Russian)
- Landry C. *The creative city: A toolkit for urban innovators*, London, Routledge, 2008, 300 p.
- Lorenzen M. The geography of the creative industries: Theoretical stocktaking and empirical illustration, *The New Oxford Handbook of Economic Geography*, Oxford, Oxford University Press, 2018, p. 305–323.
- McGray D. Japan’s gross national cool, *Foreign policy*, 2002, vol. 130, p. 44–54.
- Merkusheva O.A. *Regional’naya politika Yaponii na obshchenatsional’nom i mestnom urovne* [Regional policy of Japan at the national and local levels], Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, 2016, 217 p. (in Russian)
- Oyama S. Japanese creative industries in globalization, *Routledge Handbook of New Media in Asia*, L. Hjorth, O. Khoo (eds.), New York, Routledge, 2016. P. 322–332.
- Sasaki M. Urban regeneration through cultural creativity and social inclusion: Rethinking creative city theory through a Japanese case study, *Cities*, 2010, vol. 27, p. S3–S9.
- Scott A.J. Beyond the creative city: cognitive–cultural capitalism and the new urbanism, *Regional Studies*, 2014, vol. 48, no. 4, p. 565–578.
- Social’no-jekonomicheskaja geografiya Yaponii* [Socio-economic geography of Japan], I.S. Tikhotskaya (ed.), Moscow, Aspekt Press Publ., 2016, 528 p. (In Russian)
- Tikhotskaya I.S., Boratinskii V.I. Tipologiya gorodskikh zon zanyatosti [The typology of urban employment areas in Japan], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 2, p. 73–81. (In Russian)
- Yoshimoto M. Creative industry trends – The creative industry profiles of Japan’s ordinance-designated cities, *NLI Research Report*, 2009, p. 1–8.
- Zamyatina N.Yu. Kreativnyi klass, simvolicheskij kapital i territoriya [Creative class, symbolic capital and territory], *Obshchestvennye nauki i sovremennost’*, 2013, no. 4, p. 130–139. (In Russian)
- Zelentsova E.V., Gladkikh N.V. *Tvorcheskie industrii: teorii i praktiki* [Creative industries: theories and practices], Moscow, T8 RUGRAM, 2021, 210 p. (In Russian)
- Kurieitibu sangyo-no jittai to kadai-ni kansuru chosa*, Tokyo: Tokyo Prefecture Industry and Labor Authority, 2015, 57 p. (In Japanese)

Web sources

Cool Japan Strategy, 2012, URL: https://www.meti.go.jp/english/policy/mono_info_service/creative_industries/pdf/120116_01a.pdf (access date 28.01.2022).

Creative Industries Mapping Documents, 2001, URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/183544/2001part1-foreword2001.pdf (access date 30.01.2022).

Ginza Six, 2017, URL: <https://www.kajima.co.jp/english/tech/kd/works/detail.html?id=117&year=2017&kind=0> (access date 20.11.2022).

Industrial Classification used in the 2016 Economic Census for Business Activity, URL: <https://www.stat.go.jp/english/data/e-census/2016/industry.html> (access date 16.02.2022).

Kreativnye spetsializatsii rossiiskikh gorodov, 2022 [Creative specializations of Russian cities, 22], URL: https://www.hse.ru/data/2022/02/17/1747882405/Human_Capital_NCMU_Digest_Special_Issue_Creative_Cities_02-2022.pdf (access date 21.02.2022).

Promotion of the Cool Japan Strategy and the Creative Tokyo Project, 2012, URL: https://www.meti.go.jp/english/policy/mono_info_service/creative_industries/pdf/121016_01b.pdf (access date 28.01.2022).

Received 24.08.2022

Revised 16.10.2022

Accepted 22.02.2023

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ АРИДНЫХ ВЫСОКОГОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРНОГО МАССИВА МОНГУН-ТАЙГА

Е.С. Зелепукина¹, С.А. Гаврилкина², А.В. Терехов³, А.И. Резников⁴

¹ Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций, кафедра экологической безопасности телекоммуникаций, доц., канд. геогр. наук; e-mail: elezelepu@gmail.com

² Международный институт мониторинга развития демократии и парламентаризма, Межпарламентская ассамблея государств – участников СНГ, Санкт-Петербург, советник, канд. геогр. наук; e-mail: svetilnic@mail.ru

³ Государственный гидрологический институт (ФГБУ «ГГИ»), Санкт-Петербург, Россия, группа геоинформационных технологий, руководитель группы; e-mail: antonvterekhov@gmail.com

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра физической географии и ландшафтного планирования, ст. преподаватель, канд. геогр. наук; e-mail: ar1725.2@gmail.com

Проведен анализ пространственной структуры ландшафтов аридных высокогорий по комбинациям нескольких морфометрических характеристик на основе данных дистанционного зондирования высокого разрешения. Выбор в качестве модельного участка территории горного массива Монгун-Тайга, расположенного на западе Республики Тыва (Россия), обусловлен возможностью верификации результатов морфометрического анализа вследствие наличия обширного материала многолетних полевых исследований территории массива. Показано, что разбиение территории на участки, относительно однородные по морфометрическим параметрам рельефа, с достаточно высокой точностью описывает местоположения. Установлено, что средняя по высотным интервалам энтропия распределения групп растительных сообществ существенно снижается при выделении местоположений на основе комбинаций морфометрических величин для всего высотного профиля вне зависимости от макросклона.

Совмещение полевых, картографических и дистанционных методов исследования позволяет утверждать, что предложенный набор морфометрических характеристик рельефа корректно описывает горизонтальную структуру растительного покрова рассматриваемого массива и может быть использован при автоматизированном дешифрировании труднодоступных районов Внутренней Азии, а также при прогнозной оценке трансформаций ландшафтной структуры в результате спонтанных либо антропогенных изменений.

Ключевые слова: структура ландшафта, цифровая модель рельефа, аридное высокогорье, геоморфометрия, индекс TWI, индекс Шеннона

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.8

ВВЕДЕНИЕ

Выявление закономерностей строения и развития природных и природно-антропогенных пространственных структур – одна из основных проблем современного ландшафтоведения. С повсеместным распространением дистанционных съемок существенно расширились возможности изучения пространственных комбинаций геосистем, однако вопросы последующего анализа их динамики, а также оценки роли отдельных факторов ландшафтогенеза в условиях меняющегося климата и растущего антропогенного вмешательства в процессы функционирования геокомплексов остаются весьма актуальными.

В ставших уже классическими работах по ландшафтоведению компонентам геосистем придается равная значимость [Сочава, 1978; Солнцев, 1981] либо признается ведущая роль одного из них. В частности, А.А. Крауклис подчеркивал приоритетное влияние рельефа на вариации количества поступающей солнечной радиации и др. на локаль-

ном уровне организации территории, несмотря на «небольшой радиус действия» [Крауклис, 1979]; а Н.Л. Беручашвили указывал на возможность в отдельных случаях дешифрирования на основе данных дистанционного зондирования горизонтальных границ природно-территориальных комплексов по рельефу [Беручашвили, 1990]. По этой причине рядом исследователей предложено вместо рассмотрения нескольких факторов среды по отдельности использовать количественные характеристики рельефа [Guisan, Zimmerman, 2000].

Поиск связи ландшафтной структуры со значениями количественных параметров рельефа, включая оценку роли рельефа в перераспределении стока, основан на концепции аккумуляции – сноса вещества [Шарый, 2016]. А. Энда [Aandahl, 1948] предложил при изучении путей стока использовать горизонтальную (плановую) и вертикальную (профильную) кривизны склонов, в связи с тем что вертикальная кривизна характеризует относительное

замедление/ускорение потоков вещества на склонах [Speight, 1974], а горизонтальная – сближение/расхождение линий тока [Kirkby, Chorley, 1967].

В условиях аридных высокогорий основным фактором, определяющим специфику ландшафтной структуры территории, выступает увлажнение, а точнее перераспределение скудного количества атмосферных осадков за счет неровностей рельефа, широкого распространения слабо проницаемых поверхностей, дополнительного притока влаги в результате оттаивания деятельного горизонта многолетнемерзлых грунтов и т. п. Настоящее исследование направлено на выявление особенностей морфологической структуры ландшафтов аридных высокогорий на основе анализа количественных характеристик рельефа.

Высокогорные районы, играющие ключевую роль в формировании стока крупнейших рек,

обеспечении водой бессточных внутригорных территорий и т. п., до сих пор остаются слабоизученными в силу своей труднодоступности, малонаселенности, недостаточного развития транспортной инфраструктуры. В связи с этим представляется крайне важным наличие в регионе участка, достаточно детально и разносторонне исследованного, так как это дает возможность использовать его в качестве модельного для изучения закономерностей функционирования геосистем и решения разнообразных фундаментальных и прикладных задач. Именно поэтому объектом исследования выбрана территория массива Монгун-Тайга (3976 м), расположенного в западной части Республики Тыва, на стыке системы Танну-Ола с хребтами Горного и Монгольского Алтая (рис. 1), подробно изученная специалистами различных направлений.

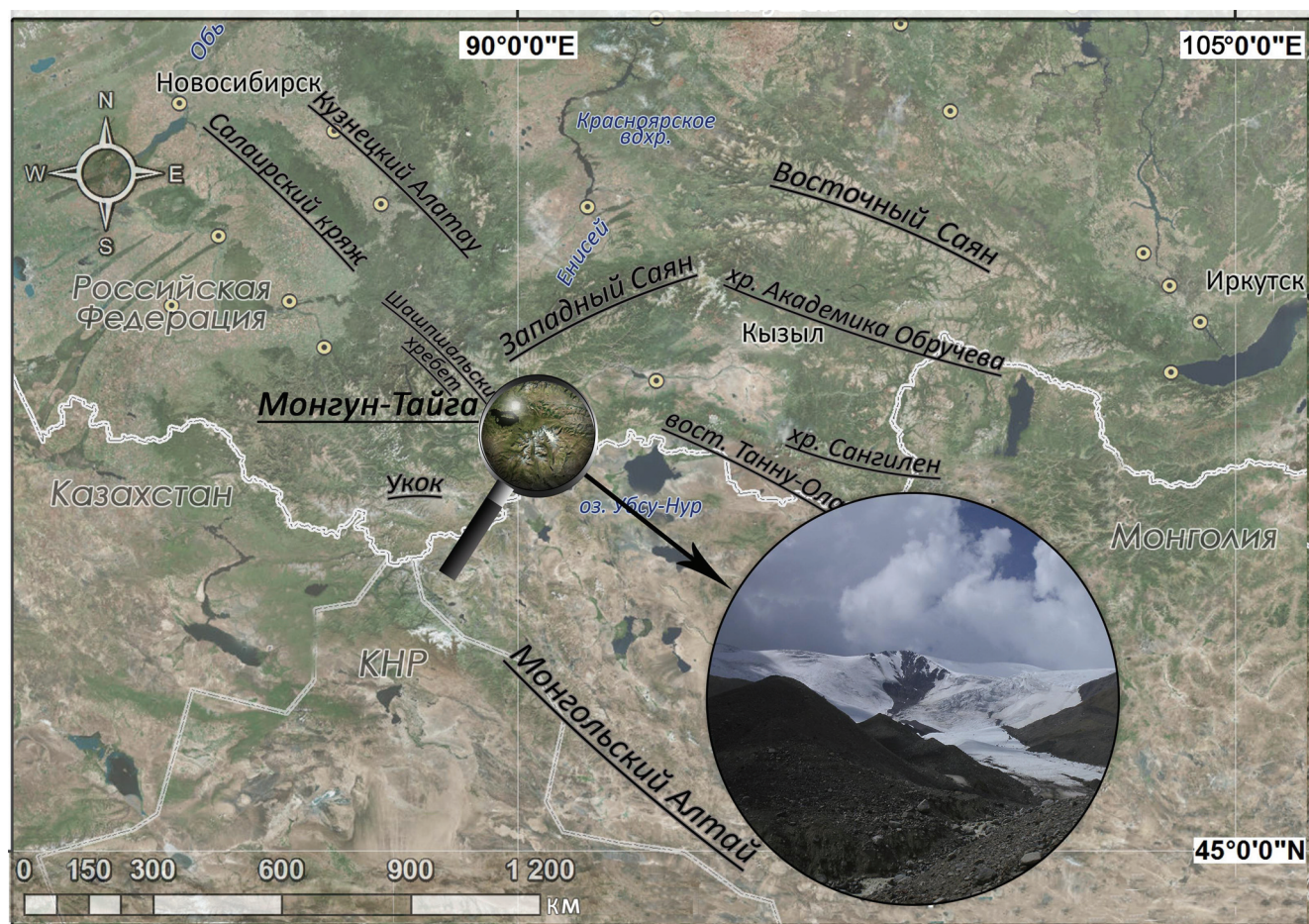


Рис. 1. Район исследования. На врезке – фото вершины г. Монгун-Тайга

Fig. 1. Study area. Inset – top of the Mongun-Taiga massif

Формирование ландшафтной структуры ключевого участка общей площадью более 1 тыс. км², относящегося к бассейну Котловины Больших Озер, обусловлено сочетанием нескольких физико-географических факторов: положением территории

массива на стыке природных зон степей и полупустынь и климатических секторов (континентального и резко континентального), а также разнообразием рельефа территории (представлены как участки сильно расчлененного горного рельефа, так и раз-

ноуровневые поверхности выравнивания, обширные пологие моренные равнины и плоские днища троговых долин рек). Кроме того, вследствие низкой плотности населения, традиционного характера природопользования и включения в 2000 г. территории в состав биосферного заповедника «Убсунурская котловина» из числа факторов, влияющих на структуру ландшафтов, антропогенный можно практически исключить.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Под ландшафтной структурой территории авторы понимают пространственное распределение геосистем локального уровня организации, определенных через местоположения и длительно-временные состояния почвенно-растительного покрова. Местоположения геосистем выделялись по форме рельефа, уклону, типу, составу и мощности поверхностных отложений, а также режиму миграции вещества; длительно-временные состояния определялись как группы растительных сообществ, объединенных по принципу доминирования тех или иных видов растений. Временной аспект ландшафтной структуры в настоящей работе не рассматривался.

Морфометрический анализ территории проводился на основе цифровой модели местности (далее – ЦММ) SRTM (версия 3) с пространственным разрешением 3 угловых секунды [ASTER..., 2020]. В отличие от ЦММ, построенных интерполяцией по топографическим картам или по прямым измерениям высоты, модель SRTM, полученная методами дистанционного зондирования, содержит высокочастотный шум, требующий сглаживания. В качестве фильтра был выбран алгоритм Mesh Denoise [Sun et al., 2007], эффективность применения которого была показана в [Stevenson et al., 2010]. Мультиспектральные снимки высокого пространственного разрешения спутников SPOT-5 и SPOT-6 (группа компаний «СканЭкс») были обработаны ДТМ-фильтром для устранения в первом приближении искажений, вызываемых кронами.

Анализ ландшафтной структуры массива проводился для 200-метровых высотных интервалов отдельно для северного макросклона и южного макросклона в связи со значительным перепадом высот исследуемой территории и морфоструктурными особенностями массива. Полученная на основе цифровой модели база данных состоит из более чем 188 тыс. точек с набором характеристик, включающих, помимо морфометрических характеристик рельефа, информацию о почвенно-растительном покрове.

В качестве инструмента морфометрического анализа в работе использовались два набора количественных характеристик рельефа. Первый (М1)

представлен, помимо высоты, так называемыми локальными морфометрическими величинами – уклоном (крутизной) и полной аккумуляционной кривизной [Shary et al., 2002]. В последнем показателе, представляющем собой произведение вертикальной и плановой кривизны, учитываются оба механизма аккумуляции и сноса вещества [Shary, 1995], которые могут быть описаны значениями вертикальной и горизонтальной кривизны, рассчитанными по формуле Зевенбергена–Торне [Zevenbergen, Thorne, 1987]. Ввиду малых по модулю (порядка 10^{-5}) абсолютных значений аккумулятивной кривизны была проведена процедура нормализации путем деления на стандартное отклонение, что, по сути, эквивалентно стандартному z -преобразованию.

Второй набор морфометрических характеристик (М2) включает, помимо высоты, крутизну и индекс *TWI* (*Topographic Wetness Index*), широко применяемый в науках о Земле и рассчитываемый по формуле [Beven, 1979]:

$$TWI = \ln \frac{CA}{tg \alpha}, \quad (1)$$

где *CA* – водосборная площадь, α – угол наклона (крутизна).

Относительно однородные по количественным характеристикам рельефа участки ЦММ, обособленные по двум комбинациям морфометрических величин на основе квантилей их распределения, в настоящем исследовании называются морфометрическими местоположениями (ММ1 и ММ2 – соответственно набору используемых параметров).

Приуроченность групп растительных сообществ к морфометрическим местоположениям выявлялась по квантилям распределения в каждом диапазоне значений комбинаций морфометрических величин, а затем оценивалась с помощью меры энтропии [Ricotta, Szeidl, 2006; Rocchini et al., 2013], выраженной в виде дискретного набора вероятностей [Shannon, 1948]:

$$H_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}, \quad (2)$$

где P_{ij} – встречаемость i -й группы растительных сообществ в j -м местоположении, n – число местоположений, выделенных в высотном интервале.

В случае максимального значения энтропии ($H_i = 1$) данная группа растительных сообществ с равной вероятностью может встречаться на любом из местоположений и, стало быть, не дает однозначного представления о ландшафтной структуре местности. При минимальной энтропии ($H_i \rightarrow 0$) в каждом местоположении встречается только одна группа растительных сообществ.

Полученные значения энтропии для каждой группы растительных сообществ усреднялись по высотному интервалу со взвешиванием по занимаемой ими площади:

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n H_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (3)$$

где H_i – энтропия распределения i -й группы растительных сообществ из (2), S_i – площадь, занимаемая этой группой сообществ в данном высотном интервале.

Проверка корректности использования количественных характеристик рельефа при выявлении степени приуроченности групп растительных сообществ к определенным местоположениям осуществлялась двумя способами: визуальным путем наложения раstra ЦММ на ландшафтную карту горного массива Монгун-Тайга масштаба 1:100 000 [Горный массив..., 2012], а также путем сравнения нормированных значений мер энтропии при обязательном условии неравного количества числа градаций местоположений, выделенных разными способами.

$$H_{\text{норм}} = \frac{H_i}{\ln m}, \quad (4)$$

где m – число местоположений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для исследуемой территории характерны большие амплитуды уклонов и высот: разброс значений уклонов составляет 0–45°, высот – 1800–3950 м, при этом имеет место неравномерное распределение площадей одинаковых высотных ступеней северного и южного макросклонов.

Значения рассчитанных морфометрических характеристик рельефа распределены ожидаемо: максимумы вертикальной кривизны (0,014) наблюдаются вдоль водораздельных линий по гребням, минимумы (–0,0054) – в серединах склонов и на дне относительно узких V-образных долин; максимумы горизонтальной кривизны (0,4) – на выпуклых отрогах, минимумы (–0,96) – в днищах всех долин, включая U-образные троговые. Распределение значений аккумулятивной кривизны имеет более сложный характер.

Все значения количественных характеристик рельефа были разделены по уклону на три диапазона, по квантилям распределения значений аккумулятивной кривизны – на пять. Таким образом, получилось 15 комбинаций морфометрических местоположений ММ1. Аналогично был получен второй набор ММ2 – по диапазонам уклонов и значений TWI .

В ходе проведенных ранее исследований высотной структуры массива было получено распределение местоположений по высотным интервалам в зависимости от макросклона [Гаврилкина и др., 2014]. Применение морфометрических характеристик рельефа позволило выявить приуроченность местоположений к выпуклым/вогнутым участкам внутри высотного интервала. В качестве примера приведено графическое отображение распределения местоположений высотного интервала 2200–2400 м в зависимости от комбинаций морфометрических характеристик (рис. 2). Для наглядности ячейки маркированы пунсоном через каждые 10%. В качестве нижнего порога встречаемости местоположений в настоящей работе принималось значение 5% (число точек в конкретной ячейке от общего числа точек в диапазоне). Для удобства интерпретации результатов все рассчитанные значения TWI были разбиты на пять диапазонов по мере ухудшения дренажа, а именно: 1 – от 4,59 до 6,83; 2 – от 6,84 до 7,57; 3 – от 7,58 до 8,41; 4 – от 8,42 до 9,75; 5 – от 9,76 до 21,29.

Так, если уклоны превышают 15°, то во всех высотных интервалах независимо от диапазона TWI доля среднекрутых склонов S_2 (см. рис. 2) составляет порядка 90% от числа точек конкретной ячейки «уклон – TWI ». Очевидно, что по мере увеличения значений TWI (и, соответственно, ухудшения дренажа) возрастает доля морен, что особенно ярко проявляется на выположенных территориях; при этом при значении TWI , равном 1, морены полностью отсутствуют. Дешифровочным признаком террас, пойм и днищ троговых долин (местоположения Ad и U соответственно) можно считать комбинацию «уклон < 2°/ TWI = 5».

Наложение полей пространственного распределения морфометрических характеристик на ландшафтную карту массива масштаба 1:100 000 показало, что учет крутизны и кривизны позволяет с высокой степенью достоверности определять формы рельефа аридных высокогорий данного региона и, таким образом, существенно снизить субъективность дешифрирования космических снимков за счет частичной замены результатов умозаключений исследователя (например, о генезисе, возрасте и проч.) более объективными количественными характеристиками.

Совпадение участков древесной растительности, оконтуренных на основе спутниковых снимков SPOT, а также установленное повышение точности локализации местоположений при использовании комбинаций количественных характеристик рельефа послужили основанием для предположения о наличии связи растительных группировок с морфометрическими характеристиками рельефа.

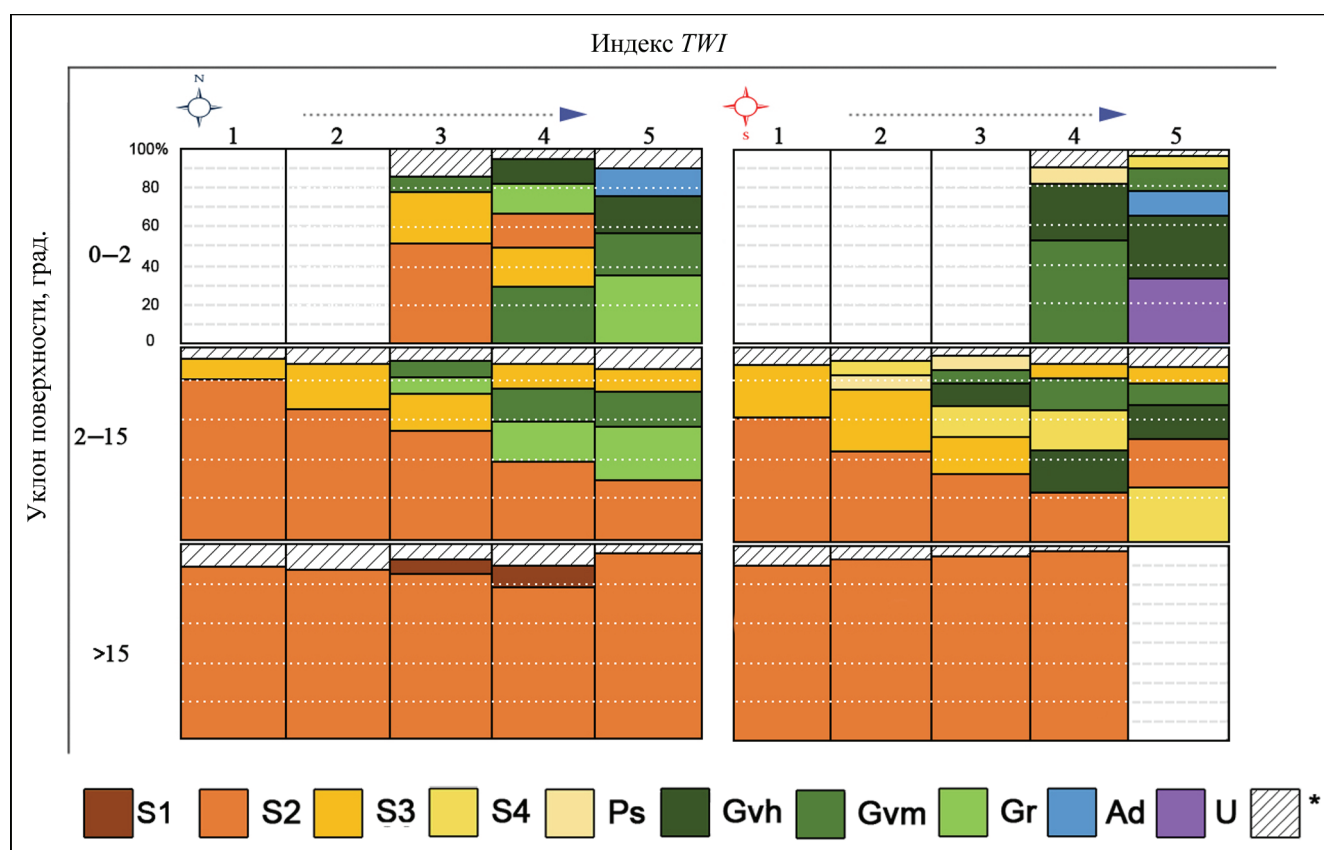


Рис. 2. Распределение местоположений высотного интервала 2200–2400 м в зависимости от комбинаций морфометрических характеристик MM2 (уклон/значения *TWI*) для северного (N) и южного (S) макросклонов: S1 – склоны гравитационного сноса, в том числе осыпи; S2 – среднекрутые склоны с сильным эрозийным расчленением; S3 – пологие склоны делювиального сноса; S4 – склоны делювиальной аккумуляции; Ps – высоко- и среднегорные поверхности выравнивания; Gvh – холмисто-западинные морены вюрмского возраста; Gvm – волнистые поверхности вюрмской морены периода ледникового максимума; Gr – холмисто-увалистые морены рисского возраста; Ad – дренируемые высокие террасы рек и зандры; U – вогнутые переувлажненные участки долин, в том числе террасы, поймы; * – сочетания различных местоположений, занимающих площади ниже порогового значения. Стрелкой показано ухудшение дренажа

Fig. 2. Distribution of locations within the 2200–2400 m altitude interval based on combinations of morphometric characteristics MM2 (slope/ *TWI*) of the northern (N) and southern (S) macroslopes: S1 – gravity drifting steep slope, including slides; S2 – average steepness slope with sharp erosional fragmentation; S3 – deluvial gentle slopes; S4 – deluvial accumulative slopes; Ps – highland planation surfaces; Gvh – hilly-depression wurm moraines; Gvm – rippled wurm moraines glacial maximum; Gr – hilly riss moraines; Ad – drained high river terraces and aprons; U – concave water-logged valleys, including terraces, floodplains; * – combination of different locations, occupying an area below a threshold value. The arrow indicates the degradation of drainage

Анализ полученных значений средней нормированной энтропии, рассчитанной для местоположений, выделенных разными способами (рис. 3), показал заметное снижение меры неопределенности распределения групп растительных сообществ по всему высотному профилю при применении комбинаций морфометрических величин. Это особенно важно в связи с тем, что ранее [Гаврилкина и др., 2014] было показано: для большинства групп растительных сообществ (кроме группировок петрофитов и пойменных лесов) явной связи с местоположениями на основе только высотно-экспозиционного анализа выявить не представляется возможным.

Наиболее заметное уменьшение значений энтропии отмечено в пределах экотонной полосы в диапазоне высот 2200–2800 м [Зелепукина и др., 2018], отличающейся высоким для аридных высокогорий ландшафтным разнообразием. При этом максимальное снижение меры неопределенности отмечается на северном макросклоне в интервале высот 2000–2400 м ($\Delta H_{\text{норм}}$ достигает 0,3 на высоте 2300 м), а на южном несколько выше – 2400–2600 м ($\Delta H_{\text{норм}}$ превышает 0,2 на уровне 2500–2600 м).

Несмотря на некоторые отличия результатов применения морфометрического подхода на различных высотных уровнях и макроэкспозициях склонов, можно с высокой степенью уверенности

утверждать, что в пределах экотонной полосы получено количественное подтверждение приоритетной роли рельефа в перераспределении влаги за счет косвенного учета поверхностного стока через значения *TWI*.

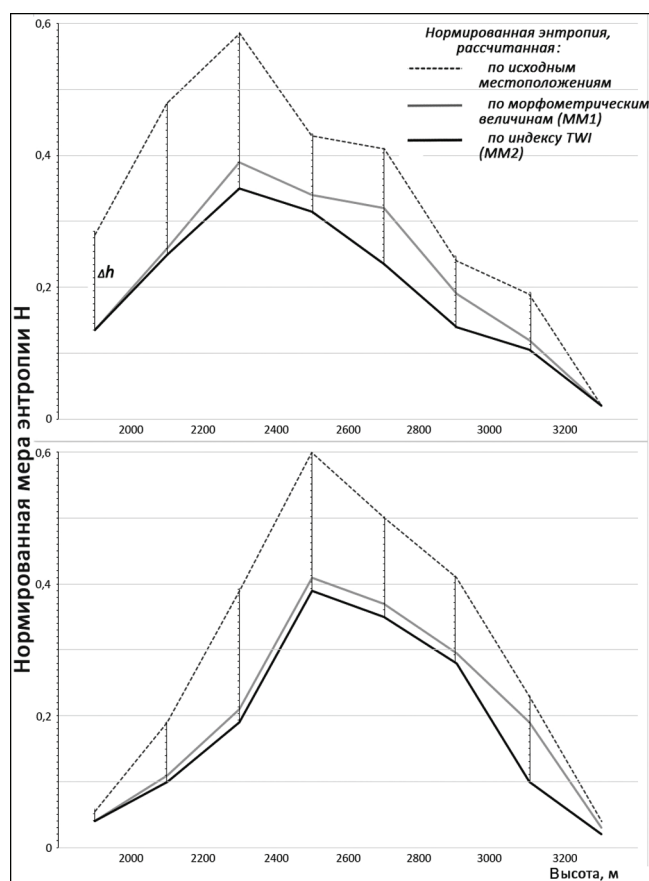


Рис. 3. Графики распределения значений нормированной энтропии групп растительных сообществ, рассчитанной по местоположениям, выделенным разными способами: сверху – для северного макросклона; внизу – для южного макросклона

Fig. 3. Plots of the probable normalized entropy distribution for the groups of plant communities calculated by locations identified in different ways. At the top: northern macroslope; at the bottom: southern macroslope

Одной из проблем дешифрирования растительного покрова высокогорий является скудность снимков высокого разрешения в свободном доступе, в том числе ввиду короткого бесснежного периода. Кроме того, цветовой аспект генеративных органов злаков тундр создает обманчивое впечатление более широкого распространения степей и может привести к завышению оценочных площадей степных сообществ. Именно поэтому для верификации результатов дешифрирования необходимо наличие хорошо изученных эталонных участков. Одним из возможных способов повышения качества дешиф-

рования безлесных высокогорных ландшафтов могут выступать предлагаемые комбинации морфометрических параметров (таблица).

Для данного региона характерно широкое распространение разнообразных тундр, которые можно объединить в две основные группы: ерниковые и шпалерные. Подробное описание состава и структуры группировок растительности приведено в [Зелепукина и др., 2018]. В ходе морфометрического анализа распределения групп растительных сообществ установлено, что осоково-мохово-ерниковые тундры, приуроченные исключительно к избыточно увлажненным участкам морен северного макросклона, совсем не встречаются выше 2700 м, а также при уклонах более 15° и при *TWI* < 2. А вот разнотравно-осоково-ерниковые тундры, напротив, преимущественно распространены на среднекрутых (S2) и пологих (S3) коренных склонах в широком диапазоне увлажнения и уклонов и поднимаются выше 3000 м.

Отмечается выраженное преобладание шпалерных тундр на хорошо дренируемых местоположениях. Кроме того, верхняя граница их высотного распределения поднимается выше 3100 м. Особенно ярко это проявляется для разнотравно-осоково-дриадовых тундр, приуроченных по большей части к пологим коренным склонам S3. Распределение разнотравно-кобрезиево-дриадовых тундр носит более сложный характер: они занимают как хорошо, так и слабо дренируемые участки коренных среднекрутых склонов (S2), морен (Gr, Gvm), а также встречаются на поверхностях выравнивания (Ps). Кобрезиево-дриадово-лишайниковые тундры занимают в целом незначительные площади. Можно с уверенностью сказать, что лимитирующим фактором распространения этого вида тундр является значение *TWI* ≤ 5.

Нетипичные для аридных высокогорий луга занимают в высотном распределении аридных ландшафтов значительные площади, создавая экотонную ландшафтную полосу массива. Разнотравные альпийские луга приурочены к слабо дренируемым холмисто-западинным моренам (Gr) и вогнутым переувлажненным участкам троговых долин (U) в диапазоне *TWI* = 3–5. Кобрезиево-разнотравные луга преобладают на хорошо дренируемых среднекрутых коренных склонах (S2); лимитирующим фактором распространения можно считать уклон < 2°. Для злаково-осоково-разнотравных, иногда закустаренных лугов наблюдается четкая приуроченность к хорошо увлажненным местоположениям Ad и U.

Таким образом, полученные параметры распределения в сочетании с доказанным снижением значений энтропии позволяют утверждать, что данный подход заметно повышает качество дешифрова-

ния растительного покрова труднодоступных высокогорных территорий за счет более объективной характеристики распределения группировок растительности. Кроме того, применение морфометриче-

ского подхода дает исключительную возможность повысить достоверность прогнозов трансформации ландшафтной структуры при изменении внешних факторов.

Таблица

Комбинации морфометрических характеристик, определяющие распределение групп растительных сообществ (фрагмент)

Группы растительных сообществ		Характеристики рельефа	Зона оптимума	Зона пессимума
Ерниковые тундры	Осоково-мохово-ерниковые тундры	Высота, м	2300–2500 (N), 2500–2700 (S)	2200–2300
		Уклон, град.	2–15	<2
		<i>TWI</i> , диапазон	4–5	3
		Местоположение	Gr, Gvm	Gvh
	Разнотравно-осоково-ерниковые тундры	Высота	2200–2700 (N), 2500–2900 (S)	2100–2200, выше 3000
		Уклон, град.	2–15	>15
		<i>TWI</i> , диапазон	2–5	1
		Местоположение	S2, S3, Gr	Gvm, Gvh
Шпалерные тундры	Разнотравно-осоково-дриадовые тундры	Высота	2300–2900 (N), 2700–3100 (S)	2200–2300, 2600–2700
		Уклон, град.	2–15	>15
		<i>TWI</i> , диапазон	2–3	1
		Местоположение	S3	S2
	Разнотравно-кобрезиево-дриадовые тундры	Высота	2400–2700 (N), 2600–3000 (S)	2200–2400
		Уклон, град.	2–15	< 2
		<i>TWI</i> , диапазон	3–5 (N), 1–3 (S)	1; 5
		Местоположение	S2, Gr, Gvm	S2, Ps, Gvm
	Кобрезиево-дриадово-лишайниковые тундры	Высота	2700–2900	
		Уклон, град.	2–15	
		<i>TWI</i> , диапазон	2–4	
		Местоположение	S3	
Луга	Разнотравные альпийские луга	Высота, м	2400–2600	
		Уклон, град.	2–15	>15
		<i>TWI</i> , диапазон	3–5	2
		Местоположение	Gr, U	
	Кобрезиево-разнотравные луга	Высота, м	2200–3100	
		Уклон, град.	>2	
		<i>TWI</i> , диапазон	1–2 (N), 1–4 (S)	
		Местоположение	S2	S3
	Злаково-осоково-разнотравные, иногда закустаренные луга	Высота, м	2000–2500 (N), 2300–2700 (S)	1900–2000, выше 2700
		Уклон, град.	>15	
		<i>TWI</i> , диапазон	2–5	1
		Местоположение	S2, S3, Ad, Gvh, U	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Снижение меры энтропии распределения групп растительных сообществ, рассчитанной по комбинациям морфометрических характеристик, доказывает высокую точность характеристики ландшафт-

ной структуры на основе предложенных наборов морфометрических характеристик (высота, уклон, аккумулятивная кривизна; топографический индекс *TWI*). В этой связи можно рекомендовать применение результатов подобного морфометрического ана-

лиза цифровых моделей рельефа в процессе автоматизированной классификации горных ландшафтов для уточнения границ ландшафтных единиц, интер-

претации материалов дистанционных съемок и прогнозирования трансформаций ландшафтной структуры на качественно новом уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беручашвили Н.Л. Геофизика ландшафта: учеб. пособие для геогр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1990. 287 с.
- Гаврилкина С.А., Зелепукина Е.С., Резников А.И., Чистяков К.В. Высотная структура ландшафтов высокогорного массива Монгун-Тайга // Известия Самарского науч. центра РАН. 2014. Т. 16. № 1–4. С. 1063–1072.
- Горный массив Монгун-Тайга / К.В. Чистяков, Д.А. Ганюшкин, И.Г. Москаленко и др. СПб.: Арт-Экспресс, 2012. 310 с.
- Зелепукина Е.С., Гаврилкина С.А., Лесовая С.Н., Галанина О.В. Ландшафтная структура высотной экотонной полосы высокогорного массива Монгун-Тайга // Известия Русского географического общества. 2018. Т. 150. Вып. 2. С. 33–47.
- Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 233 с.
- Солнцев Н.А. Системная организация ландшафтов (Проблемы методологии и теории). М.: Мысль, 1981. 241 с.
- Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
- Шарый П.А. Геоморфометрический анализ пространственной изменчивости почв и экосистем: дис. ... д-ра биол. наук. Ростов н/Д, 2016. 319 с.
- Aandahl A.R. The characterization of slope positions and their influence on the total nitrogen content of a few virgin soils of western Iowa, *Soil Science Society of America Proceedings*, 1948, vol. 13, p. 449–454.
- Beven K.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Journal Hydrological Sciences Bulletin*, 1979, vol. 24, iss. 1, p. 43–69.
- Guisan A., Zimmermann N.E. Predictive habitat distribution models in ecology, *Ecological Modeling*, 2000, vol. 135, iss. 2–3, p. 147–186.
- Kirkby M.J., Chorley R.J. Throughflow, overland flow and erosion, *International Association of Scientific Hydrology, Bulletin*, 1967, vol. 12, iss. 3, p. 5–21, DOI: 10.1080/02626666709493533.
- Ricotta C., Szeidl L. Towards a unifying approach to diversity measures: bridging the gap between the Shannon entropy and Rao's quadratic index, *Theoretical Population Biology*, 2006, vol. 70, p. 237–243.
- Rocchini D., Delucchi L., Bacaro G. et al. Calculating landscape diversity with information-theory based indices: A GRASS GIS solution, *Ecological Informatics*, 2013, vol. 17, p. 82–93, DOI: 10.1016/j.ecoinf.2012.04.002.
- Shannon C.E. A mathematical theory of communication, *The Bell System Technical Journal*, 1948, vol. 27, no. 3, p. 379–423.
- Shary P.A. Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures, *Mathematical Geology*, 1995, vol. 27, no. 3, p. 373–390.
- Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis, *Geoderma*, 2002, vol. 107, no. 1–2, p. 1–32.
- Speight J.G. Parametric approach to landform regions, *Institute of British Geographers Special Publication*, 1974, no. 7, p. 213–230.
- Stevenson J.A., Sun X., Mitchell N.C. Despeckling SRTM and other topographic data with a denoising algorithm, *Geomorphology*, 2010, vol. 114, no. 3, p. 238–252.
- Sun X., Rosin P.L., Martin R.R., Langbein F.C. Fast and effective feature-preserving mesh denoising, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2007, vol. 13, iss. 5, p. 925–938, DOI: 10.1109/TVCG.2007.1065.
- Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative analysis of land surface topography, *Earth Surface Processes and landforms*, 1987, vol. 12, p. 47–56.
- Электронный ресурс
ASTER Global Digital Elevation Model Data, URL: <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> (дата обращения 08.10.2020).

Поступила в редакцию 19.11.2022

После доработки 14.01.2023

Принята к публикации 22.02.2023

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF LANDSCAPE STRUCTURE IN ARID HIGHLANDS (CASE STUDY OF THE MONGUN TAIGA MOUNTAINS)

E.S. Zelepukina¹, S.A. Gavrilkina², A.V. Terekhov³, A.I. Reznikov⁴

¹ Saint Petersburg State University of Telecommunications, Department of environmental safety of telecommunications, Associate Professor; Ph.D. in Geography; e-mail: elezelepu@gmail.com

² International Institute for Monitoring Democracy Development and Parliamentarianism, Interparliamentary Assembly of Member Nations of the Commonwealth of Independent States, Saint-Petersburg, Counselor; Ph.D. in Geography; e-mail: svetilnic@mail.ru

³ State Hydrological Institute (Saint Petersburg, Russia), GIS group, team leader; e-mail: antonvterekhov@gmail.com

⁴ Saint-Petersburg State University, Department of Physical Geography and Landscape Design, Senior Lecturer; Ph.D. in Geography; e-mail: ar1725.2@gmail.com

The analysis of the spatial structure of landscapes of arid highlands was carried out by combinations of several morphometric characteristics based on the high-resolution remote sensing data. The choice of the Mongun-Taiga Mountains located in the west of the Republic of Tyva (Russia), as a model site, is due to the possibility of verifying the results of morphometric analysis using the extensive material from long-term field studies of the massif. It is shown that the territory could be split into sections relatively homogeneous in terms of relief morphometric parameters in order to describe the locations with a sufficiently high accuracy. It has been established that the entropy of the distribution of plant community groups, averaged over altitudinal intervals, significantly decreases when locations are identified based on combinations of morphometric values for the entire altitudinal profile, regardless of the macroslope.

Combining field trials, cartographic and remote sensing methods makes it possible to assert that proposed set of morphometric characteristics is able to output plant cover horizontal structure. It can be used for automatic interpretation of hardly accessible areas of Inner Asia as well as for the forecast of landscape structure transformation as a result of spontaneous or human-induced changes.

Keywords: landscape structure, digital elevation model, arid highlands, geomorphometry, TWI, Shannon diversity index

REFERENCES

- Aandahl A.R. The characterization of slope positions and their influence on the total nitrogen content of a few virgin soils of western Iowa, *Soil Science Society of America Proceedings*, 1948, V. 13, P. 449–454.
- Beruchashvili N.L. *Geofizika landshafta* [Landscape geophysics], ucheb. posobiye dlya geogr. spets. vuzov. Moscow: Higher School Publ., 1990. 287 p. (In Russian)
- Beven K.J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology, *Journal Hydrological Sciences Bulletin*, 1979, vol. 24, iss. 1, p. 43–69.
- Gavrilkina S.A., Zelepukina E.S., Reznikov A.I., Chistyakov K.V. Vysotnaya struktura landshaftov vysokogornogo massiva Mongun-Taiga [The altitudinal landscapes structure of Mongun-Taiga highland massif], *Izv. Samar'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2014, vol. 16, no. 1–4, p. 1063–1072. (In Russian)
- Gomyi massiv Mongun-Taiga [Mongun-Taiga highland massif], K.V. Chistyakov, D.A. Ganyushkin, I.G. Moskalenko i dr. (avt.), Saint-Petersburg: Art-Ekspress Publ., 2012, 310 p. (In Russian)
- Guisan A., Zimmermann N.E. Predictive habitat distribution models in ecology, *Ecological Modeling*, 2000, vol. 135, iss. 2–3, p. 147–186.
- Kirkby M.J., Chorley R.J. Throughflow, overland flow and erosion, *International Association of Scientific Hydrology, Bulletin*, 1967, vol. 12, iss. 3, p. 5–21, DOI: 10.1080/02626666709493533.
- Krauklis A.A. *Problemy eksperimental'nogo landshaftovedeniya* [Problems of experimental landscape science], Novosibirsk: Nauka Publ., 1979, 233 p. (In Russian)
- Ricotta C., Szeidl L. Towards a unifying approach to diversity measures: bridging the gap between the Shannon entropy and Rao's quadratic index, *Theoretical Population Biology*, 2006, vol. 70, p. 237–243.
- Rocchini D., Delucchi L., Bacaro G. et al. Calculating landscape diversity with information-theory based indices: A GRASS GIS solution, *Ecological Informatics*, 2013, vol. 17, p. 82–93, URL: DOI: 10.1016/j.ecoinf.2012.04.002.
- Shannon C.E. A mathematical theory of communication, *The Bell System Technical Journal*, 1948, vol. 27, no. 3, p. 379–423.
- Shary P.A. Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures, *Mathematical Geology*, 1995, vol. 27, no. 3, p. 373–390.
- Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis, *Geoderma*, 2002, vol. 107, no. 1–2, p. 1–32.
- Shary P.A. *Geomorfometricheskii analiz prostranstvennoi izmenchivosti pochv i ekosistem* [Geomorphometric analysis of soils and ecosystems spatial variability], Ph.D. Thesis in Biology, Rostov-na-Donu, 2016, 319 p. (In Russian)
- Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemakh* [An introduction to the study of geosystems], Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 319 p. (In Russian)
- Solntsev N.A. *Sistemnaya organizatsiya landshaftov* [System organization of landscapes], Moscow, Mysl Publ., 1981, 241 p. (In Russian)

- Speight J.G. Parametric approach to landform regions, *Institute of British Geographers Special Publication*, 1974, no. 7, p. 213–230.
- Stevenson J.A., Sun X., Mitchell N.C. Despeckling SRTM and other topographic data with a denoising algorithm, *Geomorphology*, 2010, vol. 114, no. 3, p. 238–252.
- Sun X., Rosin P.L., Martin R.R., Langbein F.C. Fast and effective feature-preserving mesh denoising, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2007, vol. 13, iss. 5, p. 925–938, DOI: 10.1109/TVCG.2007.1065.
- Zelepukina E.S., Gavrilkina S.A., Lesovaya S.N., Galanina O.V. Landshaftnaya struktura vysotnoi ekotonnoi polosy vysokogornogo massiva Mongun-Taiga [Landscape structure of mountain ecotone belt in the Mongun-Taiga massif], *Izvestiya Russkogo Geograficheskogo Obshchestva*, 2018, vol. 150, no. 2, p. 33–47. (In Russian)
- Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative analysis of land surface topography, *Earth Surface Processes and Landforms*, 1987, vol. 12, p. 47–56.
- Web source*
ASTER Global Digital Elevation Model Data [Electronic resource], URL: <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> (accessed 08.10.2020).

Received 19.11.2022

Revised 14.01.2023

Accepted 22.02.2023

ВЛИЯНИЕ ПОЛЕЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА РАЗВИТИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ПРИОПУШЕЧНОЙ ЗОНЕ ПОСЕВОВ

А.С. Манаенков¹, П.М. Подгаецкая², В.С. Попов³

^{1–3} Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН

¹ Зав. лабораторией защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель, гл. науч. сотр., д-р с.-х. наук; e-mail: mananenkov1@yandex.ru

² Директор Западно-Сибирской агролесомелиоративной опытной станции; e-mail: agloswnialmi@mail.ru

³ Лаборатория защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель, мл. науч. сотр.; e-mail: vladispov@yandex.ru

Система полезащитных лесных полос – долгодействующий экологический каркас аграрной территории. Их основная функция – предупреждение деградации почвенного покрова пахотных земель, улучшение микроклимата полей, сохранение устойчивости и биологического разнообразия ландшафта. Однако присутствие лесных полос осложняет полевые работы, а по границам с ними могут формироваться зоны (полосы) депрессии в развитии посевов, снижающие продуктивность угодий. Это сдерживает практику полезащитного лесоразведения, а следовательно, и решение проблемы обеспечения надежной охраны земельных ресурсов. Цель работы – установить причины и закономерности формирования зон депрессии в агроценозах, определить возможность и приемы подавления их развития. Исследования проводились на протяжении восьми лет в опытно-производственной системе 30–53-летних 2–4-рядных лесных полос из *Betula pendula* ROTH, *Pinus silvestris* L., *Ulmus laevis* PALL. и других пород на автоморфной каштановой почве Кулундинской степи Алтайского края общепринятыми методами.

Установлено, что наименьшая ширина зоны депрессии в агроценозах характерна для относительно редких лесных полос из березы и сосны, а также для лесных полос с опушечными рядами из ксерофитного кустарника (3–7 м – в сумме с наветренной и подветренной стороны), наибольшая (до 25–30 м) – вяза и тополя (*Populus laurifolia* LEDEB.), т. е. для насаждений из влаголюбивых рослых пород с плотной кроной. Она на 1–3 м шире с подветренной стороны лесных полос, где больше откладывается снега и лучше весенняя влагозарядка почвы. Увеличение высоты и густоты древостоя (протяженности и плотности дневного отенения почвы) стимулирует расширение этой зоны. Угнетение посевов сильнее выражено во влажные годы. Способствует этому повышенная сумма атмосферных осадков холодного, а также начала вегетационного периода и пожнивного сезона – до наступления устойчивых холодов. Ингибируют развитие зон депрессии обильные осадки, выпадающие в период активного роста полевых культур.

Таким образом, формирование зоны депрессии в агроценозах у полезащитных лесных полос имеет многофакторную обусловленность. В засушливых условиях наиболее действенными факторами являются потребность в почвенной влаге и влагообеспеченность древостоя. Наиболее активно экспансия корневой системы древостоя в поле и угнетение посевов происходят во влажные годы и в периоды с повышенной влажностью почвы при отсутствии или ослабленной конкуренции полевых культур. Для снижения ущерба их продуктивности необходимо осуществлять комплекс согласованных организационных, лесокультурных, лесоводственных и агротехнологических мер, направленных на повышение влагообеспеченности и ограничение распространения корневой системы древостоя лесных полос в поле.

Ключевые слова: засушливая зона, полезащитные лесные полосы, погодные условия, биометрические показатели древостоя, ширина зоны депрессии в агроценозах

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.9

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на высокую почвозащитную и в целом природоохранно-хозяйственную эффективность полезащитного лесоразведения [Кулик и др., 2012; Манаенков, Корнеева, 2021; Borelli et al., 2017; Elevitch et al., 2018], диверсификацию собственности на землю, заинтересованность землепользователей в охране и улучшении состояния полезащитных лесных полос (ПЗЛП) в России существенно не повышается, а объемы работ по их созданию носят волнообразный ха-

рактер [Стратегия..., 2008; Кулик и др., 2012]. Кроме необходимости нести затраты на посадку, выращивание и содержание лесных полос, они создают очевидные неудобства при выполнении полевых работ. Во многих случаях по границе с древостоем формируется зона депрессии в развитии агроценозов (ЗДА). Она может занимать 5–10% площади поля, где урожайность сельскохозяйственных культур на 40–60% ниже средней величины [Захаров, 1971, 1982; Захаров, Кретинин, 1979, 2005; Годунов, Годунова, 2008]. Нетруд-

но посчитать, что при средней урожайности пшеницы в Алтайском крае около 4 т/га потери зерна с 1000 га посевной площади могут составлять 100–200 т. Полезная же роль ПЗЛП наглядно проявляется лишь в острозасушливые и эрозионно-опасные годы [Энциклопедия..., 2004], что делает актуальным дальнейший поиск решения проблемы оптимизации их взаимодействия с системой земледелия на облесенных полях [Захаров, Кретинин, 2005].

Формирование ЗДА у лесных полос имеет сложную природу, а ее ширина с каждой стороны может достигать 1,5–12 м и, по-видимому, зависит от многих причин [Ящерицына, Бондаренко, 1988; Захаров, Кретинин, 2005], обусловленных как климатом, биолого-лесоводственными особенностями ПЗЛП, так и биологией, спецификой возделывания сельскохозяйственной культуры. На каштановой почве Волго-Донского междуречья ширина ЗДА с каждой стороны малорядных лесных полос достигает: у вяза приземистого 9–11 м, робинии 6–7 м, дуба черешчатого и ясени обыкновенного с опушечными рядами кустарника 4,5–5 м. Насыщенность слоя почвы 0–50 см корнями древесных пород в этой зоне почти в шесть раз выше, а их масса в пять раз больше, чем у озимой пшеницы и сорных трав [Манаенков, Абакумова, 2015].

В засушливой зоне с экологической точки зрения наиболее очевидная причина формирования ЗДА – недостаток почвенной влаги [Торохтун, 1987; Портянко, 1987], распространение корней деревьев крайних рядов в сторону поля. В районах с большой нормой твердых осадков – образование у лесных полос снежных сугробов, длительное переувлажнение почвы и выщелачивание питательных соединений [Павловский и др., 1998; Степанов, Васильев, 2001, 2006; Сарычев и др., 2021], а также отенение посевов [Ящерицына, Бондаренко, 1988]. Вероятно, определенное влияние на ширину этой зоны имеет и фенология, энергия роста и конкурентоспособность сельскохозяйственной культуры [Манаенков, Абакумова, 2015].

Цель исследования – установить закономерности влияния погодных условий, лесокультурных, лесоводственных и биологических факторов на ширину зоны депрессии развития в посевах яровой пшеницы у малорядных лесных полос на каштановой почве сухой степи и определить способы ее уменьшения.

ОБЪЕКТЫ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на полях в опытно-производственной системе 2–4-рядных 27–54-летних ветроломных лесных полос из сосны (*Pinus sylvestris* L.), березы (*Betula pendula*) и вяза (*Ulmus laevis*), расположенных в Кулундинском районе Ал-

тайского края, где актуальность повышения эффективности ПЗЛП особенно актуально [Манаенков и др., 2021; Создание долговечных..., 2022]. Среднегодовая температура воздуха составляет 2,8°C, июля – 19–21°, января – –17...–19°C, с быстрым нарастанием ее весной и снижением осенью. Нормы атмосферных осадков около 300 мм/год с большим колебанием их суммы по годам (на 60–90%) при испаряемости 560–600 мм/год. Вегетационный период короткий – 110–130 дней, за которые выпадает 160–180 мм. Около 30% осадков приходится на вторую половину лета и в большей части теряется на физическое испарение. Основную влагозарядку почвы обеспечивают осенние осадки, выпадающие в период после окончания вегетации растений и до наступления устойчивых холодов (25%), и осадки весеннего периода (20%). Твердые осадки нередко выдуваются с полей и, в среднем, пополняют весенние запасы почвенной влаги на 30–40 мм.

Для весенне-летнего периода и ранней осени характерны дни с низкой относительной влажностью воздуха и проявлением атмосферной засухи. Суховейно-засушливая погода чаще всего наблюдается в мае–июне и сочетается с почвенной засухой.

Система лесных полос создана в пределах одной водораздельной равнины со слабоволнистым рельефом, каштановыми супесчано-легкосуглинистыми незасоленными почвами на легких аллювиальных отложениях и пресной грунтовой водой на глубине 3,0–6 м.

Яровую пшеницу (базовую культуру на юге Западной Сибири) обычно высевают во второй декаде мая, убирают во второй декаде августа. Это наиболее требовательная к влаге культура из яровых хлебов I группы. От всходов до молочной спелости (в июне – июле) она расходует 70–80% необходимой ей за вегетацию влаги. В фазе кущения первичные корни проникают до 50 см вглубь, в фазе колошения – до 130 см [Коломейченко, 2007].

Строение и таксационные характеристики лесных полос изучали на пробных площадях общепринятыми в лесной таксации и защитном лесоразведении методами [Анучин, 1982; Методика..., 1985]. Погодные условия приведены по данным Кулундинской метеостанции.

Границу депрессионной зоны в посевах определяли у продольных лесных полос, расположенных через 300–350 м с ССЗ на ЮЮВ (поперек преобладающих ветров, визуально, по явным признакам угнетения растений в фазе колошения и созревания – более светлой окраске, 1,5–2-кратному уменьшению высоты, густоты и биомассы растений). Ширину этой зоны измеряли с помощью рулетки методом 25–30 рендомизированных повторений с последующей статистической обработкой данных.

Статистический анализ данных полевых наблюдений и материалов лабораторных исследований проводили на ЭВМ с использованием типовой программы STATGRAPHICS 5.0; оценку уровня связи ширины ЗДА с изучаемыми факторами – по [Доспехов, 1965].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период наблюдения (последние восемь лет) наибольшей засушливостью отличался 2013/14 гидрологический год (г. г.). Осадков за г. г. выпало на 18%, а за теплый период – на 31% меньше нормы при заметно более высокой средней температуре воздуха как в холодный, так и теплый период. Засушливым был и 2021 г., осадков за г. г. выпало на 6%, за теплый период – на 21% меньше нормы при более теплой погоде. Влажнее обычных лет оказались 2015/16, 2016/17 и 2018/19 г. г. – атмосферных осадков выпало соответственно на 17, 71 и 18% больше нормы. Наиболее частыми и обильными снегопадами отличались зимы 2014/15, 2019/20 и, особенно, 2016/17 г. г., когда твердых осадков выпало примерно вдвое больше нормы (202%). За этот период были влажнее или близки к обычному году: апрель – 5, май – 4, июнь – 2, июль – 5, август – 3, сентябрь – 1 и октябрь – 7 раз.

Пять осенне-зимних сезонов и семь вегетационных периодов были на 1,5–4,2 и 0,3–2,5°C теплее нормы. Среднегодовая температура только в 2014/15, 2016/17 и 2017/18 г. г. оказалась ниже на 0,3–4,3°C, а в остальные – выше нормы на 0,8–2,9°C.

В 2018/19 г. г. повышенная сумма осадков выпала в сентябре–ноябре, в апреле и июне, около нормы – в феврале и июле при очень засушливом мае, а температурный режим воздуха был близок к многолетней норме. Сумма осадков за год составила 130%, холодный период – 91% от нормы.

На примере этого года, близкого по метеоусловиям к умеренно влажному, установлено (табл. 1), что наименьшая ширина ЗДА (2,8 м) сформировалась у 2-рядной шириной около 10 м 33-летней распадающейся (густотой 430–440 дер./га) ПЗЛП из березы (№ 6). У 3-рядной (№ 7) – шириной 13–14 м такого же возраста и густоты она составила 7,8 м. Вдоль более высоких и плотных 51-летних полос куртин (№ 8 и 9) в понижениях рельефа ЗДА в посевах пшеницы имела ширину около 14 м, а в посевах подсолнечника (лесная полоса № 13) на 3 м шире.

У 32–35-летних чистых 2–3-рядных сосновых лесных полос шириной 9–14 м и густотой от 1–5 тыс. дер./га поперечник ЗДА составил 3–14 м. Больше он оказался у более густых лесных полос № 1 и 2 (рис.). Уже (3,0–3,5 м) – вдоль более узкой средней густоты 2-рядной лесной полосы (№ 14) и также густой

(2,8–3,0 тыс. дер./га) 2-рядной лесной полосы (№ 5) с опушечными рядами из смородины (*Ribes aureum*).

Более широкие ЗДА характерны для лесных полос из вяза (21–23 м) и тополя (*Populus laurifolia*) (22–25 м), особенно по визуальной оценке, на посевах подсолнечника (см. рис.). Наименьший поперечник (около 15 м) в посевах пшеницы она имела у 2-рядной вязовой полосы (№ 15) шириной 13 м при густоте 600–650 дер./га. Наибольший – у 3- и 4-рядной шириной 14–20 м и густотой 600–1100 дер./га при рядовом (№ 10) и диагонально-групповом (№ 11 и 12) размещении деревьев.

В умеренно засушливом 2020/21 г. г. (осадков за год выпало 94%, за теплый период – 84% от многолетней нормы), но с более снежным холодным периодом (осадков на 31% больше нормы) у 53–54-летних 3-рядных березовых лесных полос шириной около 12 м, высотой 11–14 м и густотой – 800–1000 дер./га средняя величина поперечника ЗДА в посевах пшеницы составила $5,4 \pm 1,7$, гречихи – $5,9 \pm 1,0$, подсолнечника $8,5 \pm 1,7$ м. У более широких (около 14 м) и плотных (за счет разрастания кроны опушечных деревьев) лесных полос высотой 14–17 м в посевах пшеницы она составила около 11 м, т. е. на 8–9 и 3 м меньше, чем в 2019 г. У 3-рядных лесных полос из тополя шириной 12 м и высотой 24–25 м ЗДА в посевах подсолнечника имели поперечник 28–29 м (на 4–6 м больше, чем в 2019 г.), многолетних трав – 26–27 м.

На южном черноземе Барабинской степи (Краснозерский район Новосибирской области, норма атмосферных осадков 318 мм/год) в 2021 г. (за 2020/21 г. г. осадков выпало на 51%, за холодный период – 56% больше нормы) у 44-летних 2–4-рядных березовых лесных полос шириной 12–15 и высотой 16–18 м ширина ЗДА в пшенице составила 20–21 м. У сосновых и лиственничных лесных полос шириной 12 и высотой 14–15 м – 15–17 м.

Ширина ЗДА во всех вариантах опытных систем в большинстве случаев на 1–2 м больше с подветренной стороны лесных полос по сравнению с наветренной стороной, у которой меньше откладывается снега и накапливается почвенной влаги.

Из приведенных данных следует, что ширина ЗДА и при одинаковых погодных условиях имеет многофакторную обусловленность и является результирующей воздействия группы как очевидных, например, породный состав насаждений, так и неочевидных, но значимых факторов.

Анализ регрессионной связи ширины ЗДА с суммой атмосферных осадков разных лет (табл. 2) свидетельствует, что для всех моделей лесных полос из березы и сосны на автоморфных почвогрунтах она носит почти исключительно прямой положительный характер.

Таблица 1

**Таксационная характеристика ПЗЛП и ширина ЗДА в посевах пшеницы на каштановой почве
Кулундинской степи в 2019 г.**

№ ПЗЛП	Модель ПЗЛП	Возраст, лет	Ширина, м	Густота, дер./га	Н _{ср} , м	Д _{ср} , см	Ширина ЗДА на посевах пшеницы, м		
							Нс	Пс	Общая
14	С–С, 3,0×1,0 м	32	9,0	1320	9,3	10,6	1,4±0,24	2,1±0,46	3,5±0,54
1	С–С, 3,5×1,0 м	33	10,5	1620	11,3	15,8	5,3±0,45	6,3±0,54	11,6±0,76
2	С–С–С, 3,0×0,3 м	33	12,0	4750	2,8	2,5	6,1±1,1	7,4±0,48	13,5±0,54
3	С–С–С, 4,0×0,5 м	35	14,0	2600	0,4	2,6	2,5±0,28	3,6±0,49	6,1±0,73
4	С–С–С, 4,0×1,5 м	35	14,0	971	10,2	17,2	2,4±0,57	3,8±0,64	6,2±0,78
5	см–С–С–см, 1,2×0,4 м	33	12,0	2920	0,0	3,8	1,3±0,74	1,9±0,39	3,2±0,76
НСР₀₅							0,56	0,50	0,68
6	Б–Б, 3,5×2,0 м	33	10,0	430	9,8	4,2	1,2±0,20	1,6±0,42	2,8±0,48
7	Б–Б–Б, 3,5–2,0 м	33	13,5	540	9,3	15,5	2,9±0,60	4,9±1,20	7,8±1,46
8	Б–Б, 3,0×1,0 м	51	11,0	1280	16,4	18,4	6,2±0,93	7,4±1,13	13,6±1,53
9	Б–Б–Б, 3,0×1,0 м	51	12,0	880	11,4	18,1	4,9±0,63	9,3±0,80	14,2±1,15
НСР₀₅							0,59	0,89	1,15
15	В–В, 2,0×1,0 м	33	13,0	630	9,9	15,1	7,4±0,87	7,8±0,63	15,2±1,13
10	В–В–В, 3,5×2,0 м	33	19,0	960	7,3	10,3	10,3±0,74	11,7±1,26	22,0±1,64
11	В–В–В–В, 2,0'7,0 м	33	14,0	1120	8,3	13,1	11,3±0,60	11,4±1,20	22,7±1,47
НСР₀₅							0,73	1,03	1,41
12	В–С–С–В, 2,0'7,0 м	31	14,0	714	10,4	12,7	10,0±2,59	12,5±1,14	22,5±3,38/*
13	Б–Б–Б, 3,0×1,0 м	51	12,0	890	12,1	18,2	9,8±0,87	7,5±1,42	17,3±1,31/*
16	Т–Т–Т, 5,0×2,5 м	51	14,0	340	19,4	38,5	13,0±1,70	11,3±0,82	24,3±1,78/*
НСР₀₅							1,72	1,12	2,16
НСР₀₅ для всех пород							0,90	0,88	1,35

Примечание. С – сосна обыкновенная, Б – береза повислая, В – вяз обыкновенный, Т – тополь лавролиственный, см – смородина золотистая; 3,5×1,0 – схема размещения посадочных мест; Нс – наветренная сторона; Пс – подветренная сторона лесных полос; /* – ширина ЗДА в посевах подсолнечника; ЗДА – зона депрессии агроценоза яровой пшеницы.

У березовой 36-летней 2-рядной лесной полосы (№ 6) ширина ЗДА тесно связана ($r = 0,65$) с суммой осадков за холодный период, т. е. с накоплением снега и весенней влагозарядкой почвы. Но практи-

чески не обусловлена осадками вегетационного периода и г. г. Способствуют расширению ЗДА осадки за апрель–май ($r = 0,27$), а заметно сдерживают его ($r = -0,39$) – за июнь и июнь–июль ($r = -0,23$), т. е.

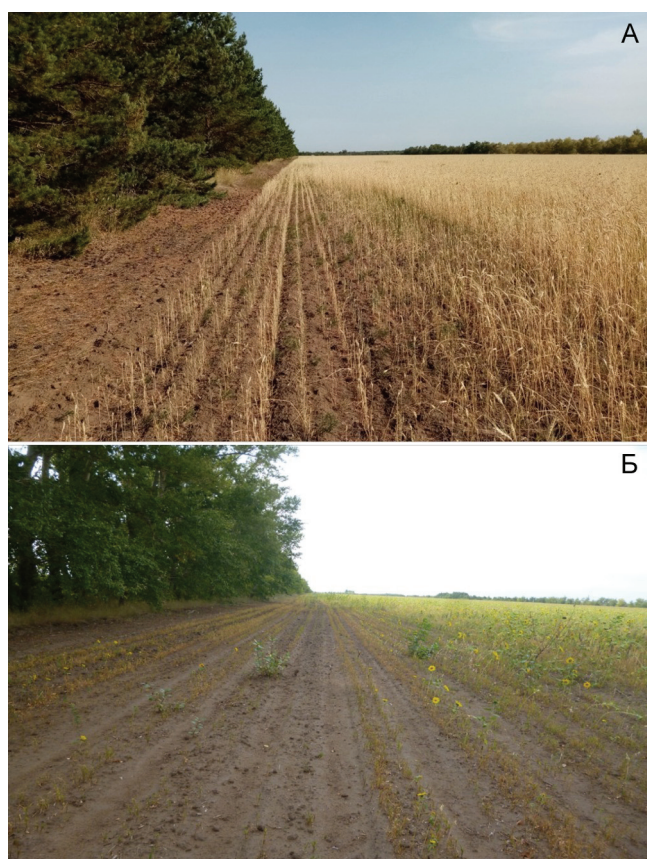


Рис. Зона депрессии агроценоза в посевах пшеницы у сосновой лесной полосы (№ 3) (А) и подсолнечника у тополевой лесной полосы (№ 16) (Б) на каштановой почве Кулундинской степи. 2019 г.

Фото П.М. Подгаецкой

Fig. Depressive agrocenosis zone in wheat crops near pine forest belt (no 3) and sunflower crops near poplar forest belt (no 16) on chestnut soil in the Kulunda steppe. 2019.

Photo by P.M. Podgaetskaya

осадки, выпадающие до начала вегетации и в период активного развития посевов яровой пшеницы. У 3-рядной березовой полосы (№ 7) повышенные суммы осадков и за холодный, и за теплый период г. г. (особенно пожнивной – за август–октябрь) также способствуют ($r > 0,43$ и $r = 0,83$) развитию и активной деятельности корневых систем деревьев, угнетению роста пшеницы у лесной полосы. Исключение составляют повышенные осадки за июль. Они ингибируют развитие ЗДА ($r = -0,89$). Это вызвано, по-видимому, сдвигом по времени фазы наиболее активного роста посевов и иссушения ими почвы у 3-рядной лесной полосы.

У старовозрастных (относительно высоких) березовых полос (№ 8 и 9) в понижениях рельефа связь ширины ЗДА с атмосферными осадками противоречивая. Она либо очень слабая, либо очень тесная и, по-видимому, определяется особенностями гидрологии понижений и световым режимом приопушечного поля.

Вблизи сосновых лесных полос наибольшее стимулирующее влияние на развитие ЗДА оказывают повышенные суммы осадков за теплый, пожнивной период и весь г. г. Исключения не составляют и осадки в июне и июле, но их влияние изменяется с незначительного до сильного и деформировано другими экологическими факторами. Так, положительно влияет на ее ширину более высокая густота древостоя (потребность его в почвенной влаге и интенсивность затенения почвы). У 3-рядных лесных полос теснота их связи колеблется от 0 до 90%.

В посевах у 3-рядной плотной ПЗЛП из вяза (№ 10) почти прямое влияние ($r = 0,99$) на ширину ЗДА оказывают атмосферные осадки холодного периода – в годы, когда на ее опушках формируются высокие сугробы. Повышенные осадки теплого и, особенно, летнего ($r = -0,81...-0,87$) и пожнивного периодов ($r = -0,87...-0,94$) сдерживают ее развитие. У диагонально-групповых (прерывистых) ПЗЛП влияние суммы осадков холодного и теплого периодов, а также летних месяцев на формирование ЗДА может быть как положительным, так и отрицательным, а пожнивных месяцев положительным как сильным, так и слабым. Оно, безусловно, изменяется под влиянием других факторов и прежде всего конкурентоспособности корневой системы древостоя и полевой культуры.

Повышенная температура воздуха в период активного роста пшеницы уменьшает ширину ЗДА, но, очевидно, ее влияние сильно детерминировано запасом почвенной влаги, суммой осадков этого периода, влиянием лесных полос на световой режим и другие экологические факторы вблизи их опушек и, в целом, на фенологию растений.

Разница в ширине ЗДА в посевах пшеницы по годам у средневозрастных березовых лесных полос может достигать 1–5, сосновых – 3–8, вязовых – 5–10 м. У старовозрастных березовых – 1–8 м, а в более поздних по срокам посева подсолнечниках она составляет около 10 м.

В целом можно утверждать, что при дефиците влагообеспеченности древостоя лесных полос экспансия его корневой системы в поле происходит активнее во влажные годы и в периоды с повышенным содержанием почвенной влаги на полях (до и после ее активной десукции посевами). Это не казалось очевидным, поскольку во влажные годы влагообеспеченность насаждений повышается за счет ресурсов занимаемой площади. Напрашивается вывод о том, что в сухой степи она оказывается недостаточной и в эти годы, и не «гасит» стимулирующего влияния на рост корней деревьев влажной почвы, питательности почвенного раствора полей.

Таблица 2
Зависимость ширины зоны депрессии агроценозов яровой пшеницы (ЗДА) у ПЗЛП от погодных условий

№ ПЗЛП	Модель ПЗЛП	Средняя ширина ЗДА, м	Сумма атмосферных осадков, мм							Средняя температура воздуха, °С				
			Х. п.	Т. п.	г. г.	IV-V	VI	VII	VI-VII	VIII-X	V	VI	VII	VI-VII
1	C-C, 3,5×1,0	8,9	0,40	0,28	0,40	0,12	-0,07	-0,08	-0,09	0,53	0,16	-0,43	-0,03	-0,47
2	C-C-C, 3,0×0,3	9,3	0,30	0,88	0,77	0,14	0,92	0,59	0,95	0,78	0,06	-0,53	0,01	-0,57
3	C-C-C, 4,0×0,5	6,5	0,65	0,64	0,72	0,58	0,14	0,15	0,16	0,79	0,74	0,32	-0,17	0,30
4	C-C-C, 4,0×1,5	6,1	0,26	0,80	0,76	0,88	0,52	0,01	0,38	0,42	-0,46	-0,12	-0,66	-0,46
5	см-C-C-см, 1,2×0,4	3,7	0,80	0,85	0,94	0,47	0,31	0,28	0,34	0,78	0,18	0,18	-0,53	-0,01
6	Б-Б, 3,5×2,0	6,2	0,65	0,02	0,26	0,27	-0,39	0,11	-0,23	0,06	0,28	0,89	-0,57	0,73
7	Б-Б-Б, 3,5×2,0	7,8	0,43	0,44	0,64	0,27	0,04	-0,89	-0,07	0,83	0,72	0,22	0,76	0,37
8	Б-Б, 3,0×1,0	12,9	-0,89	0,99	0,81	0,98	0,95	-0,72	0,98	0,96	-0,98	-0,95	-0,44	-0,87
9	Б-Б-Б, 3,0×1,0	9,3	0,08	0,01	0,06	-0,40	0,05	0,05	0,06	0,37	0,35	-0,86	0,58	-0,64
10	В-В-Б, 3,5×2,0	26,6	0,99	-0,51	-0,29	-0,66	-0,81	-0,86	-0,87	-0,94	0,97	0,93	-0,13	0,98
11	В-В-Б-Б, 2,0'7,0	25,0	0,94	0,92	0,96	0,25	-0,35	0,30	0,06	0,75	0,46	0,64	-0,78	0,43
12	В-С-С-Б, 2,0'7,0/*	19,9	-0,46	-0,09	-0,23	-0,37	0,23	-0,29	0,03	0,11	0,29	-0,70	0,83	-0,44
13	Б-Б-Б, 3,0×1,0/*	10,7	0,17	-0,03	0,05	-0,45	0,02	0,08	0,05	0,36	0,44	-0,83	0,63	-0,60

Примечание. С, Б, В, см, 3,5×1,0 – обозначения те же, что и в табл. 1; Х. п., Т. п., г. г. – холодный (XI-III), теплый (IV-X) период, гидрологический год (XI-X); IV, V ... – апрель, май ...; */ – в посевах подсолнечника.

Регрессионный анализ связи биометрических параметров ПЗЛП с шириной ЗДА в посевах пшеницы свидетельствует об устойчивом прямом влиянии на нее высоты и густоты древостоя. При этом оно усиливается от сосновых лесных полос ($r = 0,50$ и $0,27$) к березовым ($r = 0,71$) и вязовым ($r = 0,82$ и $0,96$) и, по-видимому, вызвано отенением почвы и посевов. Более интенсивно отеняются участки полей вдоль лесных полос из деревьев лиственных пород, имеющих в среднем возрасте притупленные призматические кроны. Конусовидные кроны сосны в этом возрасте в верхней $1/4-1/3$ части не сомкнуты, что снижает их тенеобразующую эффективность. Повышение густоты древостоя снижает светопропускаемость малорядных лесных полос, но существенно сказывается на ширине ЗДА только вдоль насаждений из вяза. По-видимому, основное влияние притенения оказывает на снижение интенсивности физического испарения, сохранение почвенной влаги, что усиливает экспансию корневых систем деревьев в поле и угнетает рост агроценозов.

Увеличение ширины лесных полос (ширины междурядий в 2–4-рядных лесных полосах с 1–2 до 3,5–4,0 м) из сосны и вяза подавляет развитие ЗДА ($r = -0,42$ и $-0,96$), а березовых – не сказывается на ее формировании ($r = 0,14$). В первом случае, очевидно, что это обусловлено улучшением влагообеспеченности древостоя, во втором – снижением того же эффекта вследствие зарастания широких междурядий под ажурной кроной березы степными травами и усилением их конкуренции за почвенную влагу.

Ширину ЗДА (Y , м) в зависимости от параметров лесных полос в первом приближении можно определить с помощью следующих уравнений:

– у сосновых ПЗЛП $Y = 1,77x_1 - 0,0006x_2 - 0,53x_3 - 2,33$; $r^2 = 43\%$; $s = 2,33$;

– у березовых ПЗЛП $Y = 0,86x_1 - 0,00006x_2 + 0,58x_3 - 7,50$; $r^2 = 56\%$; $s = 2,34$;

– у вязовых ПЗЛП $Y = -13,57x_1 + 27,36x_2 - 881,69x_3 + 43121,20$; $r^2 = 97\%$; $s = 2,54$,

где x_1 , x_2 и x_3 – средняя высота (м), густота древостоя (тыс. дер./га), количество рядов; s – стандартное отклонение.

ВЫВОДЫ

Таким образом, формирование ЗДА у поlezащитных лесных полос имеет многофакторную обусловленность и нуждается в разностороннем изучении. В засушливых условиях наиболее действенными факторами являются потребность в почвенной влаге и дефицит влагообеспеченности насаждений.

Повышенное негативное влияние на развитие агроценозов в пограничной полосе оказывают лесные

полосы из влаголюбивых быстрорастущих пород, образующих плотную раскидистую крону. Меньше оно у относительно засухоустойчивых, светолюбивых хвойных деревьев и кустарников.

Высокая густота сосновых лесных полос приводит к уплотнению крон древостоя и усилению стимулирующего влияния на ЗДА атмосферных осадков, особенно за теплый период.

Наиболее активно экспансия корневой системы древостоя в поле происходит во влажные годы и в периоды с повышенной влажностью почвы при отсутствии или ослабленной конкуренции агроценозов.

Взаимодействие малорядных ПЗЛП с агроценозами, по-видимому, аналогично взаимодействию опушки леса и прилегающей степи. Чем благоприятнее условия для роста леса и лучше развиты лесные экосистемы, тем сильнее их негативное воздействие и активнее наступление на степные фитоценозы, и наоборот.

Эффективным средством снижения ущерба полевым культурам в пограничной зоне посевов и лесных полос следует считать осуществление комплекса согласованных организационных, лесокультурных, лесоводственных и агротехнологических мер. В зоне недостаточного атмосферного увлажнения они должны включать:

– увеличение ширины опушек (разрывов между крайними рядами деревьев и посевами полевых культур) и междурядий до 2,5–3,0 м при проектировании поlezащитных лесных полос;

– физическую мелиорацию зоны аэрации почвогрунта на отведенной под лесные полосы площади с целью повышения его корнепроницаемости и доступности грунтовой влаги;

– создание малорядных лесных полос из относительно ксерофитных пород деревьев;

– проектирование лесных полос с изменяющимся по продольной оси породным составом насаждений в зависимости от микрорельефа местности;

– расширение практики создания опушечных рядов лесных полос из ксерофитного кустарника, а также лесных полос из кустарника;

– своевременное проведение лесоводственных уходов, направленных на оптимизацию густоты, ветро- и светопропускаемости вертикального профиля лесных полос без снижения их устойчивости и жизнеспособности;

– дифференцированное возделывание полевых культур на междурядных полях, направленное на усиление конкурентоспособности агроценозов по границе с лесными полосами (посев озимых зерновых, многолетних трав, других рано вегетирующих культур).

Благодарности. Работа выполнена по теме Государственного задания № 0713-2019-0002 «Разработать научные основы, новые методы, модели и технологии эффективного лесомелиоративного освоения и многоцелевого использования низкопродуктивных и деградированных земель засушливой зоны РФ» ФНЦ агроэкологии РАН. Номер государственной регистрации в ЦИТиС АААА-Б19-219071190049-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин Н.П. Лесная таксация: учеб. для вузов. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1965. 423 с.
- Годунов С.И., Годунова Е.И. Состояние зоны депрессии защитных лесных полос в зависимости от их конструкции // Вестник Ставропольского госуниверситета. 2008. № 57. С. 55–60.
- Захаров В.В. Урожай вблизи и вдали от лесных полос // Земледелие. 1971. № 3. С. 64–66.
- Захаров В.В. Рекомендации по агротехнике выращивания сельскохозяйственных культур в системе полезащитных лесных полос Поволжья и Западной Сибири. Волгоград, 1982. 17 с.
- Захаров В.В., Кретинин В.М. Приемы повышения плодородия почвы и урожая сельскохозяйственных культур на межполосном поле // Пути повышения эффективности полезащитного лесоразведения. М.: Колос, 1979. С. 78–82.
- Захаров В.В., Кретинин В.М. Агролесомелиоративное земледелие. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2005. 217 с.
- Коломейченко В.В. Растениеводство: учебник. М.: Агробизнесцентр, 2007. 600 с.
- Кулик К.Н., Манаенков А.С., Раков А.Ю. и др. Полезащитное лесоразведение: значение, состояние, пути выхода из кризиса // Вестн. Российской академии сельскохозяйственных наук, 2012. № 1. С. 24–27.
- Манаенков А.С., Корнеева Е.С. Биогеографические аспекты оценки эффективности защиты пахотных земель лесными полосами // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 3. С. 48–54.
- Манаенков А.С., Подгаецкая П.М., Подгаецкий М.Е. Закономерности роста малорядных лесных полос на каштановых почвах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 3. С. 134–142.
- Манаенков А.С., Абакумова Л.И. Повышение эффективности полезащитного лесоразведения в острозасушливых районах России // Вестн. Поволжского гос. технологического ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 4(28). С. 73–83.
- Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов / под ред. Е.С. Павловского и М.О. Долгилевича. М.: ВАСХНИЛ, 1985. 112 с.
- Павловский Е.С., Гаршинев Е.А., Барабанов А.Т. О научном развитии докучаевской концепции экологически сбалансированных агролесоландшафтов // Защитное лесоразведение: история, достижения, перспективы: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. Вып. 1(108). Волгоград, 1998. С. 96–105.
- Портянко А.Ф. Научные основы создания устойчивых долгодетных полезащитных лесополос в Западной Сибири // Агролесомелиорация и интенсификация земледелия по природным зонам страны: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. Вып. 1(90). Волгоград, 1987. С. 31–46.
- Сарычев А.Н., Костин М.В., Плескачев Ю.Н. Влияние защитных лесных насаждений и приемов обработки почвы на агрофизические свойства каштановых почв и урожайность сельскохозяйственных культур // Лесной вестник. 2021. Т. 25. № 6. С. 63–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-6-63-70.
- Создание долговечных полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири (методические рекомендации) / А.И. Беляев, А.С. Манаенков, А.М. Пугачева [и др.]. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2022. 36 с.
- Степанов А.М., Васильев Ю.И. Полезащитное лесоразведение – фактор повышения продуктивности пашни и интенсификации земледелия // Агролесомелиоративная наука в XX в. / А.Н. Каштанов, Е.С. Павловский, К.Н. Кулик и др. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2001. С. 67–113.
- Степанов А.М., Васильев Ю.И. Полезащитное лесоразведение // Агролесомелиорация / под ред. академиков РАСХН А.Л. Иванова и К.Н. Кулика. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2006. С. 323–415.
- Стратегия развития защитного лесоразведения в Российской Федерации на период до 2020 года / К.Н. Кулик [и др.]; Волгоград: ВНИАЛМИ, 2008. 34 с.
- Торохтун И.М. Совершенствование технологии выращивания полезащитных лесных полос в различных почвенно-климатических условиях // Агролесомелиорация и интенсификация земледелия по природным зонам страны: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. Вып. 1(90). Волгоград, 1987. С. 20–31.
- Энциклопедия агролесомелиорации / сост. и гл. ред. Е.С. Павловский. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 675 с.
- Яцерицына Л.А., Бондаренко И.В. Пространственное размещение корневых систем древостоя в полезащитных лесных полосах сухой степи // Современные вопросы полезащитного лесоразведения: сб. науч. тр. ВНИАЛМИ. Вып. 3(95). Волгоград, 1988. С. 69–77.
- Borelli A., Conigliaro M., Olivier A. Agroforestry for landscape restoration. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2017, p. 22.
- Электронный ресурс*
 Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture, *Sustainability*, 2018, no. 10, p. 33–37, DOI: 10.3390/su10093337, URL: https://www.researchgate.net/publication/326868829_Agroforestry_Standards_for_Regenerative_Agriculture (дата обращения 14.02.2022).

Поступила в редакцию 26.10.2022
 После доработки 25.12.2022
 Принята к публикации 22.02.2023

IMPACT OF FOREST SHELTER BELTS ON THE DEVELOPMENT OF SPRING WHEAT IN THE NEAR-EDGE ZONE OF CROPS

A.S. Manaenkov¹, P.M. Podgaetskaya², V.S. Popov³

¹⁻³ Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of RAS

¹ Head of the Laboratory of Protective Afforestation and Phytomelioration of Low Productive Lands, Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Agricultural Sciences; e-mail: manaenkov1@yandex.ru

² West-Siberian agroforestry experimental station, Director; e-mail: agloswnialmi@mail.ru

³ Laboratory of Protective Afforestation and Phytomelioration of Low Productive Lands, Junior Scientific Researcher; e-mail: vladispov@yandex.ru

The system of shelterbelt forests is a long-lasting ecological framework of an agrarian territory. Their main function is to prevent the degradation of arable soils, improve the microclimate of fields, and preserve the stability and biological diversity of landscape. However, the presence of forest belts complicates field cultivation, and along their borders zones (strips) of depression in crop development could be formed, reducing the productivity of lands. This impedes field-protective afforestation, and, consequently, the solution of the problem of reliable protection of land resources. The aim of the work is to establish the causes and regularities of formation of depressive zones in agrocenoses, and to determine the possibility and methods of suppressing their development. The research has been conducted for 8 years in the experimental-production system of 30 to 53-year old 2 to 4-row forest belts of *Betula pendula* ROTH, *Pinus silvestris* L., *Ulmus laevis* PALL. and other species on the automorphic chestnut soil of the Kulunda steppe (the Altai territory) by the generally accepted methods.

It was found that the depressive zone in agrocenoses is the least wide for relatively sparse forest belts of birch and pine, and also for forest belts with marginal rows of xerophytic shrubs (3–7 m in total on windward and leeward sides), and the largest (up to 25–30 m) for elm and poplar (*Populus laurifolia* LEDEB.), i. e. for plantations of hydrophilous tall species with dense crowns. It is 1–3 m wider on the leeward side of forest belts, where more snow is deposited in winter and soil moisture is better in spring. The increase in height and density of stands, influencing the length and intensity of day-time soil shading, stimulates the expansion of the zone. Crop depression is more pronounced in wet years. The increased amount of atmospheric precipitation during the cold season, as well as at the beginning of the growing season and during the reaping season till the onset of stable cold weather also contributes to it. The development of depressive zones is suppressed by abundant precipitation during the period of active growth of field crops.

Thus, the formation of depressive zone in agrocenoses of shelterbelt forests depends on many factors. Under arid conditions, the most effective factors are the need for soil moisture and moisture availability for the stand. The most active expansion of the tree root system in the field and the suppression of crops occur in wet years and during the periods with high soil moisture in the absence or weakened competition of field crops. To reduce damage to their productivity, it is necessary to implement a set of coordinated organizational, silvicultural and agrotechnological measures aimed at increasing moisture availability and limiting the expansion of tree root system of forest belts in the field.

Keywords: arid zone, shelterbelt forests, weather conditions, biometric indicators of the stand, depression zone width in agrocenoses

Acknowledgements. The work was performed under the theme of State Assignment no. 0713-2019-0002 "To develop scientific foundations, new methods, models and technologies for the effective forest reclamation and multipurpose use of low-productive and degraded lands in the arid zone of Russia" of the Federal scientific center of Agroecology, Complex Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences. The CITiS state registration number AAAA-B19-219071190049-7.

REFERENCES

- Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya, ucheb. dlya vuzov* [Forest Inventory, textbook for universities], Moscow, Lesnaya promyshlennost Publ., 1982, 552 p. (In Russian)
- Borelli A., Conigliaro M., Olivier A. *Agroforestry for landscape restoration*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 2017, p. 22.
- Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of the field experience], Moscow, Kolos Publ., 1965, 423 p. (In Russian)
- Entsiklopediya agrolesomeliatsii* [Encyclopedia of agroforestry], E.S. Pavlovskiy (ed.), Volgograd, VNIALMI Publ., 2004, 675 p. (in Russian)
- Godunov S.I. Godunova E.I. Sostoyaniye zony depressii zashchitnykh lesnykh polos v zavisimosti ot ikh konstruktssii [State of the depression zone of protective forest belts depending on their design], *Vestn. Stavropolskogo gos. Un-ta*, 2008, no. 57, p. 55–60. (In Russian)

- Kolomeychenko V.V. *Rasteniyevodstvo* [Crop Production], uchebnik, Moscow, Agrobiznestsentr Publ., 2007, 600 p. (In Russian)
- Kulik K.N., Manayenkov A.S., Rakov A.Yu. i dr. Polezashchitnoye lesorazvedeniye: znachenije, sostoyaniye, puti vykhoda iz krizisa [Protective afforestation: importance, condition, ways out of crisis], *Vestn. Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2012, no. 1, p. 24–27. (In Russian)
- Manayenkov A.S., Abakumova L.I. Povyshenie effektivnosti polezashchitnogo lesorazvedeniya v ostrozasushlivykh rajonax Rossii [Increasing efficiency of protective afforestation in the extra dry regions of Russia], *Vestn. Povolzhskogo gos. tekhnologicheskogo un-ta, Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*, 2015, no. 4(28), p. 73–83.
- Manayenkov A.S., Korneyeva E.S. Biogeograficheskiye aspekty otsenki effektivnosti zashchity pakhotnykh zemel lesnymi polosami [Biogeographic aspects of estimating the efficiency of arable lands protection with forest belts], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 3, p. 48–54. (In Russian)
- Manayenkov A.S., Podgayetskaya P.M., Podgayetskiy M.E. Zakonomernosti rosta maloryadnykh lesnykh polos na kashtanovykh pochvakh [Specific features of the growth of few-row forest belts on chestnut soils], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 3, p. 134–142.
- Metodika sistemnykh issledovaniy lesoagrarnykh landshaf-tov [Methodology for systematic studies of forest-agrarian landscapes], E.S. Pavlovskiy & M.O. Dolgilevich (eds.), Moscow, VASKHNIL Publ., 1985, 112 p. (In Russian)
- Pavlovskiy E.S., Garshinev E.A., Barabanov A.T. [On the scientific development of the Dokuchaev concept of ecologically balanced agro-forest landscapes], *Zashchitnoe lesorazvedeniye: istoriya, dostizheniya, perspektivy* [Protective afforestation: history, achievements, prospects], *sb. nauch. tr. VNIALMI*, 1998, vyp. 1(108), p. 96–105. (In Russian)
- Portyanko A.F. [Scientific basis for the creation of sustainable long-standing shelterbelt forests in Western Siberia], *Agrolesomeliatorsiya i intensivifikatsiya zemledeliya po prirodnym zonam strany* [Agroforest amelioration and intensification of crop farming by natural zones of the country], *sb. nauch. tr. VNIALMI*, 1987, vyp. 1(90), p. 31–46. (In Russian)
- Sarychev A.N., Kostin M.V., Pleskachev Yu.N. Vliyaniye zashchitnykh lesnykh nasazhdeniy i priyemov obrabotki pochvy na agrofizicheskiye svoystva kashtanovykh pochv i urozhaynost sel'skokhozyaystvennykh kultur [Protective Forest plantations and treatment methods influence on agrophysical properties of chestnut soils and agricultural yields], *Lesnoy vestn.*, 2021, vol. 25, no. 6, p. 63–70, DOI: 10.18698, 2542-1468-2021-6-63-70. (In Russian)
- Sozdanie dolgovechnykh polezashchitnykh lesnykh polos na yuge Zapadnoi Sibiri (metodicheskie rekomendatsii) [Creation of long-standing shelterbelt forests in the south of Western Siberia (guidelines)], A.I. Belyaev, A.S. Manaenkov, A.M. Pugacheva i dr. (avt.), Volgograd, FNTS agroekologii RAN Publ., 2022, 36 p. (In Russian)
- Stepanov A.M., Vasil'ev Yu.I. [Protective afforestation as a factor to increase productivity of arable lands and intensification of crop farming], *Agrolesomeliativnaya nauka v XX veke* [Agroforest amelioration science in the 20th century], A.N. Kashtanov, E.S. Pavlovskiy, K.N. Kulik i dr. (avt.), Volgograd, VNIALMI Publ., 2001, p. 67–113.
- Stepanov A.M., Vasil'ev Yu.I. [Protective afforestation], *Agrolesomeliatorsiya* [Agroforest amelioration], A.L. Ivanov & K.N. Kulik (eds.), Volgograd, VNIALMI Publ., 2006, p. 323–415. (In Russian)
- Strategiya razvitiya zashchitnogo lesorazvedeniya v Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 goda [Strategy for the development of protective afforestation in the Russian Federation for the period to 2020], K.N. Kulik i dr. (avt.), Volgograd, VNIALMI Publ., 2008, 34 p. (In Russian)
- Torokhtun I.M. [Improvement of cultivation technology of growing shelterbelt forests in different soil and climatic conditions], *Agrolesomeliatorsiya i intensivifikatsiya zemledeliya po prirodnym zonam strany* [Agroforest amelioration and intensification of crop farming by natural zones of the country], *sb. nauch. tr. VNIALMI*, 1987, vyp. 1(90), p. 20–31. (In Russian)
- Yashcheritsyna L.A., Bondarenko I.V. [Spatial distribution of stand root systems in dry steppe shelterbelt forests], *Sovremennyye voprosy polezashchitnogo lesorazvedeniya* [Actual problems of protective afforestation], *sb. nauch. tr. VNIALMI*, 1988, vyp. 3(95), p. 69–77. (In Russian)
- Zakharov V.V. *Rekomendatsii po agrotekhnike vyrashchivaniya sel'skokhozyaystvennykh kultur v sisteme polezashchitnykh lesnykh polos Povolzhia i Zapadnoy Sibiri* [Recommendations on agrotechnics of growing crops in the system of shelterbelt forests of the Volga River region and Western Siberia], Volgograd, 1982, 17 p. (In Russian)
- Zakharov V.V. Urozhay vblizi i vdali ot lesnykh polos [Harvest near and far from forest lanes], *Zemledeliye*, 1971, no. 3, p. 64–66. (In Russian)
- Zakharov V.V., Kretinin V.M. *Agrolesomeliativnoye zemledeliye* [Agroforestry], Volgograd, VNIALMI Publ., 2005, 217 p. (In Russian)
- Zakharov V.V., Kretinin V.M. [Techniques to improve soil fertility and crop yields in the interstitial field], *Puti povysheniya effektivnosti polezashchitnogo lesorazvedeniya* [Ways to increase the efficiency of protective afforestation], Moscow, Kolos Publ., 1979, p. 78–82. (In Russian)
- Web source*
 Elevitch C.R., Mazaroli D.N., Ragone D. Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture, *Sustainability*, 2018, no. 10, p. 33–37. DOI: 10.3390, su10093337, URL https://www.researchgate.net/publication/326868829_Agroforestry_Standards_for_Regenerative_Agriculture (access date 14.02.2022).

Received 26.10.2022

Revised 25.12.2022

Accepted 22.02.2023

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ РЕЛЬЕФА НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Г.А. Кажукало¹, Е.А. Еременко², Ф.А. Романенко³

^{1–3} Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии

¹ Магистрант; e-mail: kazhukaloga@gmail.com

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

³ Вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: faromanenko@mail.ru

Выполнены количественная оценка масштабов и типизация последствий антропогенной трансформации рельефа Норильского промышленного района. Работа основана на результатах экспедиционных геоморфологических исследований в 2021 г., дешифрирования и анализа материалов дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа. Установлено, что общая площадь участков прямой трансформации рельефа при освоении составила около 122,4 км², а косвенной – 23,6 км². Объем антропогенных форм рельефа достигает около 1,8 млрд м³, при этом 93% площади и 72,6% объема прямых трансформаций рельефа приходится на аккумулятивные формы. Проведена типизация антропогенного рельефа, установлено, что наибольшую площадь занимают насыпи под промышленную застройку и хвостохранилища, а наибольший объем характерен для склоновых отвалов. Косвенная трансформация рельефа выражается в активизации гравитационных процессов, линейной эрозии, суффозии, термокарста, пучения и дефляции. Наиболее опасно для объектов инфраструктуры массовое смещение склоновых отвалов оползнями или каменными глетчерами. Обособленные ареалы косвенных трансформаций распространены в основном на озерно-аллювиальной низменности и в днищах речных долин. Среди них наибольшую площадь (до 20 км²) занимают участки речных долин, затронутые разливами нефтепродуктов и утечками из хвостохранилищ. Установлено, что аккумуляция загрязняющих веществ в долинах рек Норильского промышленного района происходит в пределах внутренних дельт и наледных полей, на участках уменьшения уклонов продольного профиля. Выделены три этапа антропогенного освоения территории (I – 1920–1953 гг.; II – 1953–1986 гг.; III – 1986–2021 гг.), причем наиболее существенно площадь антропогенного рельефа прирастала в 1953–1986 гг. Средняя скорость ее приращения за последние 36 лет составила 0,81 км²/год. Наибольшие темпы приращения площади характерны для районов Кайеркана и Талнаха, что связано с продолжающейся горнодобычей.

Ключевые слова: Норильск, антропогенный рельеф, освоение Арктики, техногенные грунты, антропогенное воздействие, экологическая геоморфология, загрязнение нефтепродуктами

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.10

ВВЕДЕНИЕ

Норильский промышленный район (НПР) расположен в Красноярском крае на стыке Северо-Сибирской низменности и северо-западной части Среднесибирского плоскогорья (плато Путорана) [Геоморфологическое..., 1980]. В границах НПР расположен г. Норильск (численность населения на 2021 г. – 182 496 человек [Управление..., 2021]). Градообразующим предприятием является Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель»», включающий в себя шесть ныне действующих рудников и шахт, две обогатительные фабрики и два металлургических завода. Область антропогенного освоения разделена р. Норильской на два рудных района – Норильский и Талнахский. В пределах НПР ведется добыча угля, карбонатных пород и медь-никель-платиновых сульфидных руд, причем

запасы никеля, палладия, платины и кобальта на норильских месторождениях оцениваются соответственно в 13, 43, 25 и 5,8% от общемировых [Бортников, 2015].

За почти столетнюю историю горнодобычи территория НПР испытала существенные антропогенные трансформации рельефа и нередко характеризуется как наибольший источник техногенного загрязнения в пределах арктической зоны России [Бутюгин, Гулан, 2005]. Длительное и комплексное освоение НПР привело к формированию наибольших по площади (в российском секторе Арктики) ареалов *прямой трансформации рельефа*, причем в сравнении с Воркутой и Нижним Приобьем [Еременко и др., 2020; Еременко и др., 2021] хозяйственная деятельность здесь затронула не только равнины различного генезиса, но и низкогорья.

Цель исследования – качественная и количественная оценка масштабов прямой и косвенной трансформации рельефа при освоении, выявление закономерностей распространения антропогенного морфолитогенеза, а также типизация антропогенного рельефа НПР. Представленное исследование продолжает цикл работ [Бредихин и др., 2020; Еременко и др., 2020; Еременко и др., 2021], направленных на выявление геоморфологических и экологических последствий горнопромышленного освоения Арктики.

Хозяйственное освоение территории НПР протекает в суровых условиях Крайнего Севера, что сказывается как на специфике изменения рельефа для нужд природопользования, так и на спектре опасных и неблагоприятных природных процессов, возникающих как следствие вмешательства человека в функционирование природных экосистем. Естественный рельеф территории предопределен ее положением в зоне контакта низменной равнины и глубоко расчлененного горного массива. К структурам Норильской и Хараелахской мульды приурочен низкогорный среднерасчлененный структурно-денудационный рельеф северо-западных отрогов плато Путорана (300–684 м над ур. моря). К Норильско-Хараелахскому разлому приурочены основные месторождения сульфидоносных медно-никелевых руд [Спиридонов, 2010]. К западу и северо-западу поверхность переходит в пологонаклонную денудационную равнину высотой 150–300 м, приуроченную к Вологочанской мульде. Рельеф повторяет неровности кровли дочетвертичных пород, мощность четвертичных отложений не превышает 2–3 м. Для долин характерны порожиисто-водопадные русла, чередование структурных сужений, обусловленных выходами скальных пород и внутренних дельт шириной до 400–500 м. С ЮВ на СЗ изучаемую территорию пересекает Хантайско-Рыбнинская троговая долина (28–150 м над ур. моря), борта которой осложнены ледниковыми формами, образованными в позднем плейстоцене [Сарана, 2017]. В долину вложена осложненная термокарстовыми котловинами западинно-грядовая озерно-ледниковая (Вальковская) равнина (60–110 м над ур. моря), сложенная глинистыми и валунно-галечниковыми осадками мощностью до 50 м [Государственная геологическая..., 2016], которая через неясно выраженный уступ переходит в бугристо-западинную озерно-аллювиальную (Аяклинскую) низменность.

НПР расположен в зоне субарктического климата. В его равнинной части среднегодовые температуры воздуха составляют $-9,4^{\circ}\text{C}$, а годовая амплитуда температур может превышать 80°C [Научно-прикладной справочник..., 1990]. Среднегодовые значения суммы осадков колеблются от 400 до 700 мм. Мощ-

ность многолетнемерзлых пород изменяется от 20 до 400 м [Демидюк, 1989], достигая в г. Норильске 150 м. В пределах низменностей многолетняя мерзлота имеет массивно-островное распространение [Шевелева, Хомичевская, 1967]. Средняя мощность деятельного слоя по данным многолетних наблюдений составляет 90–100 см [Керимов и др., 2018]. На низменностях преобладают ландшафты кустарничково-мохово-лишайниковой тундры и осоково-гипновых болот в составе полигонально-бугристых комплексов [Телятников, Пристяжнюк, 2014]. На структурно-денудационных склонах встречаются лесотундровые редколесья из ольховника, ельника, а также куртины можжевельника сибирского. На южном склоне Хараелахских гор распространены ландшафты угнетенной лиственничной северной тайги. Влияние воздушно-газового шлейфа предприятий и вырубок привело к полной трансформации растительного покрова (до широкомасштабного освоения на территории НПР преобладала северо-таежная растительность) [Севастьянов и др., 2014; Телятников, Пристяжнюк, 2014].

Несмотря на практическую значимость оценки антропогенной трансформации рельефа, на территории НПР подобные исследования практически не проводились. Большая часть публикаций, касающихся изменений окружающей среды, посвящена изменениям климата, характера растительности, загрязнению почв, подземных и поверхностных вод, деградации мерзлоты или ландшафтов [Гребенец, 2007; Гребенец, Исаков, 2016; Телятников, Пристяжнюк, 2014; Железный и др., 2022]. В ходе мелкомасштабных исследований антропогенного рельефа Арктики и эколого-геоморфологических аспектов природопользования в криолитозоне (например, [Бредихин и др., 2020; Эколого-геоморфологический анализ..., 2020]) количественная оценка масштабов преобразования рельефа человеком в пределах НПР не проводилась. Таким образом, оценка хронологии и типов трансформации рельефа НПР в ходе освоения – актуальная задача, решение которой необходимо для разработки стратегии эффективного природопользования в регионе.

История освоения исследуемой территории насчитывает несколько тысяч лет – в верховьях р. Пясины археолог Л.П. Хлобыстин описал стоянки людей бронзового века. Судя по остаткам орудий для плавки меди, они были первыми, кто обнаружил месторождения Норильских и Хараелахских гор [Урванцев, 1969]. Археологические раскопки рудного двора Мангазеи показали, что использованная руда содержала никель и платиноиды, что характерно для сульфидоносных месторождений Норильского района [Додин, 2002]. По-видимому, еще в XVI–XVII вв. Норильские месторождения

использовались мангазейскими рудознатоками и вывозились через Дудинку. Первые известия об обнаружении угленосных горизонтов встречаются в отчете экспедиции А.Ф. Миддендофа на Таймыр в 1843 г. [Севастьянов и др., 2014]. Во второй половине XIX в. купцы Сотниковы пытались организовать добычу угля и медной руды [Урванцев, 1981]. В 1866 г. Ф.Б. Шмидт осмотрел медное месторождение горы Рудной, и к концу 1868 г. было получено около трех тонн черновой меди [Додин, 2002].

Начало широкомасштабному горнопромышленному освоению НПР положили экспедиции Н.Н. Урванцева в 1919–1934 гг. [Додин, 2002]. В первые два года им были выявлены крупные месторождения угля и несколько шпиров богатых медно-никелевых руд [Урванцев, 1981]. Позднее было установлено наличие палладия и платины, что позволило сделать вывод о перспективности Норильских и Хараелахских гор на медно-никелевое оруденение [Додин, 2002]. Освоение месторождений в пределах горы Рудной, ручьев Угольного и Медвежьего началось в 1920 г. Наличие залежей руды и угля обусловило возможность создания крупного металлургического комплекса полного цикла. В 1935 г. СНК СССР принял решение о строительстве Норильского комбината и поселка Норильск силами заключенных [Севастьянов и др., 2014], началась широкомасштабная трансформация рельефа на территории месторождения «Норильск-1» и к югу от оз. Долгого («старый город» Норильска).

Использование свайного фундирования в строительстве (под руководством М.В. Кима [Севастьянов и др., 2014]) позволило вовлечь в освоение низменные равнины к северу от Норильских гор. Параллельно со строительством Норильска был основан угольный поселок Кайеркан. В 1960 г. открыто Талнахское месторождение (шахта «Маяк» к востоку от р. Талнах), а затем и Талнахский рудный район [Додин, 2002]. В 1964 г. был основан одноименный поселок, а к 1982 г. были возведены четыре шахтных комплекса из пяти ныне существующих, Талнахская обогатительная фабрика, Надеждинский завод, хвостохранилище «Лебяжье» и другие крупные промышленные объекты.

В 1970–1980 гг. численность населения в пределах НПР росла, поэтому в 1986 г. началось строительство поселка Оганер и пятого рудника Талнаха – «Скалистого». Однако в постсоветский период многие строительные проекты так и не были реализованы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основу исследования положены результаты анализа фондовой и опубликованной научной литературы, дешифрирования разновременных кос-

мических снимков. В августе 2021 г. на территории месторождения «Норильск-1», в окрестностях Надеждинского металлургического завода, Кайерканского угольного разреза, селитебной зоны районов Центральный, Талнах и Кайеркан выполнены экспедиционные геоморфологические работы. Они включали крупномасштабную (1:50 000) геоморфологическую съемку антропогенного рельефа, при которой фиксировались геоморфологическая позиция, морфологические параметры антропогенных форм (длина, ширина, высота, плановые очертания, крутизна и характер продольного профиля склонов), геокриологическое строение участка, состав естественных и антропогенных отложений, а также спектр антропогенно спровоцированных геоморфологических процессов. На речных долинах, подвергшихся загрязнению нефтепродуктами, исследовались характер продольного и поперечного профилей долины (в том числе с помощью высокоточного ГНСС-приемника на участке аварии на ТЭЦ-3 в мае 2020 г.), геоморфологическая позиция зон остаточного загрязнения нефтепродуктами, выполнено ландшафтно-геокриологическое профилирование.

Для определения морфометрических параметров крупных комплексов антропогенных форм, не обследованных в ходе полевых работ (территории действующих карьеров, шахт), использовалась цифровая модель рельефа ArcticDEM [Arctic DEM Explorer, 2021] с пространственным разрешением 2 м.

Для выявления участков, подверженных антропогенным трансформациям рельефа, проведено дешифрирование космических снимков из открытых источников, выделены дешифровочные признаки антропогенных форм рельефа и ареалов косвенной трансформации. Для оценки скорости приращения площади антропогенного рельефа выполнено дешифрирование снимков за 1985 и 2021 гг. в среде Google Earth [Maxar technologies, 2021]. Большая часть антропогенных форм рельефа уверенно дешифрируется на снимках в естественных цветах за счет их большего (в сравнении с естественными формами) подобия простым геометрическим фигурам, а также из-за отсутствия растительного покрова и характерных текстурных особенностей (следы техники и др.). Тем не менее в ряде случаев без полевого обследования отличить антропогенные формы рельефа друг от друга оказалось затруднительно. Наибольшие сложности представляет дешифрирование границ полигонов ТБО, которые определяются лишь по скоплению руин строений, металлоконструкциям и строительному мусору.

На основе материалов полевых работ и результатов анализа данных дистанционного зондирования установлены участки прямой и косвенной транс-

формации рельефа, определены площади и объём антропогенных форм рельефа, выявлена их геоморфологическая позиция, а также составлены крупно- и среднемасштабные (1:75000 и 1:250000) карты антропогенной трансформации рельефа НПП. Анализ площадей и объемов антропогенной трансформации рельефа проведен с помощью инструментов программного комплекса ArcGIS 10.5.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сущность *прямых трансформаций рельефа* заключается в создании антропогенных и изменении естественных форм и элементов рельефа. Составлена классификация антропогенных форм (табл. 1), основанная на различиях их морфологии, геологического строения и функционального назначения. Генетический *тип* антропогенного рельефа разделен на два *подтипа* – аккумулятивный (положительные формы рельефа, образованные путем переотложения пород) и денудационный (отрицательные формы рельефа, образованные при изъятии пород), а также на *группы* (линейные и площадные формы рельефа). Далее все формы рельефа разделены на *подгруппы* исходя из их функционального назначения и *виды* (по морфологии). Составленная классификация демонстрирует чрезвычайное морфологическое разнообразие антропогенного рельефа НПП, связанное с продолжительным комплексным освоением. При этом районам с разным типом природопользования свойственен определенный набор видов антропогенных форм и, как следствие, спектр косвенных трансформаций рельефа.

Различия в морфологии в пределах даже одной функциональной подгруппы могут быть существенны. К примеру, *отвалы шахт и карьеров* разделены на три вида (см. табл. 1; рис. 1, А, Б), так как различаются не только морфометрическими параметрами, но также составом слагающих отложений и особенностями современной морфодинамики. Отвальные поля в южной части долины руч. Медвежьего сложены более крупнообломочным материалом (более 30% объема – глыбы), внутри них попадает снег, лед, уголь, а высокая пористость позволяет проникать и дождевым осадкам, в результате чего отвал становится льдистым [Гребенец, Керимов, 1998]. В 1992 г. отвал «Пост-1», расположенный в долине руч. Медвежьего, начал движение по типу «каменного глетчера» вниз по склону и за несколько лет продвинулся более чем на 500 м. «Валы выпирания» *техногенного каменного глетчера*, выделенного как отдельный вид антропогенных форм, разрушили автодорогу и трубопроводы, проложенные в днище долины руч. Медвежьего.

Общая площадь территории, затронутой прямой трансформацией рельефа в пределах НПП, составляет 113,5 км² (с учетом ж/д и автодорожных насыпей – 122,4 км²). По занимаемой площади и объему преобладают аккумулятивные антропогенные формы (93 и 72,6% соответственно). Причина этого в большом объеме пустой породы, которая изымается при проходке открытых и подземных выработок. Объем аккумулятивных форм существенно превышает объем денудационных, так как, с одной стороны, складированный обломочный материал имеет более высокую пористость в сравнении с породами в естественном залегании, с другой стороны, значительные по объему подземные выработки не учтены в полученном суммарном объеме денудационных форм (их общая протяженность превышает 800 км [Скачков, 2005]).

Более половины (53,83%) площади антропогенных форм рельефа приурочено к ареалу структурно-денудационного рельефа, так как именно в его контурах расположены медно-никелевые, угольные и карбонатные месторождения, а отходы горной добычи, чаще всего, складированы в непосредственной близости от района добычи (рис. 2, 3; табл. 2).

Прямая трансформация рельефа сопровождается преобразованием вещественного состава поверхностных пород. На основе классификации [Афонин и др., 1990] выделено три класса антропогенных отложений – *новообразованные, переотложенные и измененные*. В большей части случаев одной подгруппе или виду антропогенного рельефа соответствует определенный класс отложений. Литологический состав антропогенных отложений принципиально отличается от такового у естественных грунтов, что предопределяет закономерную смену спектра преобладающих геоморфологических процессов на участках антропогенной трансформации рельефа.

К классу *новообразованных* отнесены отложения, вещественный состав и структурно-текстурные особенности которых не формируются в естественных условиях (твердые коммунальные и бытовые отходы, строительный мусор (кирпичная крошка, бетон) и отходы горно-обогатительной промышленности (металлургический шлак, золошлак, шламы)). Они слагают насыпи под промышленную застройку и ж/д насыпи, полигоны ТБО, поверхности площадок хвостохранилищ и прудов-отстойников, а также золоотвалы. Крупнодисперсные новообразованные отложения (кирпичная крошка, шлакоблоки) слабо подвержены воздействию экзогенных процессов. Тонкодисперсный субстрат (металлургический шлак, зола) обладает низкой противозрозионной устойчивостью, поэтому сложенные им антропогенные формы подвержены эрозии, суффозии и дефляции.

Таблица 1

Морфология антропогенного рельефа ННР и характеристика косвенной трансформации рельефа

Прямые трансформации рельефа		Морфология рельефа и слагающие отложения	Площадь*, км ²	Объем*, тыс. м ³
Подгруппы и виды форм				
1		2	3	4
1. Подтип аккумулятивных форм				
1.1. Группа площадных форм				
1.1.1. Отвалы	1.1.1.1. Крупные отвальные поля шахт и карьеров	Изометричные или линейно-вытянутые в плане, с куполообразной вершинной поверхностью, высота 8–30 м, крутизна склонов от 10 до 30°. Сложены щебнисто-дресвяным и алевро-песчаным материалом пород вскрыши	14,3	156 400
	1.1.1.2. Склоновые отвалы шахт и карьеров	Фестончатые, языковатые в плане. Фронтальный склон имеет высоту до 60–70 м, крутизну 35–36°. Вершинная поверхность пологонаклонная (3–10°). Максимальная высота – 110 м, ширина – 800 м. Сложены вскрышными породами – щебнем, дресвой и глыбами с песчаным-алевритовым или воздушным заполнителем	18,0	480 000
	1.1.1.3. Техногенный «каменный глетчер»	Образуются из склоновых отвалов. По морфологии отличаются выположенным фронтальным склоном, наличием вала выпирания шириной до 500 м и вертикальных просядок (трещин) в тыловой части глубиной до 5–7 м	1,2	46 400
	1.1.2. Насыпи (отсыпки)	Мощность до 2–3 м, ширина до сотен метров. Сложены преимущественно материалом песчано-гравийной размерности	9,0	49 800
1.1.3. Площадки полигонов ТБО	1.1.2.2. Насыпи под промышленную застройку	Мощность до 6–8 м, ширина до первых километров. Материал неоднороден и представлен щебнисто-дресвяной фракцией с песчано-суглинистым заполнителем и строительным мусором, шлаком, кирпичной крошкой	29,5	167 700
	1.1.4. Насыпи промышленного назначения	Высота до 7–10 м, крутизна склонов до 10°. Сложены строительным мусором, остатками транспортных средств и бытовой электроники. Вершинная поверхность слабобугристая	0,5	3400
	1.1.4.1. Хвостохранилища	Замкнутые положительные формы рельефа, состоящие из насыпной оградительной дамбы и площадки-накопителя. Сложены тонкообломочным материалом с мерзлым противофильтративным ядром. Высота насыпной дамбы – от 5 до 40 м, крутизна внешних склонов – 20–25°	Не менее 24,7	Не менее 392 000
	1.1.4.2. Площадки прудов-отстойников	Морфографические характеристики аналогичны 1.1.4.1, однако высота дамб и мощность площадок существенно меньше – до 6 и 4 м соответственно, а крутизна внешних склонов может достигать 30–35°	7,8	54 200

Продолжение таблицы 1

1	2		3	4
1.2. Группа линейных форм				
1.2.1. Насыпи линейные	1.2.1.1. А/д насыпи	Высота до 3–5 м, крутизна откосов до 25–30°, средняя ширина по подошве – 10–15 м. Сложены песчано-гравийным материалом	4,5	12 100
	1.2.1.2. Ж/д насыпи	Высота до 12–15 м, крутизна откосов до 25–40°, средняя ширина по подошве – 30 м. Сложены металлургическим шлаком, шламом, обломками коренных пород различной крупности	3,3	13 100
2. Подтип денудационных форм				
2.1. Группа площадных форм				
2.1.1. Карьеры	2.1.1.1. Действующие	Изометричные денудационные формы в виде усеченного конуса, глубина изменяется от 2–3 (карьеры по добыче ПГС) до 330 м (карьер «Медвежий ручей»). Ширина по бровкам – от первых десятков м до первых км. Склоны осложнены уступами и бермами, крутизной от 20° до отвесных	2,7	383 300
	2.1.1.2. Частично или полностью отработанные	Глубина – до 40–50 м, крутизна склонов – от 25° до отвесных. В днище карьеров – скопления отвальных полей высотой до 10–15 м	5,8	102 500
2.2. Группа линейных форм				
2.2.1. Дренажные канавы		Ширина по бровкам до 25–30 м, глубина до 4–5 м, крутизна склонов (в среднем) 15–20°	Не менее 0,5	Не менее 1600
2.2.2. Выемки автомобильных и железных дорог		Ширина по днищу – 4–5 м, по бровкам – до 15–20 м (распространены преимущественно на промышленных и старых селитебных территориях)	Не менее 0,6	Не менее 1200
Косвенные трансформации рельефа				
Характер трансформации рельефа и комплекса геоморфологических процессов				
Селитебные территории	Перераспределение поверхностного стока, растепление многолетнемерзлых пород, новообразование таликов, подтопление, просадочные деформации, локальные проявления пучения и термокарста			
Площадки обогащительных фабрик, шахт, заводов и других промышленных объектов	Поверхностный и подземный сток зарегулирован дренажными каналами. Характерно новообразование техногенных таликов, просадочные деформации, термоэрозия, суффозия. Буровзрывной метод добычи нередко приводит к интенсификации наледообразования на прилегающих территориях за счет увеличения трещиноватости скальных пород			
Карьеры (в т. ч. карьеры-прорези)	Активизация склоновых процессов и эрозии на бортах карьеров – обвально-осыпных, оползневых, солифлюкций, перераспределение поверхностного стока, заболачивание и подтопление днища карьера			
Отвальные поля медно-никелевых месторождений	У бровок отвалов повсеместно наблюдается заболачивание, развитие форм линейной эрозии. Обвально-осыпные процессы и движение курумов на склонах отвалов, в отдельных случаях – массовые смещения грунта по типу оползня или каменного глетчера			

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
Золотоотвалы, отвальные поля угольных разрезов, карьеров по добыче ППС, свалки ТБО	Активизация термокарста и заболачивания (в т. ч. с образованием озер), делювиального смыва и линейной эрозии, склоновых процессов (в т. ч. солифлюкции)		
Хвостохранилища и отстойники	Растепление многолетнемерзлых пород из-за высокой температуры поступающего в резервуар шлама. Наблюдается активизация эрозийных процессов, термоэрозии, термокарста, морозобойного растрескивания, суффозии. На прилегающих территориях, в приобводочных частях насыпных дамб – подтопление и заболачивание		
Участки прокладки авто- и железнодорожных путей	В приобводочных частях насыпей наблюдается активизация криогенных процессов – термоэрозии, термокарста, неравномерного пучения, новообразование таликов. На участках перехода через долины рек и ручьев – заболачивание и подтопление, формирование внутренних дельт. На склонах насыпей развиты оползневые и обвально-осыпные процессы, солифлюкция; в теле насыпи – неравномерные просадочные деформации		
Насыпи и выемки автодорог в пределах городских территорий	Характерны просадки отдельных блоков бетона вследствие активизации суффозии и линейной (в т. ч. регрессивной) эрозии на склонах кюветов		
Трассы трубопроводов	Аварии на трубопроводах приводят к растеплению многолетнемерзлых пород, активизации линейной эрозии, термокарста и термоэрозии, подтопления и заболачивания		
Кладбища	Обустройство кладбищ сопровождается незначительной планацией рельефа, перераспределением поверхностного стока и, как следствие, снижением интенсивности заболачивания		
Участки речных долин, подвергшиеся загрязнению нефтепродуктами	Антропогенно измененные отложения, слагающие поверхность низкой и средней поймы, характеризуются низкой противоэрозийной устойчивостью, что, вкупе с деградацией растительного покрова, приводит к активизации эрозийных процессов. С другой стороны, на участках аккумуляции битумов, нередко поверхности пойм бронируются нефтепродуктами и интенсивность глубинной и боковой эрозии снижается		

Примечание. * Площадь указана с точностью до десятых км², объем – до сотен тыс. м³.



Рис. 1. Антропогенная трансформация рельефа и антропогенные отложения НПР:

А – склоновые отвалы карьера «Медвежий ручей»; Б – активизация линейной эрозии на склоне отвального поля Кайерканского угольного разреза; В – насыпи под промышленную застройку в пределах «старого города»; Г – переотложенные образования (вскрышные породы глыбовой размерности, слагающие отвалы карьера «Медвежий ручей»); Д – новообразованные отложения (шлакоблоки, слагающие ж/д насыпь на участке перехода через р. Далдыкан); Е – поверхность высокой поймы на участке разлива загрязняющих веществ; Ж – наледная поляна, загрязненная нефтепродуктами, в 950 м выше устья р. Далдыкан; З – антропогенно измененные отложения (аллювий с высоким содержанием загрязняющих веществ), вскрывающиеся с поверхности в пределах наледной поляны в долине р. Далдыкан

Fig. 1. Anthropogenic transformation of terrain and anthropogenic soils of the Norilsk industrial district:

А – Slope dumps of “Medvezhij Rychei” quarry; Б – Linear erosion intensification on the slopes of subhorizontal dumps of Kayerkkan coal mine; В – Embankments for industrial building in the old city of Norilsk; Г – Redeposited soils – overburden blocks of “Medvezhij Rychei” quarry; Д – Cinder blocks – components of railway embankments near the Daldykan River (class of newly formed soils); Е – Floodplain surface within the spill of pollutants; Ж – Oil polluted river ice-glade 950 m upstream the mouth of the Daldykan River; З – Modified soils (alluvium with high concentration of pollutants) within the river ice-glade in the Daldykan River valley

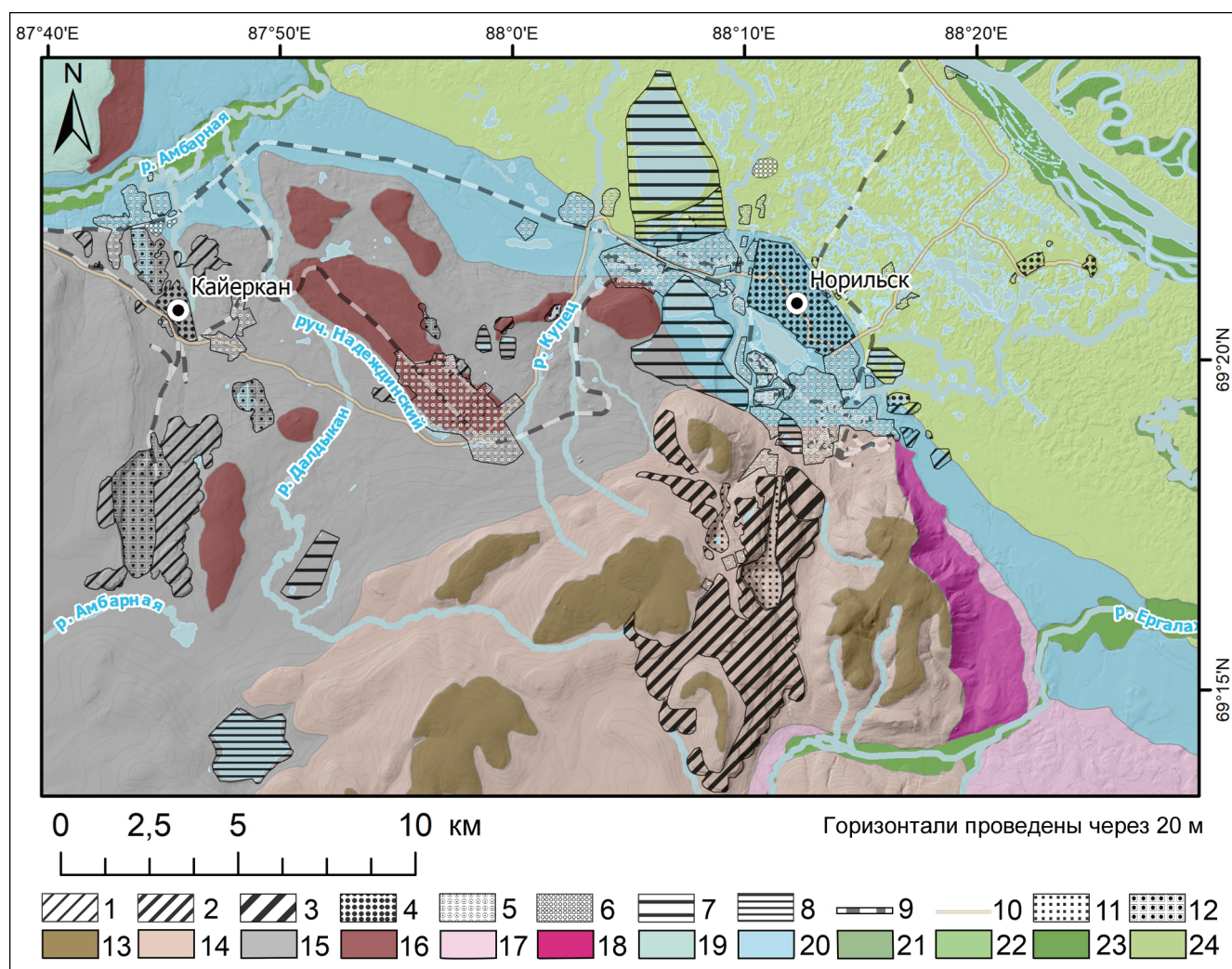


Рис. 2. Естественный и антропогенный рельеф левобережья р. Норильской (районы Норильск, Кайеркан и Оганер).

I – Антропогенный рельеф: отвальные поля шахт и карьеров: 1 – субгоризонтальные отвалы; 2 – склоновые отвалы; 3 – техногенный каменный глетчер; насыпи под застройку: 4 – селитебную; 5 – промышленную; 6 – полигоны ТБО; насыпные дамбы и площадки: 7 – хвостохранилищ; 8 – отстойников; линейные антропогенные формы: 9 – железнодорожные насыпи; 10 – насыпи автодорог; карьеры по добыче медно-никелевых руд, угля, пгс и карбонатных пород: 11 – изометричные и карьеры-прорезы; 12 – карьеры с отвальными полями в днище.

II – Естественный рельеф: структурно-денудационный рельеф: 13 – плоские и пологонаклонные вершинные поверхности траппового плато; 14 – ступенчатые склоны плато; 15 – пластовая ступенчатая денудационная равнина со следами ледниковой аккумуляции; 16 – денудационные останцы; ледниковый рельеф: 17 – субгоризонтальные и наклонные поверхности неравномерной ледниковой аккумуляции (краевые и боковые морены); 18 – крутые (до отвесных) экзарационные склоны; водно-ледниковый рельеф: 19 – пологоволнистая флювиогляциальная равнина; 20 – волнистая поверхность Вальковской озерно-ледниковой равнины; флювиальный и озерный рельеф: 21 – дельта голоценового возраста; 22 – конус выноса р. Хараелах; 23 – днища речных долин (нерасчлененные I НПТ и пойма); 24 – бугристо-западинная Аяклинская озерно-аллювиальная равнина

Fig. 2. Natural and anthropogenic landforms of the left bank of the Noril'skaya River (Noril'sk, Kayerkan and Oganer districts).

I – Anthropogenic terrain: Dump fields of mines and quarries: 1 – Sub horizontal dumps; 2 – Slope dumps; 3 – Technogenic stone glacier; Embankments for buildings: 4 – Residential; 5 – Industrial; 6 – Landfills and waste dumps; Bulk dams and platforms: 7 – of tailings; 8 – of sumps (settling tanks); Linear anthropogenic landforms: 9 – Railway embankments; 10 – Road embankments; Quarries for the extraction of copper-nickel ores, coal and carbonate rocks: 11 – Isometric and linear quarries; 12 – Quarries with dump fields in the bottom. **II – Natural terrain:** Structural-denudation terrain: 13 – Flat and gently sloping interfluvies of the plateau; 14 – Stepped slopes of the plateau; 15 – Stepped denudation plain with traces of glacial accumulation; 16 – Denudation remnants; Glacial terrain: 17 – Subhorizontal and inclined surfaces of uneven glacial accumulation (marginal and lateral moraines); 18 – Steep exaration slopes; Water-glacial terrain: 19 – Gently undulating fluvio-glacial plain; 20 – Undulating surface of the Valkovsky lake-glacial plain; Fluvial and lacustrine terrain: 21 – Delta of the Holocene age; 22 – Alluvial cone of the Kharayelakh river; 23 – Undifferentiated levels of I alluvium terrace and floodplain surface; 24 – Hilly Ayaklin lake-alluvial plain

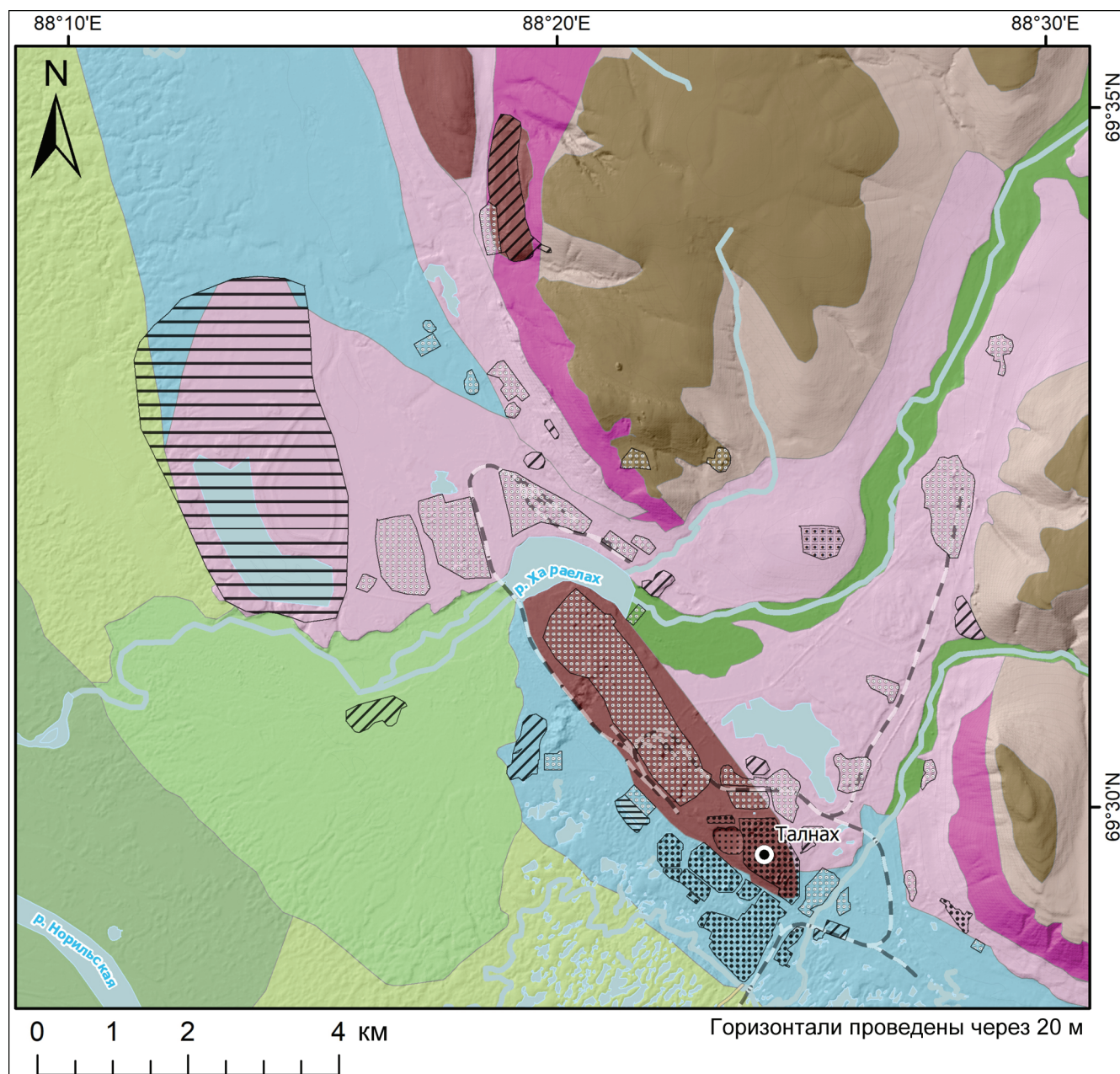


Рис. 3. Естественный и антропогенный рельеф правобережья р. Норильской (район Талнах и окрестности).
Условные обозначения см. на рис. 2

Fig. 3. Natural and anthropogenic relief of the left bank of the Noril'skaya River (Talnakh district and surroundings).
For legend see Fig. 2

Переотложенные образования – это материал естественного происхождения, перемещенный человеком с места его первоначального залегания с сопутствующими коренными изменениями в вещественном составе и физико-механических свойствах (дробление при взрывных работах, фракционирование и др.). Данные отложения чаще всего характеризуются неоднородным гранулометрическим составом с преобладанием песчано-гравийной размерности (материал, слагающий насыпи линейных сооружений и площадок под строительство). Как правило, для склонов антропогенных форм, сложен-

ных таким материалом, характерна активизация линейной эрозии, делювиального смыва, оползневых и осыпных процессов, а в ряде случаев – отседания.

Антропогенно измененные отложения – это породы естественного происхождения, физические и химические свойства которых были преобразованы в ходе антропогенной деятельности. Данный класс антропогенных отложений характерен для участков косвенной трансформации рельефа и включает чаще всего исключительно грунты сезонно талого слоя. В пределах НПР антропогенно преобразованные отложения встречаются на участках, подвергшихся раз-

ливу жидкой фракции пульпы или нефтепродуктов. Суглинистый аллювий, содержащий значительную примесь (или полностью состоящий из техногенных частиц) имеет характерный красный, красно-бурый, бурый или темно-серый оттенок. Нефтепродукты в основном переносятся в приповерхностном слое водной толщи, однако нередко сорбируются песчано-глинистыми частицами и накапливаются

на пойме и в руслах рек. Для антропогенно измененного аллювия характерно снижение плотности, водопроницаемости, прочностных свойств и сил сцепления. Меняется и гранулометрический состав за счет агрегации глинистой фракции и диспергации микроагрегатов [Шевченко, Ширшова, 2008], что отражается на интенсивности криогенных и русловых процессов.

Таблица 2

Геоморфологическая позиция участков прямой трансформации рельефа*

Типы и подтипы антропогенного рельефа	Генетический тип естественного рельефа						
	Поверхности ледниковой аккумуляции	Озерно-аллювиальная равнина	Озерно-ледниковая равнина	Денудационные останцы	Плоская денудационная равнина	Структурно-денудационные склоны	Прочее
Крупные отвальные поля	0,37	0,22	0,90	0,94	11,90		
Склоновые отвалы						18,01	
Техногенный каменный глетчер						1,17	
Насыпи под селитебную застройку	0,09	0,73	6,60	0,57	1,01		
Насыпи под промышленную застройку	3,50	0,99	13,34	6,71	3,22	1,76	
Полигоны ТБО		0,32	0,18			0,02	0,03
Насыпные дамбы и площадки хвостохранилищ	8,20	7,93	5,26		3,22	0,11	
Насыпные дамбы и площадки отстойников		2,24	1,06		4,01	0,45	
Изометричные карьеры и карьеры-прорези				0,26		2,39	
Карьеры с отвальными полями в днище	0,44			0,16	5,14		0,05
Общая площадь, км ²	12,60	12,43	27,34	8,64	28,50	23,91	0,08
Общая площадь, %	11,10	10,96	24,09	7,61	25,11	21,06	0,07
Площадь поверхности генетических типов рельефа (в границах карт), занятая антропогенными формами, %	41,44	18,95	34,87	28,39	16,92	23,97	1,57

Примечание. * Без учета линейных аккумулятивных и денудационных форм, общая площадь которых составляет около 8,9 км² (см. табл. 1).

Косвенная трансформация рельефа выражается в изменении спектра геоморфологических процессов при изменении условий рельефообразования на участках освоения. Ее следствием является образование новых форм и элементов рельефа под воздействием естественных рельефообразующих процессов, которые начинают развиваться в новых условиях. Так, антропогенное освоение в пределах НПР сопровождается практически полным *сведением растительности*, что приводит к интенсификации склоновых процессов, линейной эрозии и делювиального смыва, а на поверхности хвостохранилищ – дефляции [Бутюгин, Гулан,

2005]. В пределах зоны городской застройки и на линейных сооружениях из-за изменения *теплофизических свойств* грунтов формируются техногенные талики, происходят просадочные деформации и активизация морозобойного растрескивания, термокарста и термоэрозии, а также наледообразования [Гребенец, 2007; Гребенец, Исаков, 2016]. Угнетение древесной растительности в результате кислотных дождей [Телятников, Пристяжнюк, 2014] приводит к активизации делювиального смыва и линейной эрозии.

Косвенные трансформации рельефа в первую очередь охватывают участки прямого антропоген-

ного воздействия, однако при отсутствии последних наблюдаются и обособленные участки (см. табл. 1). Особый интерес представляют *участки речных долин* вблизи промышленных объектов (Медный завод, Талнахская обогатительная фабрика (ТОФ), Надеждинский металлургический завод), подвергшиеся загрязнению нефтепродуктов (23,6 км²). Источниками загрязнения являются топливо (дизель и мазут), пульпа, рудничные воды и другие отходы добычи и обогащения руды, изливающиеся на поверхность при авариях. В дальнейшем материал транспортируется ручьями и реками в виде антропогенно измененных отложений. Сильно загрязненные нефтепродуктами аллювиальные отложения (мощностью до 1 м) слагают небольшие аккумулятивные флювиальные формы (побочни, осередки высотой до 20 см), залегают на поверхности высокой поймы на высоте до 4,5–5,0 м над урезом (см. рис. 1, Е).

Значительные мощности антропогенно измененного аллювия обусловлены многолетним, повсеместным и непрерывным сбросом промышленных отходов в речные долины. Установлено, что нефтепродукты в той или иной мере аккумулируются на всех участках речных долин ниже места аварии. На реках со свободным меандрированием и спокойным гидродинамическим режимом (например, в низовьях р. Амбарной) загрязненный нефтепродуктами аллювий слагает побочни и осередки, тонким слоем (до 3–4 см) покрывает обширные участки низкой и средней пойм. В долинах рек, прорезающих скальные породы, органоминеральное вещество оседает на участках резкого изменения гидродинамики потока (ниже по течению от порожистого участка русла). При этом выше сужения долины наблюдается не менее интенсивная аккумуляция, связанная с ледяными заторами и образованием наледных полян. Подобные формы (внутренние дельты, наледные поляны), в особенности – в долине р. Далдыкан, подвергшейся загрязнению при аварии на ТЭЦ-3 в мае 2020 г. (см. рис. 1, Ж, З), это наиболее распространенные геоморфологические позиции участков аккумуляции нефтепродуктов в пределах НПР.

Возраст, эволюция и динамика антропогенной трансформации рельефа. В истории хозяйственного освоения НПР можно выделить три этапа, различающихся направленностью антропогенного морфолитогенеза. *Первый этап (1920–1953)* знаменовал начало широкомасштабного освоения территории, в ходе которого антропогенная трансформация рельефа в основном охватывала структурно-денудационный рельеф Норильских гор. *Второй этап (1953–1986)* отражает переход к комплексному освоению и строительству г. Но-

рильска, Кайеркана и Талнаха, проходку основных подземных выработок, строительство горно-обогатительных фабрик и хвостохранилищ. Именно на данном этапе освоения была создана основная часть антропогенного рельефа НПР. *Третий этап (1986–2021)* характеризуется заметным снижением скорости приращения площади антропогенных форм по сравнению с предыдущим этапом (за исключением месторождения «Норильск-2», в пределах НПР новых месторождений освоено не было), активный переход к вахтовому методу сделал нецелесообразным расширение жилищного фонда. Для этого периода характерен наибольший прирост площади ареалов косвенной трансформации рельефа, обусловленных авариями на промышленных объектах и трассах трубопроводов.

Морфология антропогенного рельефа изменяется во времени не только под действием эндогенных и экзогенных процессов, но и в зависимости от его функционального назначения и вовлеченности в природопользование. По стадии эволюции антропогенный рельеф можно разделить на: 1) *эфемерный*, морфология которого постоянно меняется (в течение дней, месяцев) на разных стадиях строительства и эксплуатации сооружений или в ходе горнодобычи (отвалы горнодобычи, карьеры в стадии эксплуатации и др.); 2) *конгруэнтный*, морфология которого остается практически неизменной (насыпные дамбы хвостохранилищ, насыпи под застройку); 3) *реликтовый* – утративший функциональное назначение при относительно мало изменившейся морфологии (например, заброшенные насыпи под строительство); 4) *трансформированный* – утративший как первоначальную морфологию (под действием экзогенных геоморфологических процессов), так и функциональное назначение (например, склоновые отвалы карьера «Медвежий ручей»).

Установлено, что наибольшее распространение в пределах НПР имеет конгруэнтный антропогенный рельеф, образованный на втором этапе освоения (1953–1986) (рис. 4). Это насыпи под селитебную и промышленную застройку Норильска, Талнаха и, в меньшей степени, Кайеркана, площадки хвостохранилищ и отстойников, а также автомобильные и железнодорожные насыпи. Эфемерные формы рельефа распространены на участках ныне действующей открытой горнодобычи (месторождения Кайерканского угольного разреза и «Норильск-1»), а также в пределах строящегося гипсохранилища в верховьях р. Далдыкан и хвостохранилища ТОФ. Реликтовый тип рельефа занимает наименьшую площадь и в основном приурочен к «старому городу» Норильска, образованному на первом этапе освоения. Трансформированный тип рельефа приурочен в основном к заброшенным участкам горнодобычи.

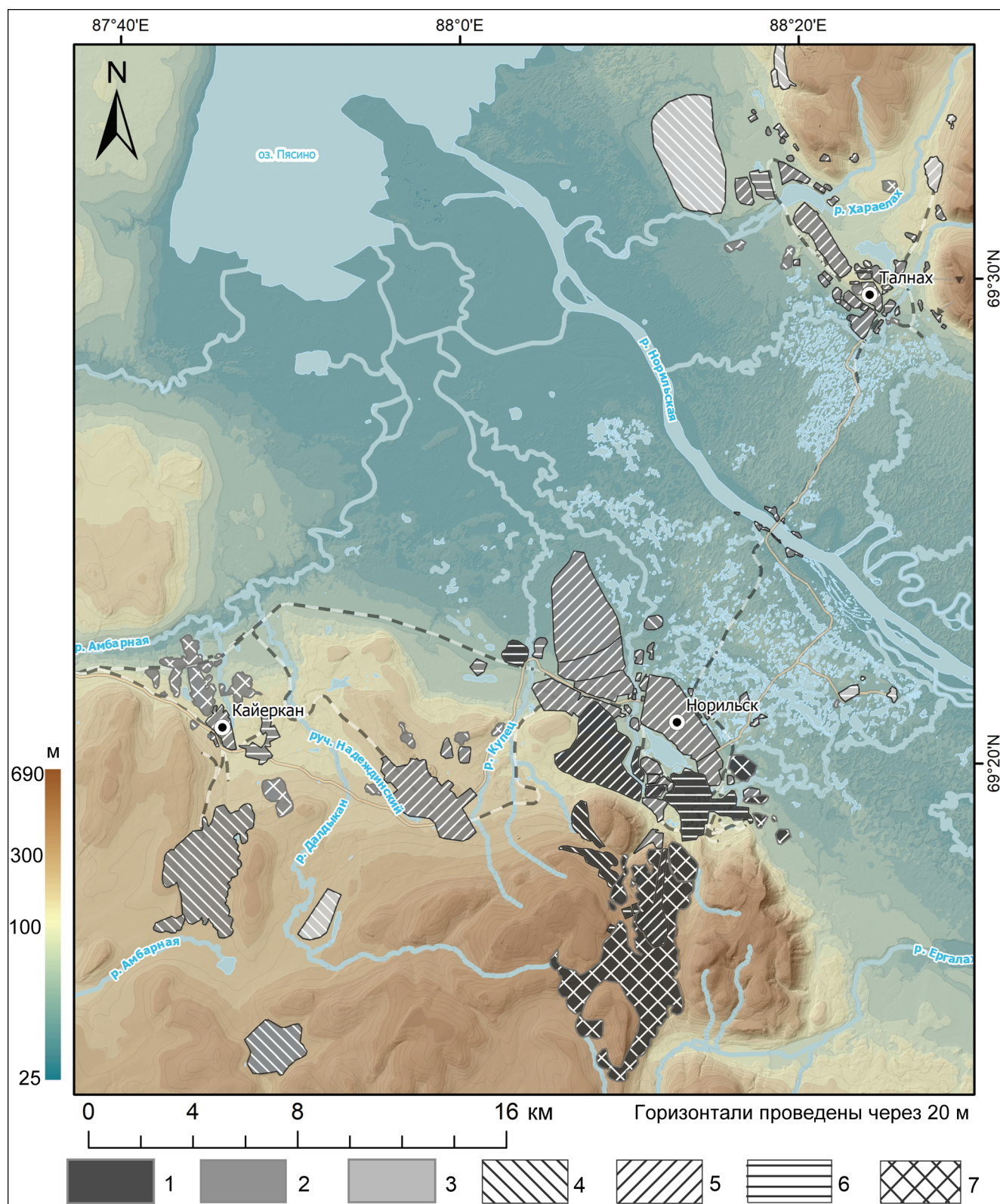


Рис. 4. Типы антропогенного рельефа, различающиеся возрастом и направленностью эволюции.

Возраст: 1 – I этап (1920–1953); 2 – II этап (1953–1986); 3 – III этап (1986–2021); антропогенный рельеф по стадии эволюции: 4 – эфемерный; 5 – конгруэнтный; 6 – реликтовый; 7 – трансформированный

Fig. 4. Types of anthropogenic landforms, differing in the age and the trend of evolution:

Age: 1 – I phase (1920–1953); 2 – II phase (1953–1986); 3 – III phase (1986–2021); Anthropogenic landforms differed by stage of evolution: 4 – ephemeral; 5 – congruent; 6 – relict; 7 – transformed

По результатам сопряженного анализа двух разновременных космических снимков (1985 и 2021) общее приращение площади антропогенного рельефа за 36 лет составило 29,2 км² (без учета линейных форм). Таким образом средняя скорость приращения площади достигает 0,8 км²/год. Антропогенные формы или их комплексы ранжированы в зависимости от степени их приращения/убыли за данный период (в процентах) (рис. 5). В основном отрицательная динамика (от -16 до -2%) характерна для субгоризонтальных отвальных полей шахт и карьеров, расположенных вблизи селитебных территорий (за счет частичной рекультивации). Низкая положительная динамика (от +2 до +10%) характерна для «склонового» подтипа отвалов месторождения Норильск-1, а также для ряда насыпных площадок отстойников и отвалов вблизи карьеров по добыче известняка или угля. Более высокой положительной динамикой (от +10 до +100%) характеризуются насыпные дамбы и площадки хвостохранилищ, карьеры по добыче ПГС, угля и известняка с прилегающими к ним отвальными полями.

Также были выделены антропогенные формы, не существовавшие на начало исследуемого периода (1985). В основном это насыпи под селитебную застройку в пределах микрорайона Оганер (его строительство началось в 1986 г.), ряд отвальных полей и насыпей под промышленную застройку (к примеру, рудника «Скалистый»), а также гипсохранилище в верховьях р. Далдыкан, строительство которого началось в 2020 г. В целом наименее изменилась за последние 36 лет площадь антропогенного рельефа в пределах селитебных территорий г. Норильска (Центральный, Талнах, Кайеркан) и прилегающих к центральному району, наиболее старых, объектов инфраструктуры месторождений и обогатительных фабрик.

Возникновение обширных участков косвенных трансформаций за период с 1985 по 2021 г. прежде всего обусловлено авариями на пульпопроводах и крупных обогатительных фабриках. За 36 лет приращение площади крупных ареалов аккумуляции загрязняющих веществ составило 23,6 км². Наиболее крупные из них расположены в зоне слияния рек Щучья и Купец, а также в долине р. Далдыкан ниже впадения руч. Надеждинского.

Выполненная оценка масштабов антропогенной трансформации рельефа демонстрирует, что темпы антропогенного морфолитогенеза в пределах НПР на несколько порядков превышают скорости переработки вещества и энергии естественными экзогенными процессами. Морфология антропогенных форм зависит от их функционального назначения,

геоморфологической позиции и геологических условий, возраста образования. На современном этапе освоения приращение площади трансформаций происходит в большей мере за счет ареалов косвенной трансформации рельефа, обусловленных техногенными авариями на промышленных объектах.

ВЫВОДЫ

Столетняя история добычи меди – никеля – платиновых руд, угля и карбонатных пород в пределах НПР вкупе с отказом от «освоения без заселения» привела к формированию одного из самых крупных ареалов антропогенного рельефа в Российской Арктике. Общая площадь участков *прямой* трансформации рельефа составила 113,5 км² (с учетом линейных антропогенных форм – 122,4 км²), а *косвенной* (без учета трансформации ландшафтов за счет атмосферного загрязнения) – 23,6 км². Объем антропогенных форм рельефа достигает 1,8 млрд м³. 93% площади и 72,6% объема прямых трансформаций рельефа приходятся на аккумулятивные формы.

Среди выделенных морфологических типов и подтипов антропогенного рельефа наибольшие площади занимают насыпи под промышленную застройку и хвостохранилища (29,52 км² и не менее 24,72 км² соответственно), а по объему – склоновые отвалы карьеров (порядка 480 млн м³). Наибольшую площадь антропогенные формы рельефа занимают в пределах районов распространения структурно-денудационного и озерно-ледникового рельефа. При этом к структурно-денудационному рельефу преимущественно приурочены промышленные объекты, к озерно-ледниковому – селитебные.

Антропогенное освоение, сопровождающееся косвенными трансформациями рельефа, приводит к активизации обвально-осыпных и эрозионных процессов, а также ряда криогенных (термокарст, термоэрозия, криогенное пучение). Наиболее опасными для объектов инфраструктуры являются массовые смещения склоновых отвалов по типу оползня или каменного глетчера. Среди обособленных ареалов косвенной трансформации наибольшую площадь (около 20 км²) занимают участки речных долин, затронутые разливами нефтепродуктов.

Наибольшее приращение площади участков *прямой* трансформации рельефа наблюдалось в пределах НПР с 1953 по 1986 г., большая часть антропогенных форм имеет возраст от 45 до 70 лет. По характеру эволюции здесь преобладают конгруэнтные и трансформированные формы рельефа. Общее приращение площади антропогенного рельефа за последние 36 лет составило 29,2 км².

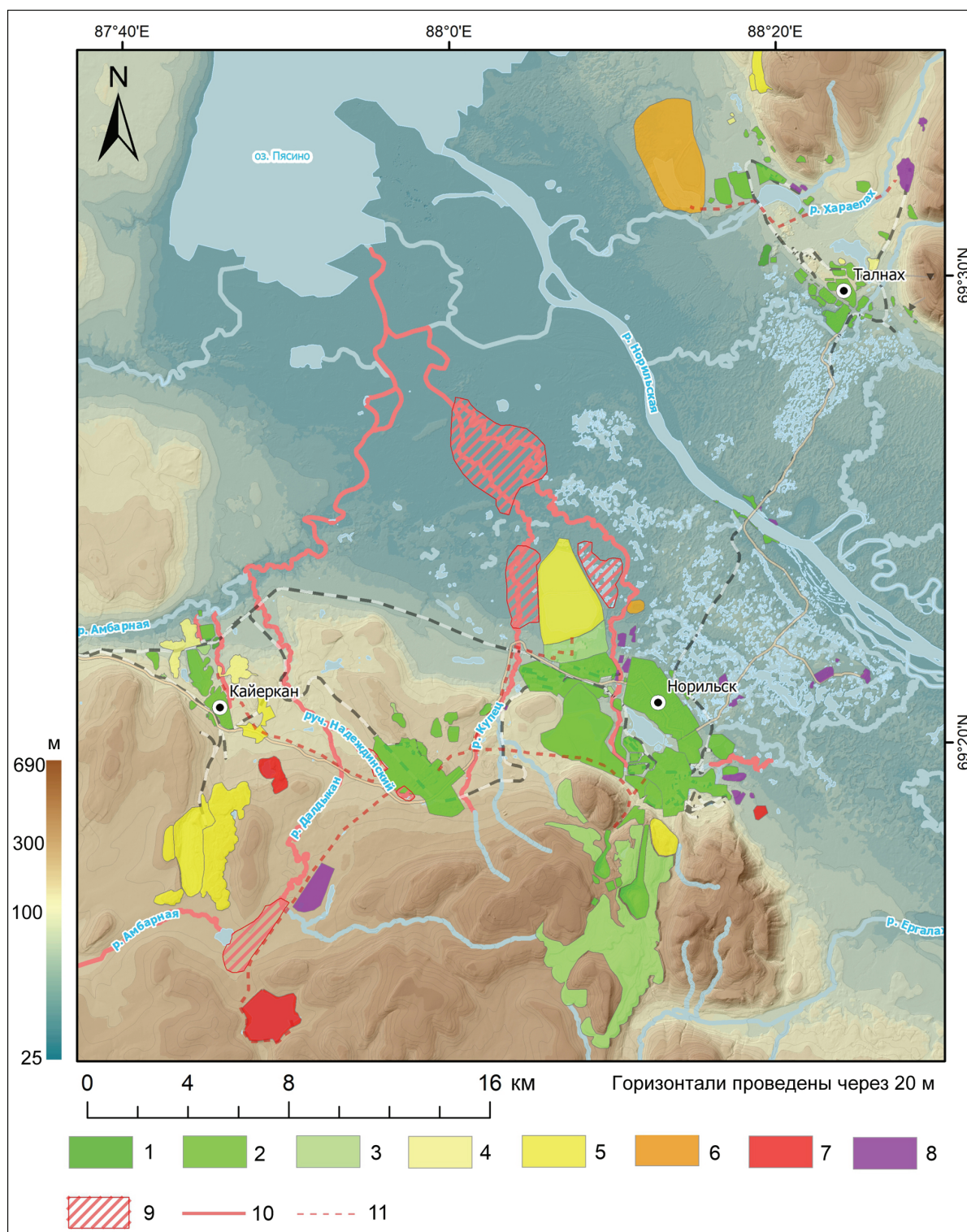


Рис. 5. Приращение площади антропогенной трансформации рельефа за 36 лет (1985–2021): *антропогенного рельефа* (в % от 1985 г.): 1 – от -16 до -2; 2 – от -2 до 2; 3 – от 2 до 10; 4 – от 10 до 30; 5 – от 30 до 70; 6 – от 70 до 100; 7 – более 100; 8 – новообразованные формы рельефа; *косвенная трансформация рельефа*: 9 – крупные ареалы загрязнения нефтепродуктами и отходами обогащения; 10 – участки речных долин, подвергшихся загрязнению; 11 – сегменты трасс трубопроводов, подвергшихся загрязнению

Fig. 5. Increment of the area of anthropogenic terrain transformation over 36 years (1985–2021): *Anthropogenic landform's area increment (as a percentage of 1985)*: 1 – from -16 to -2; 2 – from -2 to 2; 3 – from 2 to 10; 4 – from 10 to 30; 5 – from 30 to 70; 6 – from 70 to 100; 7 – more than 100; 8 – newly formed landforms; *Indirect transformation of terrain*: 9 – huge areas of oil and tailings pollution; 10 – segments of river valleys polluted by oil and tailings; 11 – polluted pipeline route segments

Благодарности. Исследования выполнены Г.А. Кажукало, Е.А. Еременко и Ф.А. Романенко в рамках темы госзадания кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Эволюция природной среды в кайнозое, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования» (№ 121040100323-5). Полевые экспедиционные работы проведены Г.А. Кажукало и Ф.А. Романенко при поддержке Фонда полярных исследований «Полярный Фонд». Авторы выражают благодарность Н.Н. Луговому, Н.Г. Беловой, а также А.К. Яковенко, П.С. Джевахашвили и А.В. Котенкову за содействие при проведении экспедиционных работ в Норильске в августе 2021 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афонин А.П., Дудлер И.В., Зиангиров Р.С., Лычко Ю.М., Огородникова Е.Н., Спиридонов Д.В., Дроздов Д.С. Классификация техногенных грунтов // Инженерная геология. 1990. № 1. С. 115–121.
- Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В. Месторождения стратегических металлов Арктической зоны // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 6. С. 479–479.
- Бредихин А.В., Еременко Е.А., Харченко С.В., Беляев Ю.Р., Романенко Ф.А., Болысов С.И., Фузеина Ю.Н. Районирование Российской Арктики по типам антропогенного освоения и сопутствующей трансформации рельефа на основе кластерного анализа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 1. С. 42–56.
- Бутюгин В.В., Гулан Е.А. Геодинамическая и геоэкологическая безопасность хвостохранилищ в Норильском промышленном районе // ГИАБ. 2005. № 1. С. 122–126.
- Геоморфологическое районирование территории СССР и прилегающих морей / С.С. Воскресенский, О.К. Леонтьев, А.И. Спиридонов, С.А. Лукьянова и др. М.: Высшая школа, 1980. 343 с.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Норильская. Лист R-45 – Норильск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. 320 с.
- Гребенец В.И. Негативные последствия деградации мерзлоты // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2007. № 3. С. 18–21.
- Гребенец В.И., Исаков В.А. Деформации автомобильных и железных дорог на участке Норильск–Талнах и методы борьбы с ними // Криосфера земли. 2016. Т. 2. № 2. С. 69–77.
- Гребенец В.И., Керимов А.О. Изменения характера движения крупнейшего техногенного каменного глетчера // Криосфера Земли. 1998. Т. 2. № 2. С. 38–42.
- Демидюк Л.М. Распространение, мощность и температурный режим мерзлых и талых пород // Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М.: Недра, 1989. С. 173–176.
- Додин Д.А. Металлогения Таймыро-Норильского региона (север Центральной Сибири). СПб.: Наука, 2002. 822 с.
- Еременко Е.А., Фузеина Ю.Н., Власов М.В., Ворошилов Е.В., Деркач А.А., Бредихин А.В. Антропогенная трансформация рельефа населенных пунктов Нижнего Приобья // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 1. С. 69–86.
- Еременко Е.А., Фузеина Ю.Н., Ворошилов Е.В., Власов М.В., Бредихин А.В. Антропогенная трансформация рельефа Воркутинского промышленного района // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 1. С. 3–15.
- Железный О.М., Тутубалина О.В., Кравцова В.И. Оценка изменений растительности Норильского промышленного района по дистанционным данным на основе анализа трендов спектральных индексов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 170–178.
- Керимов А.Г., Гребенец В.И., Стрелецкий Д.А., Толманов В.А., Шикломанов Н.И., Юров Ф.Д., Губанов А.С. Сезонное оттаивание и осадка грунтов по результатам полевых исследований в Норильском регионе (площадка R-32 CALM) // Сб. докладов расширенного заседания Научного совета по криологии Земли РАН. Т. 1. 2018. С. 179–185.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР (Красноярский край и Тувинская АССР) / отв. ред. Н.С. Смирнова. Л.: Гидрометеиздат, 1990. Вып. 21. Ч. 1–6. 623 с.
- Сарана В.А. Оледенение в западной части плато Путорана в позднем голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 1. С. 73–81.
- Севастьянов Д.В., Исаченко Т.Е., Гук Е.Н. Норильский регион: от природной специфики к практике освоения // Вестник СПбГУ. 2014. Сер. 7. Вып. 3. С. 82–94.
- Скачков М.С. Подземная разработка месторождений полезных ископаемых Норильского промышленного района: справочное пособие / Норильский индуст. ин-т. Норильск, 2005. 77 с.
- Спиридонов Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. 2010. № 9. С. 1356–1378.
- Телятников М.Ю., Пристяжнюк С.А. Антропогенное влияние предприятий Норильского промышленного района на растительный покров тундры и лесотундры // Сибирский экологический журнал. 2014. № 6. С. 903–922.
- Урванцев Н.Н. Норильск. М.: Недра, 1969. 155 с.
- Урванцев Н.Н. Открытие Норильска. М.: Наука, 1981. 102 с.
- Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С. Геокриологические условия Енисейского Севера. М.: Наука, 1967. 128 с.
- Шевченко Л.В., Шишова И.В. Прочностные свойства мерзлых глинистых грунтов, загрязненных нефтью // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2008. № 1. С. 78–84.
- Эколого-геоморфологический анализ Арктической зоны Российской Федерации / под ред. Э.А. Лихачевой, А.В. Кошкарева. М.: Медиа-ПРЕСС, 2020. 120 с.
- Электронные ресурсы**
Управление Федеральной службы государственной статистики по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва. URL: <https://krasstat.gks.ru/folder/32970> (дата обращения 05.11.2021).
Arctic DEM Explorer, URL: <https://livingatlas2.arcgis.com/arcticdemexplorer/> (дата обращения 18.09.2021).
Maxar technologies, Google Earth, URL: <https://earth.google.com/> (дата обращения 15.09.2021).

Поступила в редакцию 13.10.2022

После доработки 15.01.2023

Принята к публикации 22.02.2023

ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF TERRAIN IN THE NORILSK INDUSTRIAL DISTRICT

G.A. Kazhukalo¹, E.A. Eremenko², F.A. Romanenko³

¹⁻³ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography*

¹ *Master student; e-mail: kazhukaloga@gmail.com*

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

³ *Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: faromanenko@mail.ru*

The scale of anthropogenic terrain transformation within the Norilsk industrial region was quantified and a classification of its consequences has been elaborated. The work is based on the results of 2021 expeditionary geomorphologic studies, interpretation and analysis of remote sensing materials and digital elevation models. It has been established that the total area of direct terrain transformation during the territory development was about 122,4 km², and that of indirect transformation – 23,6 km². The volume of anthropogenic landforms is at least 1,8 billion m³; accumulative forms account for 93% of the area and 72,6% of the volume of direct land-form transformations. The types of anthropogenic landforms were identified, it was found that the largest area is occupied by embankments for industrial development and tailings, and the largest volume is characteristic of slope dumps. Indirect terrain transformation is mainly activation of gravitational processes, linear erosion, suffusion, thermokarst, heaving and deflation. The mass displacement of slope dumps by landslides or stone glaciers are the most dangerous for infrastructure facilities. Separate areas of indirect transformations are mainly limited to the lacustrine-alluvial lowlands and the bottoms of river valleys. Among them, the largest area (up to 20 km²) is occupied by segments of river valleys affected by spills of oil products and tailings. It has been established that the accumulation of pollutants in river valleys of the Norilsk industrial region occurs within the internal deltas and ice glades where the longitudinal slope decreases. Three stages of anthropogenic development of the territory are distinguished (I – 1920–1953; II – 1953–1986; III – 1986–2021); the most significant increment in the area of anthropogenic terrain occurred from 1953 to 1986. The average rate of anthropogenic terrain area increment over the past 36 years amounted to 0,81 km²/year. The highest rates of area growth are characteristic of the Kayerkan and Talnakh regions, which is associated with ongoing mining.

Keywords: Norilsk, anthropogenic landscape, Arctic development, technogenic soils, anthropogenic impact, ecological geomorphology, oil pollution

Acknowledgements. The study was carried out by G.A. Kazhukalo, E.A. Eremenko and F.A. Romanenko within the framework of the theme of the State Research Task no. 121040100323-5 of the Department of Geomorphology and Paleogeography of the MSU Faculty of Geography “Cenozoic evolution of the environment, the dynamics of the terrain, geomorphologic hazards and risks of land-use” Field works were held by F.A. Romanenko and G.A. Kazhukalo within the support of the “Polyarnyj fond” polar research foundation. Authors express their gratitude to N.N. Lugovoy, N.G. Belova, A.K. Yakovenko, P.S. Dzhevakhshvilli and A.V. Kotenkov for their assistance in field works in Norilsk (August–September, 2021).

REFERENCES

- Afonin A.P., Dudler I.V., Ziangirov R.S., Lychko Ju.M., Ogorodnikova E.N., Spiridonov D.V., Drozdov D.S. Klassifikacija tehnogennyh gruntov [Classification of technogenic soils], *Engineering geology world*, 1990, no. 1, p. 115–121. (In Russian)
- Bortnikov N.S., Lobanov K.V., Volkov A.V. Mestorozhdenija strategicheskikh metallov Arkticheskoy zony [Strategic metal deposits in the Arctic zone], *Geologija rudnyh mestorozhdenij*, 2015, vol. 57, no. 6, p. 479–479. (In Russian)
- Bredikhin A.V., Eremenko E.A., Kharchenko S.V., Belyaev Ju.R., Romanenko F.A., Bolysov S.I., Fuzeina Yu.N. Rajonirovanie rossijskoj Arktiki po tipam antropogen-nogo osvoenija i soputstvujushhej transformacii rel'efa na osnove klasternogo analiza [Regionalization of the Russian Arctic according to the types of anthropogenic development and associated terrain transformation by applying the cluster analysis], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 1, p. 42–56. (In Russian)
- Butiugin V.V., Gulan E.A. Geodinamicheskaja i geojekologicheskaja bezopasnost' hvostohranilishe v Noril'skom promyshlennom rajone [Geodynamic and geoecological safety of tails in the Norilsk industrial district], *Mining informational and analytical bulletin*, 2005, no. 1, p. 122–126. (In Russian)
- Demidjuk L.M. [Extension, depth and temperature regime of permafrost and thawed ground], *Geokriologija SSSR, Srednjaja Sibir' [Geocryology of the USSR, Central Siberia]*, Moscow, Nauka Publ., 1989, p. 173–176. (In Russian)
- Dodin D.A. *Metallogenija Tajmyro-Noril'skogo regiona (sever Central'noj Sibiri)* [Metallogeny of Taimyr-Norilsk region (the north of Central Siberia)], St. Petersburg, Nauka Publ., 2002, 822 p. (In Russian)
- Ekologo-geomorfologicheskij analiz Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii* [Ecologo-geomorphologic analysis of the Arctic zone of the Russian Federation], E.A. Likhacheva,

- A.V. Koshkarev (eds.), Moscow, Media-PRESS Publ., 2020, 120 p. (In Russian).
- Eremenko E.A., Fuzeina Yu.N., Vlasov M.V., Voroshilov E.V., Derkach A.A., Bredikhin A.V. Antropogennaja transformacija rel'efa naselennyh punktov Nizhnego Priob'ja [Anthropogenic transformation of terrain in settlements of the Lower Ob River region], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 1, p. 69–86. (In Russian)
- Eremenko E.A., Fuzeina Yu.N., Voroshilov E.V., Vlasov M.V., Bredihin A.V. Antropogennaja transformacija rel'efa Vorkutinskogo promyshlennogo rajona [Anthropogenic transformation of terrain in the Vorkuta industrial region], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 1, p. 3–15. (In Russian)
- Geomorfologičeskoe rajonirovanie territorii SSSR i prilegajushhih morej [Geomorphic Zonation of the Soviet Union and the Adjacent Seas], S.S. Voskresenskij, O.K. Leont'ev, S.A. Luk'yanova, A.I. Spiridonov i dr. (avt.), Moscow, Higher School Publ., 1980, 343 p. (In Russian).
- Gosudarstvennaja geologičeskaja karta Rossijskoj Federacii m-ba 1:1 000 000 (tret'e pokolenie), Ser. Noril'skaja, list R-45 – Noril'sk, Objasnitel'naja zapiska [State geologic map of the Russian Federation 1:1 000 000, Series Noril'skaya, Sheet R-45 – Noril'sk, Explanatory Note], Saint Petersburg, Kartograficheskaja fabrika VSEGEI Publ., 2016, 320 p. (In Russian)
- Grebenec V.I. Negativnye posledstvija degradacii merzloty [Negative consequences of permafrost degradation], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2007, no. 3, p. 18–21. (In Russian).
- Grebenec V.I., Isakov V.A. Deformacii avtomobil'nyh i zheleznyh dorog na uchastke Noril'sk–Talnah i metody bor'by s nimi [Deformations of roads and railways within the Norilsk–Talnakh section and methods of their control], *Kriosfera Zemli*, 2016, vol. 20, no. 2, p. 69–77. (In Russian).
- Grebenec V.I., Kerimov A.O. Izmenenija haraktera dvizhenija krupnejšego tehnogennogo kamennogo gletčera [Changes in movement features of the largest technogenic rock glacier], *Kriosfera Zemli*, 1998, vol. 2, no. 2, p. 38–42. (In Russian)
- Kerimov A.G., Grebenec V.I., Streleckij D.A., Tolmanov V.A., Shiklomanov N.I., Iurov F.D., Gubanov A.S. [Seasonal thawing and sedimentation of soils based on the results of field works in the Norilsk region (R-32 CALM platform)], *Sb. dokladov rasširenogo zasedanija Nauchnogo Soveta po kriologii Zemli RAN* [Proceedings of the enlarged session of the Scientific Council on Earth Cryology of the Russian Academy of Sciences], 2018, vol. 1, p. 179–185. (In Russian)
- Nauchno-prikladnoj spravocnik po klimatu SSSR (Krasnojarskij kraj i Tuvinskaja ASSR) [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR (Krasnojarsk and Tuva territories)], N.S. Smirnova (ed.), Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990, no. 21, 623 p. (In Russian)
- Sarana V.A. Oledenenie v zapadnoj chasti plato Putorana v pozdnem golocene [Glaciation of the western part of the Putorana Plateau in the Late Pleistocene and Holocene], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 1, p. 73–81. (In Russian)
- Sevast'janov D.V., Isachenko T.E., Guk E.N. Noril'skij region: ot prirodnoj specifiky k praktike osvoenija [Norilsk region: from the peculiarities of nature to the practice of development], *Vestn. SPbGU, Ser. 7*, 2014, no. 3, p. 82–94. (In Russian)
- Shevchenko L.V., Shirshova I.V. Prochnostnye svojstva merzlyh glinistyh gruntov, zagrijaznennyh neft'ju [Strength parameters of frozen clay soils contaminated with oil], *Geojekologija, Inženernaja geologija, Gidrogeologija, Geokriologija*, 2008, no. 1, p. 78–84. (In Russian)
- Sheveleva N.S., Khomichevskaya L.S. *Geokriologičeskije uslovija Enisejskogo Severa* [Geocryological conditions of the Yenisei River North], Moscow, Nauka Publ., 1967, 126 p. (In Russian)
- Skachkov M.S. *Podzemnaja razrabotka mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh Noril'skogo promyshlennogo rajona: Spravočnoe posobie* [Underground mining of mineral deposits of the Norilsk industrial district: Handbook], Norilsk, Norilsk Industrial University Publ., 2005, 77 p. (In Russian)
- Spiridonov E.M. Rudno – magmatičeskije sistemy Noril'skogo rudnogo polja [Ore-magmatic systems of the Noril'sk ore field], *Geologija i geofizika*, 2010, no. 9, p. 1356–1378. (In Russian)
- Teljatnikov M.Yu., Pristjazhnjuk S.A. Antropogennoe vlijanie predpriyatij Noril'skogo promyshlennogo rajona na rastitel'nyj pokrov tundry i lesotundry [Anthropogenic influence of enterprises of the Norilsk industrial region on the vegetation cover of tundra and forest-tundra], *Siberian Journal of Ecology*, 2014, no. 6, p. 903–922. (In Russian)
- Urvancev N.N. *Noril'sk* [Norilsk], Moscow, Nedra Publ., 1969, 155 p. (In Russian)
- Urvancev N.N. *Otkrytie Noril'ska* [Discovery of Norilsk], Moscow, Nauka Publ., 1981, 102 p. (In Russian)
- Zheleznyi O.M., Tutubalina O.V., Kravtsova V.I. Otsenka izmenenij rastitel'nosti Noril'skogo promyshlennogo rajona po distantsionnym dannym na osnove analiza trendov spektral'nykh indeksov [Assessment of changes in vegetation of the Norilsk industrial region with remote sensing data, based on the trend analysis of spectral indices], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, vol. 19, no. 1, p. 170–178. (In Russian)
- Web sources**
- Arctic DEM Explorer, URL: <https://livingatlas2.arcgis.com/arcticdemexplorer/> (access date 18.09.2021).
- Maxar technologies, Google Earth, URL: <https://earth.google.com/> (access date 15.09.2021).
- Upravlenie Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Krasnojarskomu kraju, Respublike Hakasija i Respublike Tyva [Department of the Federal State Statistics Service for the Krasnojarsk Krai, the Republic of Khakassia and the Republic of Tyva], URL: <https://krasstat.gks.ru/folder/32970> (access date 05.11.2021). (In Russian)

Received 13.10.2022

Revised 15.01.2023

Accepted 22.02.2023

ТРАНСФОРМАЦИЯ МОРДОВСКОЙ ДЕРЕВНИ БАШКИРИИ: ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Л.Р. Имангулов

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
кафедра экономической и социальной географии России, магистрант; e-mail: linar.imangulov.1999@mail.ru*

В начале XX в. мордовские деревни Федоровского района Республики Башкортостан отличались максимальными темпами роста и людностью среди населенных пунктов с другой этнической структурой населения. В XX в. средняя людность мордовской деревни в районе сократилась на 79%, значительная часть населенных пунктов исчезла. Высокие темпы сокращения численности населения мордовской деревни для зоны с благоприятными агроклиматическими условиями не имеют аналогов среди сел с другой этнической структурой населения. В статье анализируется стремительный рост этнического ареала мордвы в XVIII–XIX вв. и его сокращение в XX в. Выявлены особенности развития мордовской деревни, связанные с влиянием природных условий на расселение (тяготение к источникам воды и лесным участкам), «периферийностью расселения», особенностями хозяйственного уклада (огородничество) и доминирующими психологическими универсалиями (закрытость, индивидуализм и др.). Представлена эволюция факторов трансформации мордовской деревни на разных этапах ее развития. Выявлены основные факторы «кризиса мордовской деревни» в XX–XXI вв. – миграционный, институциональный, экономический и этнокультурный. Для демонстрации масштабов трансформации мордовской деревни составлена современная картосхема наиболее типичной мордовской деревни Алешкино с делением на жилые и пустующие дворы, заброшенные и используемые в хозяйстве территории. На основе результатов глубинных интервью и характеристик населения обозначены основные группы жителей современного мордовского села: «старики», «молодые семьи», «новые кулаки (фермеры)» и «городские дачники».

Ключевые слова: география сельской местности, сельское расселение, факторы трансформации деревни, сельские сообщества, ассимиляция, мордва, Башкортостан

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.11

ВВЕДЕНИЕ

Трансформация сельской местности в XX в. является одной из самых распространенных тем современных исследований в отечественной географии населения. Социально-экономическая динамика развития сельской местности в регионах РФ значительно различается. На территориальную дифференциацию сельской России наравне с градиентами «север – юг» и «пригород – периферия» значительное влияние оказывают этнокультурные различия населения [Нефедова, 2016].

Отличительной особенностью трансформационных процессов в этнически выраженной сельской местности является иной характер процессов, обусловленный социально-экономическими различиями этносов. Этносы отличаются особенностями хозяйствования, моделями демографического и миграционного поведения, а также разной силой социального капитала [Нефедова, 2016; Имангулов и др., 2021]. Все это находит отражение в состоянии «национального села».

В отечественной социальной географии детально изучена трансформация сельской местности

Нечерноземья. Основным фактор коренной трансформации сельской местности Нечерноземья – отток сельского населения в города [Алексеев, 1990]. В результате урбанизации значительная часть сельских населенных пунктов с высокой и средней людностью населения, например, в Тверской области, исчезла [Румянцев и др., 2019].

За рубежом схожие процессы трансформации сельской местности изучаются, например, в странах Восточной и Западной Европы – прежде всего в Польше и Чехии, сельское расселение которых изменилось в XX в. вследствие многочисленных войн, изменения границ и т. д. [Kučerová, Kučera, 2012; Latocha, 2020; Antonăn et al., 2021]. Работы восточно-европейских ученых посвящены в том числе депопуляции сельской местности и изменению облика обывденного сельского ландшафта [Mitchell, 2013].

При изучении трансформации мордовской деревни особенно важно обратиться к географическому опыту изучения трансформации расселения финно-угорских народов.

В работах А.Р. Бубновой, А.А. Булкина, Н.Н. Логиновой, А.Г. Манакова и Л.Л. Стоговой детально

изучена динамика численности населения и сдвиги в расселении крупных и малочисленных финно-угорских народов РФ, например сету, ижоры, тверских карел, удмуртов, мордвы и др.

Авторы приходят к следующим специфическим чертам социально-экономического развития финно-угорских народов на фоне других этносов РФ.

Во-первых, большинство финно-угорских народов отличается сравнительно высокими темпами сокращения численности населения в XX–XXI вв. в связи с действием совокупности факторов (ассимиляция, урбанизация и т. д.). Депопуляция особенно характерна для малочисленных финно-угорских этносов [Стогова, 2006; Манаков, Теренина, 2015].

Во-вторых, финно-угорские народы имеют сложный дисперсно-ареальный рисунок расселения [Булкин, 2005], обусловленный физико-географическими особенностями территории, ее историческим освоением и другими факторами. Территориальная разобщенность и «чересполосное расселение», в свою очередь, имеют отражение в специфике этнических процессов и динамике численности населения этносов [Логинова, Жулина, 2011].

В-третьих, финно-угорские народы до сих пор отличаются повышенным традиционализмом (например, сохранением традиционных языческих верований или их элементов) в сочетании с особыми этнопсихологическими установками (например, закрытостью), которые обусловлены прежде всего высокой зависимостью от окружающей среды [Козлов, 1961]. Это обуславливает специфику развития финно-угорских этносов и иную реакцию на внешние изменения [Манаков, Потапова, 2013].

Перечисленное выше определяет сложную динамику социально-экономических процессов в сельских территориях, населенных финно-угорскими народами.

Иллюстрацией этого является, например, сокращение средней людности мордовской деревни в Федоровском районе Башкортостана в XX–XXI вв. на 79%. Это максимальные масштабы обезлюдения среди сельских населенных пунктов с другой этнической структурой населения (в русской и чувашской деревнях – 69%, татарской – 49%, башкирской – 7%) [Данные, 2010; Данные, 1926–1989].

Для региона с благоприятными агроклиматическими условиями ведения сельского хозяйства стремительный рост людности мордовской деревни в дореволюционной России и такой же быстрый спад в советский период не имеют аналогов среди сельских населенных пунктов с другой этнической структурой населения. Это социально-экономический феномен, требующий детального научного обследования.

Цель исследования – выявить исторические и современные факторы и особенности стремитель-

ной трансформации мордовской деревни Башкирии в XX–XXI вв. на примере Федоровского района, как территории с компактным проживанием мордвы в регионе.

Исследовательская гипотеза заключается в следующем: значительное влияние на стремительную трансформацию мордовской деревни в XX–XXI вв. оказали этнокультурный и институциональный факторы, которые усилили действие универсальных факторов трансформации села – экономического, миграционного и т. д.

Территория исследования. Всего в Республике Башкортостан насчитывается 12 муниципальных образований с компактным проживанием мордвы. Выбор Федоровского района обусловлен максимальной долей мордовского населения – 10,4% от всего населения (1940 чел., 2010 г.) [Население..., 2013].

Согласно Всероссийской переписи населения 2010 г., в Федоровском районе насчитывается 12 существующих мордовских сельских населенных пунктов (далее – СНП).

В Федоровке на базе районного дома культуры функционирует крупнейший в Башкирии Мордовский национальный культурный центр. Жители Башкортостана ассоциируют Федоровский район с Мордовией (выдержка из интервью: «У нас шуточно говорят, что едут в Саранск, когда отправляются в Федоровку»).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Информационная база исследования включает четыре блока материалов: статистические данные о людности СНП, материалы полевых наблюдений (заметки о внешнем состоянии СНП), результаты глубинных и экспертных интервью (автором проведено свыше 15 интервью с представителями местных властей, фермерами и местными жителями) и данные спутниковых изображений.

В статье используются качественные и количественные методы исследования: математико-статистический, аналитический, сравнительно-географический, геоинформационный, экспедиционный (метод полевых наблюдений) и метод глубинного интервью.

Методика исследования заключается в следующем. Для изучения факторов трансформации мордовской деревни анализируется динамика численности населения СНП разного иерархического ранга – от центров сельских поселений до деревень и хуторов.

Для описания особенностей трансформации наиболее типичной мордовской деревни используются результаты полевых наблюдений и глубинных интервью с местными жителями. Последний блок материалов включает данные, полученные при посещении СНП и интервьюировании населения о де-

ревне и сельских жителях с привязкой информации по дворам. На картосхему деревни нанесены данные о жилых и пустующих домах.

Дополнительно на основе результатов глубинных интервью и характеристик населения (возрастная и социальная структура населения, занятость, вклад в развитие села, самоидентификация) обозначены основные группы жителей современного мордовского села по наиболее ярким отличиям. Группы сельских жителей отражают исторические и современные особенности трансформации мордовского села.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем перейти к анализу феномена мордовской деревни, обратимся к *особенностям расселения мордвы* в разные исторические периоды.

Трансформацию сельского расселения мордвы в Федоровском районе можно подразделить на четыре обобщенных этапа: формирование расселения, XVII–XVIII вв. (1-й этап), расширение и структурирование системы расселения в условиях избытка демографических ресурсов, XIX – начало XX в. (2-й этап), «сжатие» системы расселения этноса в советский период в условиях миграционного оттока населения, XX в. (3-й этап) и стабилизация системы расселения в настоящее время (4-й этап).

Заселение Федоровского района мордвой началось в конце XVIII в. Мордва переселялась в Предуралье вследствие нехватки земли и государственной политики насильственного крещения. Переселенцы различались между собой субэтническим составом (мокша и эрзя), регионом выхода (Пензенская и Самарская губернии) и сословной принадлежностью (крестьяне, служилые и др.).

Первые мордовские СНП в Федоровском районе – Алешкино, Кузьминовка и Федоровка – были основаны на западе и севере района. Это лесистые территории с менее благоприятными агроклиматическими условиями для ведения хозяйства.

Основание в этой части района поселений связано с тремя обстоятельствами. Во-первых, наиболее благоприятные для ведения хозяйства земли на юге и востоке района уже использовались башкирами и русскими. Во-вторых, территории имели периферийное положение и были сходны с прошлыми местами обитания переселенцев. В-третьих, переселение осуществлялось согласно купчим (договоренностям), носящим субъективный характер.

Второй этап характеризуется последовательным расширением системы расселения мордвы. Увеличивается средняя людность (с 386 до 1307 чел.) и число мордовских СНП, происходит структурирование системы расселения – выделяются центральные и рядовые СНП.

В первой половине XIX в. выходцами из д. Кузьминовка были основаны д. Булякай, Нижний и Верхний Алыштан. Центральные и образованные в XIX в. СНП являются основными элементами современной системы расселения мордвы в районе. Хозяйственное освоение мордвой новых территорий осуществлялось из указанных выше СНП.

Расширение этнического ареала мордвы стало возможным благодаря институциональным изменениям в Российской империи: окончанию размежевания башкирских земель в 1870-е гг. и Столыпинской аграрной реформе 1906 г.

В условиях избытка демографических ресурсов в мордовской деревне институциональные изменения способствовали «разрастанию» ареала этноса. Положительное влияние на рост численности населения мордвы также оказал особый хозяйственный уклад. Это позволило мордовским СНП стать многолюдными. Так, в 1834 г. в мордовских СНП на один двор приходилось 13,7 чел., в башкирских – 10,1 чел., в чувашских – 8,4 чел., в русских – 6,8 чел., в татарских – 6,7 чел. [Исянгулов, 2020].

В результате в первой половине XX в. число мордовских СНП стремительно возросло до 25 (табл. 1). В числе вновь образованных СНП входят как деревни новых переселенцев (переселенцы 1870–1890-х гг. и начала XX в. из Поволжья), так и хутора ранее основанных в районе мордовских сел. К 1917 г. в современных границах Федоровского района насчитывалось четыре села, 11 деревень и более 10 хуторов, отрубов и поселков с преимущественно мордовским населением (см. табл. 1).

Советский этап характеризуется «сжатием» системы расселения мордвы, что в целом связано с сокращением численности этноса.

В современных границах Федоровского района максимальная доля мордвы в этнической структуре населения отмечается в 1926 г. – 25 % (9,2 тыс. чел.). С 1945 г. отмечается сокращение как доли, так и абсолютной численности мордвы. В 1959 г. доля этноса составила около 19% (5 тыс. чел.), в 1989 г. – 13% (2,5 тыс. чел.). Это имеет отражение в динамике людности СНП.

Сокращение численности населения мордвы в Федоровском районе связано с событиями первой половины XX в.: гражданской войной, продразверсткой, голодом, масштабными эпидемиями 1920-х гг., коллективизацией. В середине XX в. был значительно «подорван» демографический потенциал этноса: из-за людских потерь в Великой отечественной войне и последующей индустриализации региона во второй половине XX в., в результате которой значительная часть молодежи мигрировала в города.

Во второй половине XX в. происходит стремительное сокращение этнического ареала мордвы. В рамках государственной политики по ликвидации неперспективных деревень (1960–1970-е) было ликвидировано 13 сельских населенных пунктов с мордовским населением (в основном хутора). Численность населения некоторых из них составляла в разные переписные годы от 100 до 200 чел.

В постсоветский период продолжают изменения в размещении этносов, связанные с обезлюдением сельских населенных пунктов. Полевые обследования Федоровского района обнаружили реальное сокращение количества мордовских населенных пунктов до семи: Кузьминовка, Верхний и Нижний Алыштан, Алешкино, Булякай, Петровка и Гавриловка (рис. 1).

Таблица 1

Динамика людности существующих мордовских сел и деревень Федоровского района, кол-во чел.

Название	1795	1816	1834	1850	1870	1896	1912	1926	1939	1959	1970	1989	2002	2010
с. Н. Алыштан						220	318	392	344	371	347	333	129	88
с. Алешкино	320	322	511	419	572	749	1097	1201	629	635	614	379	286	240
с. Федоровка*	152	434	699	1229	1602	2470	2818	3032	2458	2188	3614	3787	4128	4306
с. Кузьминовка	212	347	638	922	1228	1541	1466	1483	922	753	727	534	523	439
д. В. Алыштан						208	265	278	359	210	200	214	362	351
д. Булякай				102	210	333	695	746	536	318	247	70	76	62

Примечание. * В этнической структуре Федоровки в настоящее время доминируют русские и татары. Составлено автором по данным [Исянгулов, 2020; Всесоюзные..., 2021; Население..., 2013].

С начала формирования, а затем «экспансии» и сокращения расселения мордвы произошло возвращение к первоначальному рисунку расселения этноса. Наиболее устойчивыми по отношению к различным внешним обстоятельствам в районе оказались первые мордовские СНП. Отчасти это связано с эффектом накопленной базы (большей людностью СНП и инфраструктурной освоенностью), а также с географическим положением СНП.

Факторы изменения этнического ареала мордвы и их эволюция. Стремительное разрастание и сокращение этнического ареала мордвы связано с совокупностью факторов, значимость которых сильно различается в зависимости от выделенных этапов трансформации расселения этноса (рис. 2).

На первом этапе значимую роль играют факторы, связанные с территорией (географическое положение и экологическая емкость ландшафта) и ее особенностями заселения и освоения этносом (миграционный, демографический и хозяйственный). Значительное влияние на рисунок расселения мордвы и его последующие изменения оказали позиционный и экологический факторы.

Стремление к освоению СНП в труднодоступных лесистых частях района, связанное с желанием переселенцев «скрыться» от налогообложения, крещения и «внимания» со стороны местных властей и государства, впоследствии негативным образом отразилось на динамике расселения этноса в XX в.,

что выражено в современной периферийности большинства мордовских СНП.

Это нестандартная ситуация для других этносов района и в целом Башкирии, которые размещены как в пределах лесных, так и степных и лесостепных участков. В рисунке расселения мордвы прослеживается значительное влияние фактора природных условий (тяготение к лесным участкам). Подтверждает выявленную закономерность преимущественное расположение мордовских СНП в лесистых массивах Оренбургской, Самарской, Ульяновской и Пензенской областей.

На локальном уровне действие позиционного фактора соотносится с фактором экологической емкости ландшафта: первые СНП в районе обладали большими «ресурсами» для своего развития (вода, земля, лес). СНП, основанные в более поздний период, располагаются в основном «в медвежьих углах» района, в пределах зон с меньшими ресурсами для роста численности населения.

На 2-м этапе позиционный фактор и экологическая емкость ландшафта, определившие конкурентные преимущества СНП, сменяются хозяйственным и демографическим факторами, без которых расширение этнического ареала мордвы было осложнено.

Первично в данном случае влияние хозяйственного фактора. В большинстве своем крестьянские хозяйства разных этносов в районе были схожими – в основном возделывались зерновые культуры.

Выращивание мордвой огородных культур, помимо зерновых, давало больше пропитания на единицу агрогодий, чем возделывание зерновых или животноводство, требующее значительных земельных ресурсов. В условиях ограниченности земель – это было существенным подспорьем для обеспечения пропитанием большой семьи.

Это позволило мордве первыми достичь большей численности населения в сравнении с другими этносами района (например, украинцами, несмотря на общность хозяйственного уклада) и пережить голод 1920-х гг. с меньшими потерями населения (больше всего пострадало татарское и башкирское население в связи с гибелью скота).

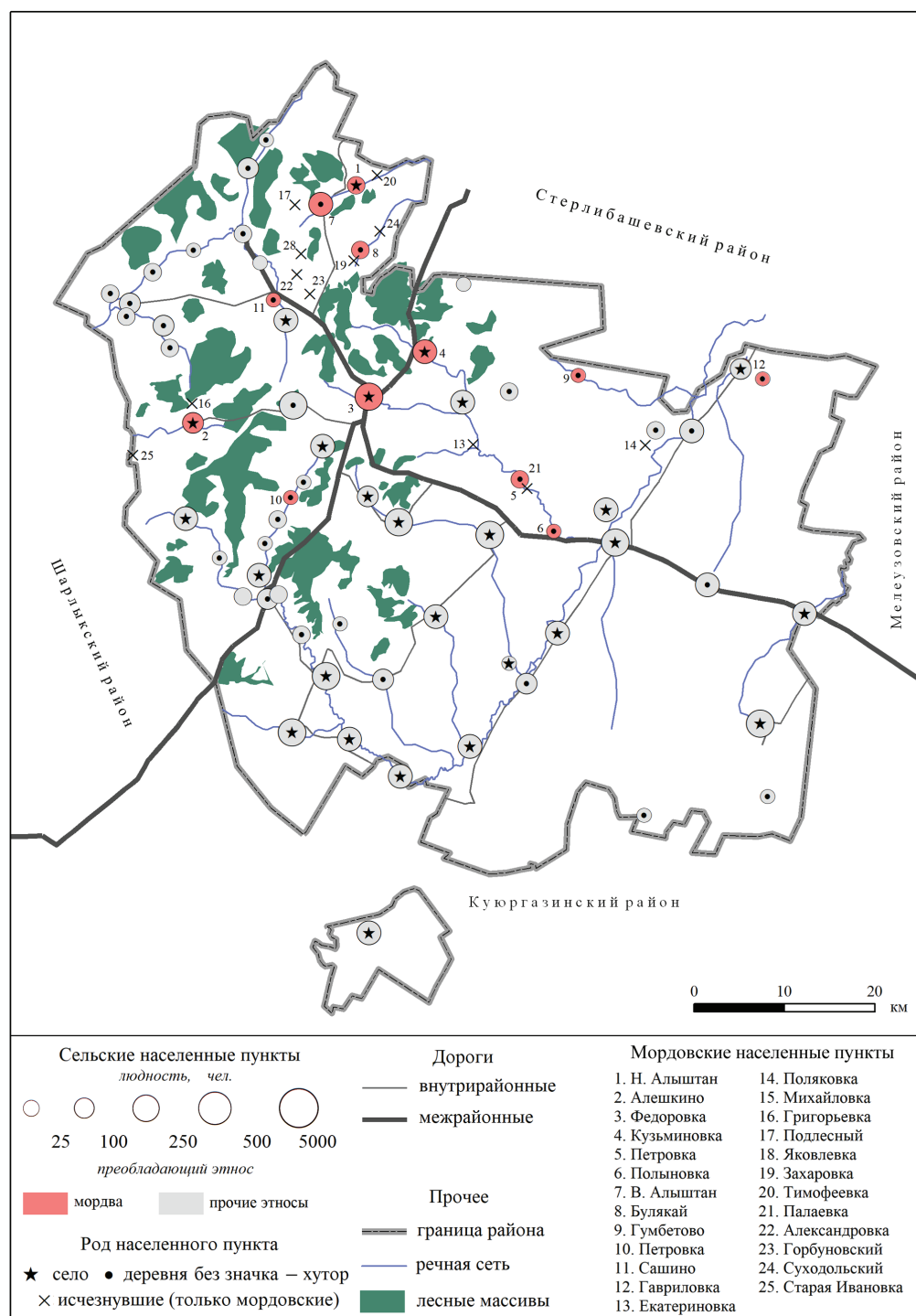


Рис. 1. Современное расселение мордвы в Федоровском районе Башкирии.

Источник: составлено автором по данным [Население..., 2013]

Fig. 1. Modern settlement of the Mordvins in the Fedorovsky district, Bashkiria.

Source: compiled by the author according to [Naselenie..., 2013]



Рис. 2. Основные этапы и факторы трансформации расселения мордвы.

Для каждого этапа трансформации расселения отображены наиболее значимые факторы. Обводка фактора отражает воздействие: отсутствие – положительное, сплошная – отрицательное, пунктирная – двойственное.

Источник: составлено автором

Fig. 2. The main stages and the factors of transformation of the Mordvins' settlement.

For each stage of settlement transformation the most significant factors are displayed. Outline of the factor reflects the impact: absence – positive, solid – negative, dotted – dual. Source: compiled by the author

Цитата из интервью: «Раньше мордва жила зажиточно – “мордовские свиньи были самыми жирными”. Выращивали и солили овощи, делились с татарами».

На втором этапе впервые прослеживается влияние институционального фактора, через законодательные изменения в землепользовании (указ «О размежевании башкирских дач...» (1869), Столыпинская аграрная реформа (1906)). Дополнительное влияние фактора проявляется в размещении объектов социальной инфраструктуры (религиозные объекты, училища и т. д.) и установлении административного статуса СНП, что повлияло на структурирование расселения этноса в дореволюционный период.

На третьем этапе на первый план выходят внешние факторы трансформации расселения: «внешние шоки» (войны, эпидемии и т. д.), миграционный и институциональный факторы. Войны, голод, индустриализация и последующая за ней масштабная миграция населения из сельской местности «подорвали» демографический потенциал развития мордовской деревни. Во второй половине XX в. это иллюстрирует стремительное сокращение численности населения мордовских СНП.

На трансформацию расселения этноса значи-

тельное влияние оказывает и институциональный фактор, действие которого сводится к прямому (госпрограмма по ликвидации неперспективных деревень) и опосредованному («негласная политика государства по ассимиляции мордвы», например ликвидация школ с преподаванием в том числе на мордовском языке в советский период [Киржаева, 2005]) вмешательству государства.

Процесс ассимиляции мордвы в СССР был связан не только с объективными факторами (особенности расселения этноса, распространение русского языка, смешанные браки и т. д.) [Козлов, 1961]. Этноконфессиональная политика государства создавала такие условия развития этноса, при которых преимущества «русской национальности» в паспорте гражданина становились гораздо выгоднее «мордовской».

Направления политики по ассимиляции мордвы: распространение использования русского языка (преподавание в школе на русском языке (ранее преподавание велось на мордовском) [Исянгулов, 2020]), психологическое давление и недоброжелательное отношение к мордве на бытовом уровне (Результаты..., 2019–2021а) и т. д. При проведении глубинных интервью с мордвой Федоровского района были выявлены случаи психологического давления со стороны общества, что привело к желанию

скрывать свое «мордовское происхождение» у части респондентов.

Цитата из интервью: *«Всегда гордилась тем, что я мордовка. Даже тогда, когда папа сказал: “При получении паспорта напиши, что ты русская”, я отказалась. Раз я родилась мордовкой, значит я мордовка. Никогда не стеснялась, а многие так делают».*

Этноконфессиональная политика государства имеет отражение в трансформации расселения мордвы в советский период. В СНП с интенсивными социальными контактами мордвы с представителями других этносов отмечается трансформация этнической структуры населения. Так, согласно официальной статистике, Федоровка из крупного мордовского села превратилась в русско-татарское. В 1926 г. в селе проживало свыше 3 тыс. чел. мордвы, в 2010 г. – не более 700 чел.

На третьем этапе также повышается роль инфраструктурного фактора, значимость которого на прошлых этапах была меньшей. Это прежде всего связано с повышением роли сферы услуг в жизни сельского жителя (например, услуг образования и здравоохранения) вследствие государственной политики и повышения потребностей сельского населения, с возрастанием мобильности сельского населения и развитием рынка труда.

На четвертом этапе, характеризующимся стабилизацией расселения мордвы и «возвращением» к первоначальному рисунку расселения, возрастает роль факторов, связанных с наличием мест приложения труда и уровнем развития транспортной и социальной инфраструктуры. Сравнительно лучшую динамику людности демонстрируют села со статусом центра сельского поселения (Верхний Алыштан и в прошлом – Кузьминовка).

Влияние этнокультурного фактора на расселение мордвы на современном этапе сокращается. В советский период ассимиляционные процессы получили максимальное распространение вследствие урбанизации, возрастания доли межэтнических браков и изменения этнического самосознания. Это способствовало трансформации этнической структуры населения некоторых мордовских СНП Федоровского района и «выпадению» целых поколений из возрастной структуры этноса [Имангулов, Савоскул, 2021].

Дополнительно влияние этнокультурного фактора прослеживается в характерных для этноса психологических универсалиях. Среди всех универсалий наиболее выраженными согласно интервью для мордовских сельских сообществ являются «закрытость» и «индивидуализм». Это проявляется в всеобщей пассивности населения относительно инициатив и низкой социальной сплоченности, связанной со слабыми родственными связями (в отличие от татар, башкир и чувашей).

Постсоветские изменения в расселении этноса связаны в основном с динамикой людности существующих мордовских СНП.

Особенности трансформации СНП. Соотношения обозначенных выше факторов по-разному влияют на развитие мордовской деревни (табл. 2).

Из всех мордовских СНП лучшую социально-экономическую ситуацию имеют самые «старые» и по совместительству центральные села, например Верхний Алыштан.

Наиболее типичную трансформацию мордовской деревни иллюстрирует периферийное «рядовое» Алешкино.

В настоящее время Алешкино приходит в запустение: численность населения с максимума в 1201 чел. в 1926 г. сократилась до 100 чел. в 2022 г.

Алешкино – пример влияния периферийного географического положения и утраты центральности на негативную динамику развития СНП.

В настоящее время свыше 60% домов в деревне заброшено. Жилые дома в СНП двух типов: старые небольшие деревянные избы с печным отоплением и новые добротные дома с заборами и крышами из профнастила (живут «зажиточные жители», «городские дачники» или молодые семьи).

Цитата из интервью: *«Вот видишь дом хороший, крыша красивая, здесь люди работают, не пьющие. А вот домик плохой, и живет там бабка какая-то 90-летняя».*

Свыше 70% всей площади сельскохозяйственных наделов в селе заброшены – на участках растет бурьян или поросль (молодой лес) (рис. 3). Используемые в хозяйстве наделы представляют выгулы для немногочисленного крупного рогатого скота. Огороды небольшие (площадью 4–5 соток), встречаются крайне редко.

Ранее сельскохозяйственные наделы обеспечивали продовольствием всё население села (более 1 тыс. чел.) и «новых горожан» – выходцев из Алешкино. Масштабное выбытие сельскохозяйственных земель из использования отражает появление новых несельскохозяйственных источников доходов на селе (например, социальные пособия – пенсии и выплаты на детей). Современная мордовская деревня живет не за счет экологической емкости ландшафта, а трансферта ресурсов извне.

Основные группы жителей села Алешкино: «старики» (60%), «молодые семьи» (10%), «новые кулаки» (10%) и «городские дачники» (10–20%).

В первую группу («старики») входят все местные жители старше 50–60 лет (как правило, пенсионеры). Эта группа жителей – основа современного мордовского села – способствует сохранению традиционного мордовского села – пожилые чаще проживают в старых избах, возделывают огороды, являются носителями мордовской культуры и языка.

Таблица 2

Трансформации мордовских СНП

Факторы трансформации	Верхний Алыштан	Кузьминовка	Алешкино	Булякай
Географическое положение	Периферийное	Центральное	Периферийное	Периферийное
Время основания	1814	1795	1777	1850–1900
Род СНП	Село	Село	Село	Деревня
Этническая структура населения	Мордва (эрзяне) 69%	Мордва (мокша) >70%	Мордва (эрзяне) 79%	Мордва (мокша) 34%
Людность (фактическая), кол-во чел. на 2022 г.	240	300–400	120–150	28
Динамика людности, 2010 г. к 1926 г.	–26%	–70%	–81%	–91%
Сельское поселение	Булякаевское	Федоровское	Гончаровское	Булякаевское
Административный статус	Центр поселения	Населенный пункт (в прошлом – центр)	Населенный пункт	Населенный пункт
Доля семей с детьми до 18 лет	23%	26%	10%	4%
Заброшенных домов	35%	48%	62%	70%
Заброшенных с.х. угодий в СНП	>70%	>60%	>70%	>80%
Факторы трансформации СНП	Позиционный, миграционный, институциональный	Позиционный	Позиционный, инфраструктурный, миграционный	Экологический, миграционный

Источник: составлено автором по данным глубинных интервью и [Население..., 2013; Спутниковые..., 2022].



Рис. 3. Заброшенные и используемые земли в деревне Алешкино и ее окрестностях.

Источник: составлено автором по глубинным интервью, похозяйственной книге д. Алешкино и данным [Спутниковые..., 2022]

Fig. 3. Abandoned and developed lands in the village of Alyoshkino and its surroundings. Source: compiled by the author according to in-depth interviews, household book of the village of Aleshkino and data [Sputnikovye..., 2022]

Доля «молодых семей» в мордовских деревнях крайне низкая. Как правило, это те жители села, которые имеют детей, не достигших совершеннолетия или зависимых от родителей в финансовом отношении. Это основа трудового потенциала мордовской деревни. Взрослые могут работать на ферме и в бюджетных организациях, участвовать в отходничестве. Многие имеют личные подсобные хозяйства.

Третья группа жителей («новые кулаки») представлена местными жителями разного возраста, отличительный признак – повышенное благосостояние. Эта группа жителей отчетливо обозначена в сознании местных жителей. Чаще всего это фермеры, которые имеют свою технику, скотину, большие земельные наделы.

Цитата из интервью: «Вон Вася не переживает, что колхозов нет. Держит коров. Почему не переживает? Потому что у него свое хозяйство, что хочет то и делает».

Последняя группа («городские дачники») представлена выходцами из деревни. Это как дети и внуки, приезжающие погостить к «старикам» на лето, так и успешные выходцы из села, имеющие новые добротные дома в деревне. Они помогают вести хозяйство родителям, часто принимают участие в сезонных работах, но проживают в селе сезонно.

Цитата из интервью: «Там приезжают из Москвы, из Севера. Они богатые там очень. Им тут очень нравится. Они говорят: “Мы не поедem на юг, мы поедem в деревню”».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ трансформации расселения мордвы выявил эволюцию факторов от тех, что связаны непосредственно с *характеристиками территории* (географический, экологический и др.) к тем, что связаны с *влиянием внешних факторов*, возрастанием потребностей населения и глубинной «природой» человека (этнокультурный, миграционный и др.). Помимо универсальных факторов трансформации сельского расселения в России, значительное влияние на мордовскую деревню в XX в. в сравнении с другими этносами оказали *институциональный и этнокультурный факторы*.

Если на первых этапах трансформации расселения мордвы *этнокультурный фактор* положительно повлиял на стремительное «разрастание» сети расселения (высокая рождаемость, особый тип хозяйствования), то в советский период усиление ассимиляционных процессов приводит к изменениям в установках населения (например, миграционных) и, наоборот, к «сжатию» этнического ареала мордвы.

Действие *институционального фактора* в том числе проявляется через распространение использо-

вания русского языка в религиозной сфере, системе образования и производстве. Это определило возрастание доли смешанных браков с русскими в советский период и большие «выгоды» / меньшие издержки от русской идентичности при самоопределении, что привело к отказу части этноса от мордовской.

Общее сокращение численности мордвы и изменение этнической структуры населения мордовских сельских населенных пунктов в Федоровском районе в XX в. является следствием *взаимного усиления* институциональных, экономических, этнокультурных и психологических факторов в трансформации сельского расселения.

В позднесоветский и постсоветский периоды на первый план выходят факторы, связанные с *объективными преимуществами* сельского населенного пункта (положение и мера центральности). «Периферийность» расселения мордвы, являющаяся на раннем этапе преимуществом, негативным образом сказывается на современном развитии большинства мордовских населенных пунктов в связи с удаленностью большинства из них и расположением в лесистых, с более низким плодородием почв местностях района.

Феномен исчезающей мордовской деревни демонстрирует *низкую устойчивость* этноса к глобальным изменениям (к процессам урбанизации, инновациям и т. д.) в сравнении с другими этносами (например, с русскими), что требует более детального анализа при учете объективных социально-экономических характеристик этноса (расселение, субэтническая неоднородность и т. д.).

Отчасти это связано с доминирующими психологическими универсалиями, обусловленными особенностями исторического развития и расселения этноса [Козлов, 1960]. С другой стороны, низкая сила социального капитала мордовских сельских сообществ, проявляющаяся в специфических психологических установках и в нарушении преемственности между поколениями, обусловлена в том числе *экономическими факторами развития села*. То есть влияние факторов на развитие мордовской деревни *взаимосвязанное*.

Постсоветское развитие мордовской деревни сопряжено с процессами *депопуляции* и соответственно «сжатия» *сельского пространства*.

Обозначенная социальная структура мордовской деревни иллюстрирует ее соответствие региональным особенностям развития сельской местности в Нечерноземье: преимущественно пожилая структура населения, слабо развитое фермерство и появление *городских дачников* (отличие от Нечерноземья: дачники в мордовской деревне – выходцы из сельского населенного пункта), как возможного импульса развития села.

Благодарности. Исследование проведено при финансовой поддержке РНФ (проект № 21-17-00112).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.И. Многоликая деревня (население и территория). М.: Мысль, 1990. 266 с.
- Булкин А.А. Географическая разобщенность и субэтнотопонимы карел: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2005. 23 с.
- Имагулов Л.Р., Максименко М.Р., Савоскул М.С., Сафронов С.Г. Влияние этнокультурного фактора на эволюцию сельского расселения на примере полиэтнических районов Башкирии и Марий Эл // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 1. С. 109–119.
- Имагулов Л.Р., Савоскул М.С. Этнические процессы и трансформация сельского расселения в сельской местности Башкирии (на примере Федоровского района) // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2021. № 3. С. 55–66.
- Исянгулов Ш.Н. Возвращаясь к истокам родной земли. Из истории Федоровского района Республики Башкортостан. Уфа, 2020. 320 с.
- Киржаева В.П. Становление и развитие системы обучения русскому языку мордвы во второй половине XVIII – начале XX века: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. Нижний Новгород, 2005. 44 с.
- Козлов В.И. К вопросу об изучении этнических процессов у народов СССР. Опыт исследования на примере мордвы // Советская этнография. 1961. № 4. С. 58–73.
- Козлов В.И. Расселение мордвы (исторический очерк) // Труды Мордовской этнографической экспедиции. Вып. 1. Вопросы этнической истории мордовского народа. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 256 с.
- Логинова Н.Н., Жулина М.А. Финно-угорские народы мира и России: геодемографический аспект // Финно-угорский мир. 2011. № 2–3. С. 75–81.
- Манаков А.Г., Потапова К.Н. Изменение территории расселения сету с середины XIX в. по настоящее время // Псковский регионологический журнал. 2013. № 16. С. 117–126.
- Манаков А.Г., Теренина Н.К. Территориальное развитие прибалтийско-финских народов, разделенных государственными и административными границами (на примере карел, вепсов и сету) // Балтийский регион. 2015. № 1(23). С. 127–142. DOI: 10.5922/2074-9848-2015-1-8.
- Население Республики Башкортостан по данным Всероссийской переписи населения 2010 г.: стат. сб. Уфа: Башкортостанстат, 2013. 222 с.
- Нефедова Т.Г. Десять актуальных вопросов о сельской России: ответы географа. М.: УРСС, 2012. 452 с.
- Румянцев И.Н., Смирнова А.А., Ткаченко А.А. Сельские населенные пункты «без населения» как географический и статистический феномен // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2019. № 1. С. 29–37.
- Стогова Л.Л. Ижорская земля – Ингерманландия: освоение и этногеографические процессы: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2006. 22 с.
- Antonian V., Vavrouchová H., Lešková A., Peřínková V. Depopulation and Extinction of Villages in Moravia and the Czech Part of Silesia Since World War II, *Land*, 2021, vol. 10, p. 18.
- Kučerová S., Kučera Z. Historical geography of persistence, destruction and creation: The case of rural landscape transformations in Czechia's resettled borderland, 2012, vol. 38, p. 165–184.
- Latocha A. Modern transformation of deserted settlements in the Sudetes Mountains, SW Poland, *GeoScape*, 2020, vol. 14(2), p. 80–95.
- Mitchell C. Creative Destruction or Creative Enhancement? Understanding the Transformation of Rural Spaces, *Journal of Rural Studies*, 2013, vol. 32, p. 375–387.
- Электронные ресурсы*
- Всероссийские переписи населения по Республике Башкортостан 2002 и 2010 гг. // Переписи населения. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/perepisi_naseleniya (дата обращения 05.04.2021).
- Всесоюзные переписи населения по Башкирской АССР 1926, 1937, 1939, 1959, 1970, 1979 и 1989 гг. // Итоги переписей. URL: <https://www.statmuseum.ru/ru/results/> (дата обращения 05.04.2021).
- Спутниковые изображения сельских населенных пунктов Федоровского района // Google Планета Земля. URL: <https://earth.google.com> (дата обращения 30.09.2022).

Поступила в редакцию 18.11.2022

После доработки 10.01.2023

Принята к публикации 22.02.2023

TRANSFORMATION OF MORDOVIAN VILLAGES IN BASHKIRIA: GEOGRAPHICAL ANALYSIS

L.R. Imangulov

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia,
Master's student; e-mail: linar.imangulov.1999@mail.ru*

At the beginning of the 20th century the Mordovian villages in the Fedorovsky district of the Bashkortostan Republic were characterized by the maximum growth rates and population density among settlements with

another ethnic structure of the population. During the 20th century, the average population of Mordovian villages in the district decreased by 79%, and many of the settlements disappeared. High rates of depopulation of Mordovian villages within zone with favorable agro-climatic conditions have no analogues among villages with another ethnic structure of the population. The article provides a geographical analysis of a rapid growth of the Mordvins ethnic area in the 18–19th centuries and its reduction in the 20th century. Specific features of the development of Mordovian villages influenced by natural conditions (attraction to water sources and forest areas), the “periphery of settlement”, the peculiarities of the economic structure (gardening) and dominant psychological universals (closeness, individualism, etc.) are discussed. The evolution of factors driving the transformation of Mordovian villages at different stages of its development is described. The main factors of the “Mordovian village crisis” in the 20th–21st centuries – migration, institutional, economic and ethno-cultural, are identified. To demonstrate the scope of settlement transformation, a modern schematic map of the Alyoshkino (typical Mordovian) village has been compiled showing inhabited and inoccupied homesteads, abandoned and developed territories. Based on the results of in-depth interviews and characteristics of the population, the main groups of residents of the modern Mordovian village are identified: “old people”, “young families”, “new kulaks (farmers)” and “urban cottagers”.

Keywords: geography of rural areas, rural settlement, factors of village transformation, rural communities, assimilation, the Mordovians, Bashkortostan

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 21-17-00112).

REFERENCES

- Alekseev A.I. *Mnogolikaja derevnja (naselenie i territorija)* [The many-faced village (population and territory)], Moscow, Mysl' Publ., 1990, 266 p. (In Russian)
- Antonán V., Vavrouchová H., Lešková A., Peřínková V. Depopulation and Extinction of Villages in Moravia and the Czech Part of Silesia Since World War II, *Land*, 2021, vol. 10, p. 18.
- Bulkin A.A. *Geograficheskaja razobshhennost' i subyektosy karel* [Geographical isolation and subethnoses of the Karelians], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, St. Petersburg, Russian St. Pedagogical Un-ty, A.I. Herzen Un-ty, 2005, 23 p. (In Russian)
- Imangulov L.R., Maksimenko M.R., Savoskul M.S., Safronov S.G. Vliyanie jetnokul'turnogo fak-tora na jevoljuciju sel'skogo rasselenija na primere polijetnichnyh rajonov Bashkirii i Marij Jel [The influence of ethnocultural factor on the evolution of rural settlement patterns (case study of the polyethnic regions of Bashkiria and Mari El)], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 1, p. 109–119. (In Russian)
- Imangulov L.R., Savoskul M.S. Etnicheskie processy i transformacija sel'skogo rasselenija v sel'skoj mestnosti Bashkirii (na primere Fedorovskogo rajona) [Ethnic processes and transformation of rural settlement in rural areas of Bashkiria (case study of the Fedorovsky district)], *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2021, no. 3, p. 55–66. (In Russian)
- Isjangulov Sh.N. *Vozvrashajas' k istokam rodnoj zemli. Iz istorii Fedorovskogo rajona respub-lik Bashkortostan* [Returning to the origins of the native land. From the history of the Fedorovsky district of the Republic of Bashkortostan], Ufa, 2020, 320 p. (In Russian)
- Kirzhaeva V.P. *Stanovlenie i razvitie sistemy obuchenija russkomu jazyku mordvy vo vtoroj po-lovine XVIII – nachale XX veka* [Formation and development of the system of teaching Russian language to the Mordovians in the second half of the 18th – early 20th century], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Pedagogy, Nizhniy Novgorod, Nizhegor. gos. ped. un-t, 2005, 44 p. (In Russian)
- Kozlov V.I. [Settlement of the Mordvins (historical essay)], *Voprosy etnicheskoy istorii mordovskogo naroda. Trudy mordovskoy etnograficheskoy ekspedicii*, vyp. 1 [On the ethnic history of the Mordovian people. Proceedings of the Mordovian ethnographic expedition, iss. 1], Moscow, AN SSSR Publ., 1960, no. 1, 256 p. (In Russian)
- Kozlov V.I. K voprosu ob izuchenii jetnicheskikh processov u narodov SSSR. Opyt issledovaniya na primere mordvy [On the study of ethnic processes among the peoples of the USSR], *Sovetskaja etnografija*, 1961, no. 4, p. 58–73. (In Russian)
- Kučerová S., Kučera Z. Historical geography of persistence, destruction and creation: The case of rural landscape transformations in Czechia's resettled borderland, *Historická Geografie*, 38/1, 2012, p. 165–184.
- Latocha A. Modern transformation of deserted settlements in the Sudetes Mountains, SW Poland, *GeoScape*, 2020, vol. 14(2), p. 80–95.
- Loginova N.N., Zhulina M.A. Finno-ugorskie narody mira i Rossii: geodemograficheskij aspekt [Finno-Ugric peoples of the world and Russia: geodemographic aspects], *Finno-ugorskij mir*, 2011, no. 2–3, p. 75–81. (In Russian)
- Manakov A.G., Potapova K.N. Izmenenie territorii rasselenija setu s serediny XIX v. po nastojashhee vremja [Changes in the territory of settlement of Setu from the middle of the 19th century to the present time], *Pskovskij regionologicheskij zhurnal*, 2013, no. 16, p. 117–126. (In Russian)
- Manakov A.G., Terenina N.K. Territorial'noe razvitie pribaltijsko-finskih narodov, razdelennyh gosudarstvennymi i administrativnymi granicami (na primere karel, vepsov i setu) [Territorial development of the Baltic-Finnish peoples separated by state and administrative borders (case study of Karelians, Veps and Setu)], *Baltiiskij region*, 2015, no. 1(23), p. 127–142, DOI: 10.5922/2074-9848-2015-1-8. (In Russian)
- Mitchell C. Creative Destruction or Creative Enhancement? Understanding the Transformation of Rural Spaces, *Journal of Rural Studies*, 2013, vol. 32, p. 375–387.
- Naselenie Respubliki Bashkortostan po dannym Vserossijskoj perepisi naselenija 2010 g., stat. sb.* [Population

- of the Republic of Bashkortostan according to the 2010 All-Russian Population Census, stat. collection], Ufa, Bashkortostanstat, 2013, 222 p. (In Russian)
- Nefedova T.G. *Desjat' aktual'nyh voprosov o sel'skoj Rossii: otvety geografa* [Ten topical questions about rural Russia: geographer's answers], Moscow, URSS Publ., 2012, 452 p. (In Russian)
- Rumjancev I.N., Smirnova A.A., Tkachenko A.A. Sel'skie naselennye punkty "bez naselenija" kak geograficheskij i statisticheskij fenomen [Rural settlements "without population" as a geographical and statistical phenomenon], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2019, no. 1, p. 29–37. (In Russian)
- Stogova L.L. *Izhorskaja zemlja – Ingermanlandija: osvoenie i etnogeograficheskie processy* [Izhora Land – Ingermanland: development and ethnogeographic processes], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, St. Petersburg, RSPU named after A.I. Herzen, 2006, 22 p. (In Russian)
- Web source*
- Sputnikovye izobrazhenija sel'skih naselennyh punktov Fedorovskogo rajona, Google Planeta Zemlja [Satellite images of rural settlements of the Fedorovsky district, Google Earth], URL: <https://earth.google.com> (data access 30.09.2022). (In Russian)
- Vserossiyskiye perepisi naseleniya po Respublike Bashkortostan 2002 i 2010 gg. [All-Russian population censuses in the Republic of Bashkortostan in 2002 and 2010], *Perepisi naseleniya. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki* [Population censuses. Federal State Statistics Service], URL: https://rosstat.gov.ru/perepisi_naseleniya (data access 05.04.2021).
- Vsesoyuznyye perepisi naseleniya po Bashkirkoy ASSR 1926, 1937, 1939, 1959, 1970, 1979 i 1989 gg. [All-Union population censuses for the Bashkir ASSR in 1926, 1937, 1939, 1959, 1970, 1979 and 1989], *Itogi perepisey* [Census results], URL: <https://www.statmuseum.ru/ru/results/> (data access 05.04.2021).

Received 18.11.2022

Revised 10.01.2023

Accepted 22.02.2023

СОВЕТСКИЙ ПРОЕКТ ПО ПРЕОБРАЗОВАНИЮ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ДЕРЕВНИ ВЕРХНЯЯ ТРОИЦА ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Смирнова¹, Д.М. Виноградов²

^{1, 2} Тверской государственный университет, факультет географии и геоэкологии,
кафедра социально-экономической географии и территориального планирования

¹ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: alpresents@mail.ru

² Аспирант; e-mail: dmvinogradov@edu.tversu.ru

Статья посвящена анализу изменений, вызванных советскими проектами по преобразованию сельской местности, рассмотренных на примере одного населенного пункта Тверской (бывшей Калининской) области. Исследуемая деревня Верхняя Троица была отнесена в 1970-е гг. XX в. к числу «перспективных», она также вошла в небольшое число селений, выбранных в качестве «экспериментально-показательных». Одной из причин пристального внимания к деревне со стороны советских властей стал тот факт, что это была родина известного политического деятеля М.И. Калинина. На основе статистических данных, краеведческих материалов и собственных полевых исследований были составлены «портреты» Верхней Троицы для каждого из четырех выделенных этапов – дореволюционного, довоенного, позднесоветского и современного. Показана двойственность последствий от реализованных в советское время проектов, которые, с одной стороны, превратили рядовую деревню в крупный сельский центр, с другой – оставили в наследство не соответствующие современным потребностям производственные и социальные объекты.

Ключевые слова: Нечерноземье, перспективные сельские населенные пункты, экспериментально-показательные поселения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.12

ВВЕДЕНИЕ

Историю крупномасштабных социо-географических исследований деревни традиционно ведут с работ П.П. Семенова-Тян-Шанского («Мураевенская волость») и его дочери Ольги Петровны («Жизнь Ивана») [Семенов, 1880; Семенова-Тян-Шанская, 1914]. Благодаря недавним работам А.И. Алексеева с соавторами [Алексеев и др., 2020; Смирнов и др., 2020; Савоскул, Алексеев, 2021; Прусихин и др., 2022] можно составить целостное представление о том, как развивались «монографические исследования деревни» в советский и постсоветский периоды. В работах, построенных на материалах по одной или нескольким деревням, можно выделить два направления, одно из которых зачастую выбирает автор в зависимости от его специализации и интересов. Во-первых, это исследования деревни, крестьянского быта, сельского образа жизни *in situ*, само по себе. Очевидно, что это «поле» социологов, в первую очередь крестьяноведов, продолжающих традиции Т. Шанина. Во-вторых, деревня исследуется через призму определенной темы. Ведущие факторы трансформации сельской местности, миграционная подвижность сельского населения, распространенность дачного освоения – в таких работах сельский населенный пункт выступает как

один из территориальных уровней, на котором рассматривается изучаемое явление.

В данном исследовании на примере одной деревни предпринята попытка оценить советские преобразования сельской местности, происходившие в 1970-е гг. Об итогах этой политики, которая предполагала деление всех сельских населенных пунктов (СНП) на перспективные и неперспективные, во всей Тверской (бывшей Калининской) области сказано ранее [Смирнов и др., 2021]. В частности показано, что, несмотря на составляемые государством планы по реконструкции сельского расселения и ликвидации многих деревень, сеть СНП оказалась довольно устойчивой, а в ее изменении большую роль сыграли «естественные» причины – миграция из села в город и старение остающегося населения.

Масштабное осмысление роли государственных проектов в «улучшении человеческой жизни» принадлежит американскому антропологу и социологу Дж. Скотту [2005], который на примере множества кейсов – от деревень Танзании до колхозов СССР – показал основные причины неудач директивных планов по преобразованию городских и сельских укладов.

Историю конфликтов и противостояния идей некоторых аграрных мыслителей, живших в разные годы, и власти, принимающей противоречи-

вые меры по развитию села, можно найти в книге А.М. Никулина [2014]. В частности, один из очерков посвящен научному наследию Т.И. Заславской, с именем которой безосновательно связывали ошибки многих советских сельских программ развития, в том числе – упомянутого выше плана по созданию нового расселения за счет сселения жителей из неперспективных деревень.

Несоответствие и невозможность выполнения преобразовательных планов в условиях Нечерноземной зоны показаны в работе А.И. Алексеева [1988]. Этот регион являет собой «полигон» социально-экономических проблем, обусловленных сочетанием природных, исторических и экономических условий [1988, с. 154]. Густая сеть мелких деревень, сложившаяся в условиях выборочного освоения, не отвечала советским установкам на укрупнение. Как итог, в 2010 г. сеть сельского расселения в Нечерноземье насчитывала более 80 тыс. СНП (вместо 29 тыс., предложенных в 1975 г.).

Помимо сохранения большого числа деревень, названных «неперспективными», еще одним проявлением ошибочности проводившихся мер является кризис тех СНП, что были отнесены к «перспективным». случаев полного упадка и исчезновения таких СНП немного. Гораздо ярче и чаще в них проявляется другая проблема – это инфраструктурное бремя, оставшееся в наследие от периода интенсивного строительства, когда они были названы «перспективными». Именно такой случай представляет собой Верхняя Троица, выбранная в качестве примера, демонстрирующего следствия государственных решений в судьбе одной деревни.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Историко-географический анализ социально-экономических и пространственных изменений, происходивших в Верхней Троице на протяжении полутора веков, построен на нескольких источниках. Представление о дореволюционном состоянии деревни базируется на анализе земской статистики [Сборник..., 1893]. Информации о первых десятилетиях советского периода крайне немного, описание Верхней Троицы 1930–1950-х гг. составлено на основе краеведческих ресурсов. Трансформация деревни в ходе масштабного позднесоветского строительства отражена в проектах, опубликованных Стройиздатом [Елин, 1984]. Камеральная работа с указанными материалами была дополнена собственными полевыми наблюдениями и интервью с краеведами и представителями власти, проведенными летом 2022 г. На основе сопоставления современных космических снимков со схемами, составленными на разные годы, сделаны выводы о территориальном развитии деревни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Верхняя Троица до революции. К концу XIX в. Верхняя Троица представляла собой средний по меркам Тверской губернии населенный пункт. Деревня располагалась на периферии Корчевского уезда, в Яковлевской волости, на правом берегу реки Медведицы, которая служила границей с Кашинским уездом. В Троице насчитывала 47 дворов, где проживали 270 человек (по данным на 1887 г.). Почвы в этих местах – дерново-подзолистые супесчаные [Атлас..., 1964], как следствие, «урожаи плохи, сеется греча, но родится плохо» [Сборник..., 1893, с. 50]. Окружающие территории были частично заболочены. Река Медведица разделяла земли не только в административном отношении, но и в природном – менее освоенное и более залесенное и заболоченное правобережье Корчевского уезда и более заселенная и благоприятная в сельскохозяйственном отношении Кашинская сторона.

Верхняя Троица располагалась довольно обособлено. До ближайшего к деревне населенного пункта – сельца Тетьково – было около 2 км. В силу своей удаленности и отсутствия собственных социальных объектов (в деревне функционировали лишь две маслобойни) значимым сельским центром для жителей В. Троицы было село Матино Кашинского уезда. Расстояние между пунктами составляло чуть более 6 км. Оно являлось центром церковного прихода, там работала своя земская школа, трактир, две мелочные лавки [Сборник..., 1894].

Таким образом, малоплодородные почвы, размещение вдали от основных дорог и центров, а также редкая сеть СНП в округе не позволяют назвать В. Троицу центром расселения, а также дают основание предполагать, что материальное положение крестьян В. Троицы было низким. Это подтверждается и статистически.

Т. Шанин [2019], описывая разные подходы к оценке социально-экономической дифференциации крестьян начала XX в., отмечал ценность земской статистики, позволяющей проводить разные социальные исследования. При этом вопрос об индикаторах, показывающих расслоение крестьянства в целом, оставался до конца не решенным. Возникшее после революции Центральное статистическое управление главными индикаторами материального положения крестьянских дворов считало площади посевных земель и количество лошадей на одну семью [2019, с. 99].

Для дореволюционного периода Т. Шанин привел данные о размерах земельных наделов и количестве лошадей в крестьянских хозяйствах европейской части России из источников 1905 и 1912 гг. соответственно [2019, с. 93]. Сопоставление пока-

зателей по В. Троице со среднероссийскими продемонстрировало ее относительную бедность. Средний размер земельного надела составил здесь менее пяти десятин, при этом крестьянских хозяйств, владеющих тремя наделами и более, было всего пять (из 38). 17 дворов не имели ни одной лошади, в 15 из них не было также и коровы. В деревне был широко распространен отход крестьян на заработки в город. В отхожих промыслах были заняты представители 22 семей В. Троицы, в основном, мужчины [Сборник..., 1893, с. 125].

Таким образом, В. Троица до революции представляла собой периферийный, средний по численности населения и слабый в экономическом отношении населенный пункт, расположенный в живописном месте – на высоком берегу реки Медведицы.

Верхняя Троица в середине XX в. Информации о жизни В. Троицы в первые десятилетия советской власти немного. Как и по всей стране, здесь шел процесс коллективизации, в деревне был образован колхоз, названный именем М.И. Калинина – уроженца В. Троицы, видного советского деятеля, соратника В.И. Ленина. С его помощью связывают главные преобразования деревни в 1930–1940-е гг. В дальнейшем открытия новых объектов, как правило, были приурочены к юбилеям М.И. Калинина.

М.И. Калинин был избран почетным председателем местного колхоза, газета «Колхозный строй» освещала приезд «всесоюзного старосты» на открытие народного дома в 1930 г. Позднее в деревне был создан мемориальный музей. По воспоминаниям старожилов, благодаря содействию М.И. Калинина была открыта больница в д. Посады и построена новая школа в В. Троице. Усадьба Тетьково была превращена в базу отдыха, что позволило сохранить дореволюционные строения. Еще до Великой Отечественной войны через В. Троицу была проложена автогужевая дорога, связавшая Горицы и Кашин.

Укрупнение колхозов шло на протяжении нескольких десятилетий. Считалось, что увеличение размеров хозяйства приведет к уменьшению стоимости производства [Скотт, 2005, с. 313]. Однако подобная «промышленная» организации сельскохозяйственного производства больше решала задачи управления и политического контроля, чем повышения производительности [Там же]. В первые годы колхоз им. Калинина включал две деревни – В. Троицу и Посады. В 1949 г. в его состав вошли еще два СНП. В 1956 г. был присоединен колхоз им. Заонегина, куда входили четыре деревни, в 1961 г. – колхоз «Свобода» с восемью деревнями. Таким образом, в начале 1960-х гг. в преобразованный колхоз им. М.В. Калинина помимо В. Троицы

входили еще 15 деревень. В апреле 1965 г. путем объединения двух крупных колхозов с центрами в В. Троице и в д. Матино был организован совхоз «Верхнетроицкий», который просуществовал до начала 2000-х гг.

Согласно переписи 1959 г., в В. Троице проживали 229 человек. На сокращение численности населения, по сравнению с дореволюционными показателями, повлияли демографические кризисы начала XX в. Дальнейший рост людности, особенно к концу 1970-х гг., обусловлен административными мерами и превращением В. Троицы в экспериментально-показательное селение Калининской области.

С одной стороны, развитие В. Троицы до 1970-х гг. было схоже с сотнями и даже тысячами других деревень Нечерноземья. Коллективизация, чуждая не только крестьянскому духу, но и природным особенностям этих мест, сопровождалась нехваткой трудовых ресурсов и низким уровнем механизации. Великая Отечественная война, несмотря на то что территория не была оккупирована, привела к сокращению в первую очередь мужского населения и упадку хозяйства. С другой стороны, на судьбу деревни, ее облик и функции в значительной степени повлиял тот факт, что это была родина видного коммунистического деятеля.

Верхняя Троица – образцово-показательная деревня 1970–1980-х гг. Согласно списку перспективных СНП 1976 г., новая сеть расселения Калининской области должна была включить чуть более 1000 деревень (из почти 11 тыс. существовавших в то время). Среди названных тогда перспективными значилась и В. Троица. Однако при общей несбыточности проектов и невыполнении планов по сселению исследуемая деревня – один из тех случаев, где совершенные преобразования были очень (некоторые – даже слишком) заметны.

Самым ярким примером сельского социалистического строительства на территории области является д. Малое Василево Кимрского района, численность населения которой в результате реализации советского проекта возросла более чем в 40 раз за период с 1959 по 1979 г. – с 37 до 1639 жителей. Традиционно в ряду экспериментально-показательных селений называют д. Большие Борки Калининского района. Как и в других случаях, здесь применялись многие передовые на тот момент технологии в строительстве жилых домов, были реализованы новые проекты социальных объектов и производственных комплексов [Хихлуха и др., 2005].

В декабре 1972 г. Госстроем РСФСР был одобрен генеральный план В. Троицы как экспериментально-показательного поселка. В Калининской области преобразование деревни стало ударной комсомольской стройкой. Первая очередь реконструкции

была завершена к октябрю 1975 г. – в год столетия со дня рождения М.И. Калинина. В 1977 г. на Всесоюзном смотре-конкурсе на лучшую застройку и благоустройство сел В. Троица была отмечена дипломом первой степени, архитекторы и инженеры удостоены премии Совета Министров СССР. Проект был опубликован в серии «Лучшие села нашей Родины», отдельные выдержки из него – в учебниках по архитектуре и градостроительству [Планировка и застройка..., 1980].

В результате активного строительства в В. Троице к середине 1970-х гг. появились административно-торговый центр с магазинами, столовой, почтой и медпунктом, школа на 624 учащихся с интернатом, дом культуры на 400 мест и гостиница на 70 мест. Произошли серьезные изменения в жилой застройке – в дополнение к традиционным деревянным домам были построены кирпичные одно-, двух- и трехэтажные дома. Некоторые проекты реализовывались здесь впервые. При столь масштабной реконструкции часть прежних строений были перенесены на новые места, некоторые – разобраны.

В результате облик деревни изменился коренным образом. Архитектурной доминантой стала семиэтажная гостиница, расположенная в самой высокой точке деревни. По задумке проектировщиков, она должна была выполнять ту же роль, что и церкви в селах в дореволюционное время, возвышаясь над окружающим ландшафтом и выступая пространственным ориентиром для проживающего в округе населения.

Одновременно с преобразованием деревни шло развитие производственных мощностей совхоза «Верхнетроицкий». К 1972 г. в В. Троице функционировал свиноводческий на 500 голов, в других деревнях работали фермы, автотракторный парк насчитывал 36 автомобилей, 49 тракторов. В 1973–1974 гг. построены новые механизированные комплексы для крупного рогатого скота, свиней и овец.

К середине 1980-х гг. совхоз имел три коровника на 800 голов, телятник на 200, овчарню – на 2000, два свиноводческих – на 2000, три зернохранилища, теплично-парниковое хозяйство, цех витаминной муки, овощехранилище и собственный молокозавод, в автотракторном парке – 80 тракторов и 9 зерноуборочных комбайнов. Земельные владения совхоза насчитывали почти 7 тыс. га, из которых 5 тыс. составляли сельхозугодья (из них почти 3 тыс. га – пашня). Основное направление – мясо-молочное.

Однако по сохранившимся воспоминаниям работников вырисовывается не столь благополучная картина состояния дел в совхозе в годы последних пятилеток [Бардашов, 2009]. Новые фермы и рост поголовья требовали увеличения кормовых пло-

щадей за счет мелиорирования земель и, как следствие, больших вложений. Необходимые работы не были выполнены в нужном объеме, есть сведения о том, что солому доставляли по железной дороге на ст. Кашин из Волгоградской области, куда отправлялись местные механизированные бригады. Можно только представить себестоимость заготовки таких кормов.

Бедность почв не позволяла достигать высокой урожайности даже при том уровне механизации, который имел совхоз благодаря своему «образцово-показательному статусу». За 1983–1986 гг. урожайность зерновых составила в среднем около 15,6 ц/га.

Уже тогда остро стояла проблема сохранения молодых кадров в сельскохозяйственном производстве. Описывая трудовые подвиги одной из работниц совхоза, В.Х. Бардашов [2009] отмечал, что ее дочь уже не планировала работать в животноводческом производстве, а из выпускников школы ежегодно решали связать свою жизнь с совхозом не больше трех человек.

Постсоветская жизнь Верхней Троицы.

В 1990-е гг. при отсутствии прежней господдержки совхоз практически прекратил свое существование. В первые постсоветские годы он был преобразован в учебную базу Кашинского зооветтехникума, затем – в сельхозкооператив. К началу 2000-х гг. в бывшем образцово-показательном совхозе «Верхнетроицкий», победителе Всесоюзного социалистического соревнования работников сельского хозяйства, оставалось 150 голов крупного рогатого скота и 2 трактора.

Помимо упадка сельскохозяйственного производства в В. Троице и окрестностях постсоветский период характеризуется другим направлением трансформации сельской местности – развитием природно-рекреационной функции. Благодаря близости к Московской области и наличию ценного природного объекта – р. Медведицы – окружающие территории стали особенно привлекательны для московских рекреантов. Эти места приобрели известность не только у горожан, но и у крупного бизнеса, решившего развивать здесь свою деятельность. Здесь появилось крупное охотхозяйство и база отдыха с конноспортивным комплексом «Медведица». В середине 2000-х гг. на бывших фондах совхоза организован конезавод с племенной специализацией по выведению лошадей башкирской породы (ООО «Снайп»).

Инфраструктура деревни также претерпела существенные изменения. Семиэтажная гостиница, где останавливались иностранные делегации из Чехословакии, Сирии и других дружественных СССР стран, закрылась. Из-за отсутствия отопления в огромном (даже по меркам советских

проектов) здании Дома культуры мероприятия не проводятся. Для этого местные коллективы используют площадки в школе или библиотеке. В запустении находятся и многие строения, где раньше располагались объекты торгового и бытового обслуживания.

Многоквартирный жилой фонд представляет собой самое массовое напоминание о масштабной реконструкции В. Троицы 1970-х гг. В сельской местности многоквартирные дома, доставшиеся в наследство от советских проектов по улучшению сельской жизни и приближению ее к городским стандартам, являются инфраструктурным бременем для местных властей. Для жильцов жизнь в та-

ких домах сопряжена со многими неудобствами и общей маргинализацией образа жизни [Богданова, 2013]. В В. Троице многоквартирные дома разных типов сохранились в хорошем состоянии. Одна из причин этого, вероятно, заключается в комплексном подходе к проектированию и новых технологиях, которые применялись при их строительстве [Инженерное..., 1986].

В планировочной структуре В. Троицы четко выделяются три части – старая (включая перенесенные во время реконструкции дома) с индивидуальной деревянной застройкой, советская с кирпичными домами, современная с разнообразными образцами домостроения (рис.).

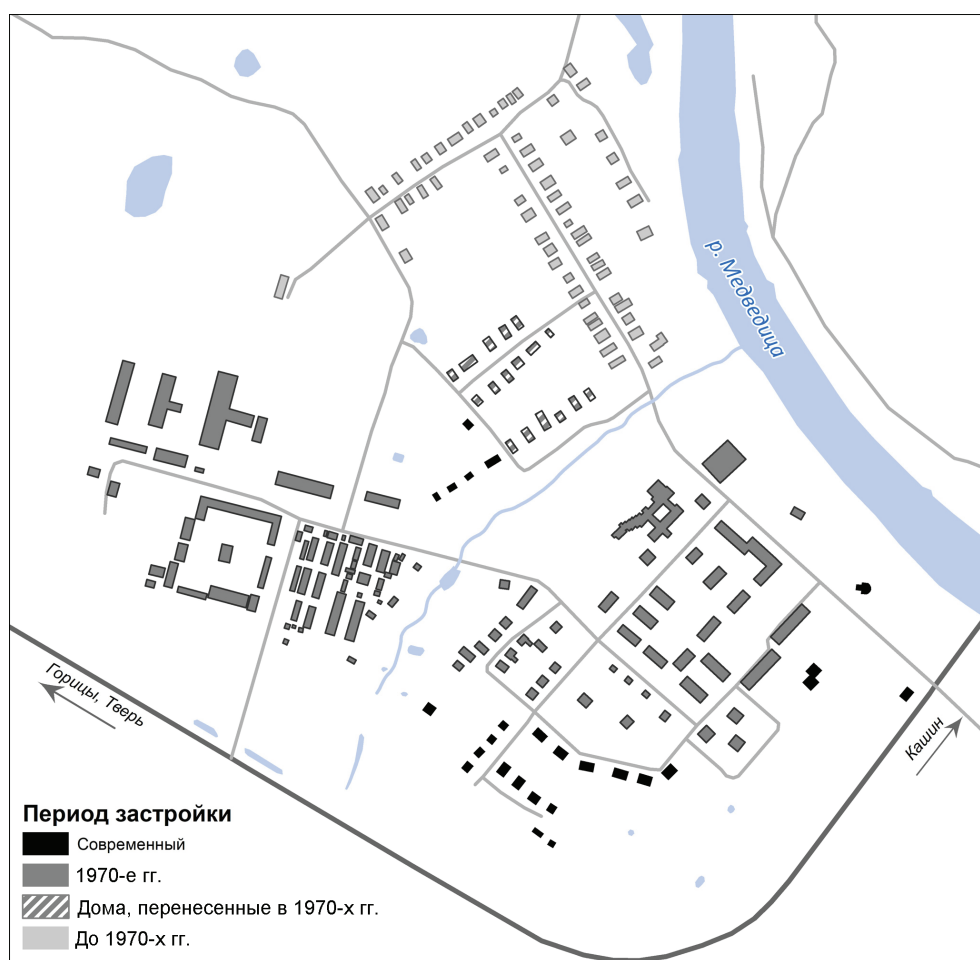


Рис. План Верхней Троицы

Fig. Scheme of the Verkhnyaya Troitsa

Жизнь В. Троицы за 150-летний рассматриваемый период условно можно разделить на четыре этапа (табл. 1). За это время она превратилась из рядовой деревни в крупный сельский центр, где появились различные объекты обслуживания. Перепись 1989 г. зафиксировала максимальную людность в В. Троице – 999 человек, к 2010 г. численность населения

сократилась почти на треть, составив около 700 человек. Сельское хозяйство играло большую роль в жизни деревни в советское время, однако в наши дни получила активное развитие рекреационная деятельность. На протяжении последних 100 лет В. Троица выполняла функции административного центра – сельсовета, сельского округа, сельского поселения.

Таблица 1

Этапы развития Верхней Троицы

Характеристики	Дореволюционный	Послевоенный	Позднесоветский	Современный
Население, чел. Объекты	277 (1889 г.) Часовня, две маслобойни	229 (1959 г.) Два магазина, дом культуры, музей, библиотека, чайная, почта, дом быта, контора колхоза, баня	999 (1989 г.) Административно- торговый центр, детский сад, ФАП, дом культуры, музей, магазин, школа с ин- тернатом, баня, гостиница, контора совхоза	601 (2021 г.) Магазины, школа, детский сад, ООО «Снайп», музей, церковь, конно- спортивный клуб, база отдыха
Основная специализация	Сельское хозяйство, отхожие промыслы	Сельское хозяйство	Сельское хозяйство	Рекреация, сель- ское хозяйство

Таблица 2

Положительные и негативные последствия советского проекта по преобразованию В. Троицы

Категории изменений	Плюсы	Минусы
Население	Высокое «качество» населения в результате приезда специалистов	Низкая укорененность населения
Инфраструктура	Обеспеченность дорогами, инже- нерными сетями, социальными объектами	Невозможность содержания многих объектов социальной инфраструктуры, несоответствие их размеров современным потребностям
Экономика	Использование мощностей совхоза как площадки для инвестиций	Невозможность повторного освоения необосно- ванных (гипертрофированных) площадей произ- водственных объектов

Попытка составить общий свод изменений В. Троицы, вызванных советскими экспериментами, показала неоднозначность многих решений, а также неочевидность их долгосрочных последствий (табл. 2).

ВЫВОДЫ

Советские планы по реконструкции сельского расселения и приближению сельского образа жизни к городскому реализовывались за счет строительства крупных производственных комплексов, многоквартирных домов и монументальных объектов обслуживания в сельской местности. Из-за нехватки ресурсов задуманное не было осуществлено в полном объеме. В наши дни отдельные элементы этого замысла (жилые дома городского типа, дома культуры, фермы и др.) в разной степени сохранности можно встретить во многих местах. Комплексные преобразовательные проекты были довольно редки. Они получали статус «образцово-показательных». Верхняя Троица – это один из немногих примеров сельских населенных пунктов Калининской области, где были осуществлены масштабные преобразования, и вслед за новым строительством увеличилась людность населенного пункта, расширились его функции.

Верхняя Троица является не только образцом экспериментального селения, где были апробированы новые технологии в строительстве и применены новые подходы в проектировании территории. Ключевую роль в ее развитии сыграл тот факт, что уроженцем этой деревни был видный государственный деятель советской эпохи М.И. Калинин. Превращение рядовой деревни в крупный сельский центр стало отчасти делом случая.

Масштабные преобразования XX в. коренным образом изменили облик СНП, усложнили их пространственную структуру. В настоящее время на смену директивному подходу в сельском строительстве пришел стихийный. Забрасывание деревенских домов происходит наряду с появлением новых строений. Верхняя Троица являет собой интересный пример, где, несмотря на длительную депопуляцию, отмечается пространственный рост, обеспечиваемый как за счет местного населения, так и дачников.

Последствия советского образцово-показательного строительства в наши дни проявляются двояко. С одной стороны, наличие инженерных коммуникаций и сохранившиеся фонды могут стать преимуществом для развития новых видов деятельности. С другой – оставшееся советское наследие в виде

гигантских запустевших социальных и производственных объектов снижает привлекательность территории. Например, заброшенная в настоящее время семиэтажная гостиница, которая была построена в 1970-е гг., является своеобразным символом «инородности» и «противоестественности» для деревни советских преобразовательных проектов.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ, проект 27-17-00112.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.И. Сельское расселение: концепции и реальность // Вопросы географии. Сб. 132. Современное село: пути развития. М., 1988. С. 144–182.
- Алексеев А.И., Васильева О.Е., Удовенко В.С. Сельский образ жизни: опыт изучения на примере малых сел Ленинградской области // Вестн. СПб. ун-та. Серия: Науки о Земле. 2020. Т. 65. № 3. С. 468–477. DOI: 10.21638/spbu07.2020.304.
- Атлас Калининской области / Главное управление геодезии и картографии. М.: ГУГК, 1964. 34 с.
- Бардашов В.Х. С берегов Медведицы: исторические хроники. Кашин, 2009. 178 с.
- Богданова Е. Антропология деревенской двухэтажки: от исследования жилища к исследованию сообщества // Вдали от городов. Повседневная жизнь постсоветской деревни / под ред. Е. Богдановой и О. Бредниковой. СПб.: Алетей, 2013. С. 105–126.
- Елин Ю.В. Верхняя Троица: об экспериментально-показательном селе совхоза «Верхнетроицкий» Кашинского района / под общ. ред. Б.П. Тобиловича. М.: Стройиздат, 1984. 56 с.
- Инженерное оборудование сел Калининской области: рекламный проспект. Калинин, 1986. 31 с.
- Никулин А.М. Аграрники, власть и село: от прошлого к настоящему. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2014. 400 с.
- Планировка и застройка сельских населенных мест в СССР / под ред. Б.А. Маханько и др. М.: Стройиздат, 1980. 296 с.
- Прусихин О.Е., Жуковский Е.Д., Крутов О.Д., Алексеев А.И. Жизнь Ивана и Ганса в XXI веке: Волчихинский район, Алтайский край // Крестьяноведение. 2022. Т. 7. № 3. С. 190–209.
- Савоскул М.С., Алексеев А.И. Траектории трансформации одной неперспективной деревни (на примере деревни Кузрека Терского района Мурманской области) // Крестьяноведение. 2021. Т. 6. № 3. С. 111–123.
- Пример В. Троицы убедительно показывает, насколько малые территории чувствительны к крупным преобразовательным проектам. Для последних особенно характерны несоразмерность проектных решений окружающему пространству и несоответствие реальным потребностям жителей.
- Сборник статистических сведений по Тверской губернии / Статистический отдел Тверской губернской земской управы. Издание Тверского губернского земства. Тверь: Типография Губернского Правления, 1893. Т. 9. Вып. 2: Корчевской уезд. 327 с.
- Сборник статистических сведений по Тверской губернии / Статистический отдел Тверской губернской земской управы. Издание Тверского губернского земства. Тверь: Типография Тверского Губернского Земства, 1894. Т. 10: Кашинский уезд. 429 с.
- Семенов П.П. Мураевенская волость // Сборник материалов для изучения сельской поземельной общины. СПб. 1880.
- Семенова-Тян-Шанская О.П. Жизнь Ивана: очерки из быта крестьян одной из черноземных губерний. СПб.: Тип. М.М. Стасюлевича, 1914.
- Скотт Дж. Благими намерениями государства. Почему и как проваливались проекты улучшения условий человеческой жизни / пер. с англ. Э.Н. Гусинского, Ю.И. Турчаниновой. М.: Университетская книга, 2005. 576 с.
- Смирнов И.П., Смирнова А.А., Ткаченко А.А. Итоги проведения политики сселения малых деревень в Нечерноземье (на примере Тверской области) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 4. С. 105–115.
- Смирнов И.П., Виноградов Д.М., Алексеев А.И. Пространственные связи локального сообщества (на примере дер. Пронино Весьегонского района Тверской области) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. Т. 66. № 2. С. 236–251. DOI: 10.21638/spbu07.2021.203.
- Хихлуха Л.В., Моисеева С.Б., Багиров Р.Д., Согомонян Н.М. Архитектура российского села. М., 2005. 208 с.
- Шанин Т. Неудобный класс: политическая социология крестьянства в развивающемся обществе: Россия, 1910–1925: монография / пер. с англ. А.В. Соловьева; под науч. ред. А.М. Никулина. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2019. 408 с.

Поступила в редакцию 28.12.2022

После доработки 20.01.2023

Принята к публикации 22.02.2023

SOVIET PLAN FOR THE REFORMATION OF RURAL AREAS ON THE EXAMPLE OF THE VERKHNYAYA TROITSA VILLAGE, TVER REGION

A.A. Smirnova¹, D.V. Vinogradov²

^{1,2} Tver State University, Department of Socio-Economic Geography and Territorial Planning

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

² Post-graduate student; e-mail: dmvinogradov@edu.tversu.ru

The article analyses the changes caused by the Soviet plans to transform the countryside, considering a specific example of a settlement in the Tver (former Kalinin) region. In the 1970s the studied village of the Verkhnyaya Troitsa was classified as a “viable” one; it was also included in a small number of villages chosen as “experimental and demonstrative”. Among the reasons for the close attention by the Soviet authorities was the fact that the village was a birthplace of M.I. Kalinin – the famous Soviet political figure. On the basis of statistical data, local history materials and our own field studies, a “portrait” of the Verkhnyaya Troitsa village was compiled for each of the four identified stages, i. e. pre-revolutionary, pre-war, late Soviet and modern. The dualistic consequences of the projects implemented during the Soviet period are shown. On the one hand, an ordinary village has become a large rural center; on the other hand, the remaining industrial and social facilities do not meet modern needs.

Keywords: Non-Chernozem area, viable rural settlements, experimental and demonstrative settlements

Acknowledgments. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 27-17-00112).

REFERENCES

- Alekseev A.I. [Rural Settlement: Concepts and Reality], *Sovremennoe selo: puti razvitiya* [Modern village: ways of development], Voprosy geografii, Sb. 132, Moscow, 1988, p. 144–182. (In Russian)
- Alekseev A.I., Vasil'eva O.E., Udovenko V.S. Sel'skii obraz zhizni: opyt izucheniya na primere malykh sel Leningradskoi oblasti [Rural way of life: experience of case studies of small villages of the Leningrad region], *Vestn. SPb. Un-ta, Nauki o Zemle*, 2020, vol. 65, no. 3, p. 468–477, DOI: 10.21638/spbu07.2020.304. (In Russian)
- Atlas Kalininskoi oblasti* [Atlas of the Kalinin region], Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii, Moscow, GUGK Publ., 1964, 34 p. (In Russian)
- Bardashov V.Kh. *S beregov Medveditsy: istoricheskie khroniki* [From the banks of the Medveditsa River: historical chronicles.], Kashin, 2009, 178 p. (In Russian)
- Bogdanova E. [Anthropology of a village two-storey building: from the study of dwelling to the study of community], *Vdali ot gorodov, Povsednevnyaya zhizn' postsovetsoi derevni* [Away from the cities: everyday life of post-Soviet village], E. Bogdanova & O. Brednikova (eds.), SPb., Aleteiya Publ., 2013, p. 105–126. (In Russian)
- Elin Yu.V. *Verkhnyaya Troitsa: ob eksperimental'no-pokazatel'nom sele sovkhoza "Verkhnetroitskii" Kashinskogo raiona* [Verkhnyaya Troitsa: about the experimental and demonstrative village of the “Verkhnetroitsky” state farm, Kashinsky district], B.P. Tobilevich (ed.), Moscow, Stroiizdat Publ., 1984, 56 p. (In Russian)
- Hihluha L.V., Moiseeva S.B., Bagirov R.D., Sogomonyan N.M. *Arhitektura rossijskogo sela* [Architecture of the Russian village], Moscow, 2005, 208 p. (In Russian)
- Inzhenernoe oborudovanie sel Kalininskoi oblasti: reklamnyi prospekt* [Engineering equipment of the villages of the Kalinin region: advertising brochure], Kalinin, 1986, 31 p. (In Russian)
- Nikulin A.M. *Agrarniki, vlast' i selo: ot proshlogo k nastoyashchemu* [Agrarians, power and village: from the past to the present], Moscow, Izdatel'skii dom “Delo” RANKhiGS Publ., 2014, 400 p. (In Russian)
- Planirovka i zastroyka sel'skikh naselennykh mest v SSSR* [Planning and development of rural settlements in the USSR], B.A. Makhan'ko i dr. (ed.), Moscow, Stroiizdat Publ., 1980, 296 p. (In Russian)
- Prusikhin O.E., Zhukovskii E.D., Krutov O.D., Alekseev A.I. *Zhizn' Ivana i Gansa v XXI veke, Volchikhinskii raion, Altaiskii krai* [Life of Ivan and Hans in the 21st century: Volchikhinsky district, Altai Territory], *Krest'yanovedenie*, 2022, vol. 7, no. 3, p. 190–209. (In Russian)
- Savoskul M.S., Alekseev A.I. *Traektorii transformatsii odnoi neperspektivnoi derevni (na primere derevni Kuzreka Terskogo raiona Murmanskoi oblasti)* [Trajectories of transformation of an unpromising village (case study of the village of Kuzreka, Tersky district, Murmansk region)], *Krest'yanovedenie*, 2021, vol. 6, no. 3, p. 111–123. (In Russian)
- Sbornik statisticheskikh svedenii po Tverskoi gubernii* [Collection of statistical information on the Tver province], Statisticheskii otdel Tverskoi gubernskoi zemskoi upravly, Izdanie Tverskago gubernskago zemstva, Tver', Tipografiya Gubernskogo Pravleniya, 1893, vol. 9, vyp. 2, Korchevskoi uezd, 327 p. (In Russian)
- Sbornik statisticheskikh svedenii po Tverskoi gubernii* [Collection of statistical information on the Tver province], Statisticheskii otdel Tverskoi gubernskoi zemskoi upravly, Izdanie Tverskago gubernskago zemstva, Tver', Tipografiya Tverskogo Gubernskogo Zemstva, 1894, vol. 10, Kashinskii uezd, 429 p. (In Russian)
- Scott J.C. *Seeing Like a State: How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed*, Yale University Press, 1998, 464 p.

- Semenov P.P. Muraevenskaya volost' [Muraevenskaya volost], *Sb. materialov dlya izucheniya sel'skoi pozemel'noi obshchiny*, SPb., 1880. (In Russian)
- Semenova-Tyan-Shanskaya O.P. *Zhizn' Ivana, ocherki iz byta krest'yan odnoi iz chernozemnykh gubernii* [The Life of Ivan, essays on the life of the peasants in a Black-Earth provinces], SPb., Tip. M. M. Stasyulevicha Publ., 1914, (In Russian)
- Shanin T. *The Awkward Class. Political Sociology of Peasantry in a Developing Society: Russia 1910–1925*, Clarendon Press, 1972, 273 p.
- Smirnov I.P., Smirnova A.A., Tkachenko A.A. Itogi provedeniya politiki sseleniya malykh dereven' v Nechernozem'e [na primere Tverskoi oblasti], [The results of the policy of resettlement of small villages in the Non-Chernozem region [case study of the Tver region]], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 4, p. 105–115. (In Russian)
- Smirnov I.P., Vinogradov D.M., Alekseev A.I. Prostranstvennye svyazi lokal'nogo soobshchestva (na primere der. Pronino Ves'egonskogo raiona Tverskoi oblasti) [Spatial connections of the local community (case study of the village of Pronino, Vesyegonsky district, Tver region)], *Vestn. SPb. Un-ta, Nauki o Zemle*, 2021, vol. 66, no. 2. (In Russian)

Received 28.12.2022

Revised 20.01.2023

Accepted 22.02.2023

КРАТКИЕ ЗАМЕТКИ

УДК 911.373.3

«ОПТИМИЗАЦИЯ» СЕТИ СЕЛЬСКИХ ШКОЛ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ (ПРИМЕР УВАРОВСКОГО РАЙОНА ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

М.И. Воробьев¹, А.И. Алексеев²

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

¹ *Аспирант; e-mail: maximvorobiev15@gmail.com*

² *Профессор, докт. геогр. наук; e-mail: alival@mail.ru*

В России многие сельские школы прошли процесс оптимизации в 2000–2010-е гг., и в этом контексте особый интерес представляет Тамбовская область в связи с самыми высокими в России темпами реорганизации сельских школ в 2001–2019 гг. Цель исследования – на качественном уровне оценить плюсы и минусы оптимизации образовательной инфраструктуры на примере типичного для Тамбовщины Уваровского района. На основании полевых данных, собранных в ходе экспедиции в июле 2022 г., можно выделить следующие положительные последствия оптимизации: крупнейшие села укрепляют свое положение в иерархии сельских социальных услуг; нормативное расстояние для подвоза детей в 30 км способствует сохранению небольших школ и рабочих мест для персонала в отдаленных деревнях и селах. Дети получают возможность не тратить 2–3 часа в день на дорогу и ожидание школьного автобуса. Одно из возможных решений проблемы дефицита кадров в сельских школах – использование очно-дистанционного формата с привлечением учителей по недостающим предметам из городов или крупных сельских населенных пунктов, так как во время пандемии COVID-19 дети без снижения качества прошли учебную программу в дистанционном формате обучения. Основные отрицательные последствия: с закрытием филиалов школ усиливаются темпы депопуляции небольших сел и деревень; небольшие школы на расстоянии менее 30 км от более крупной школы будут закрывать, и для учеников ежедневные поездки будут негативно отражаться на успеваемости и общем самочувствии. В результате несоответствия зарегистрированных и реально проживающих жителей (в т. ч. детей) на региональном уровне принимаются неверные решения в отношении сохранения объектов социальной инфраструктуры, в связи с чем исключительную важность приобретает актуализация информации о численности реально проживающих в сельских населенных пунктах. Результаты полевых данных по Уваровскому району Тамбовской области могут быть полезны при дальнейшем анализе оптимизационных процессов в других среднеселенных регионах России.

Ключевые слова: оптимизация, социальная инфраструктура, сельская местность, Тамбовская область

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.13

ВВЕДЕНИЕ

В советский период сформировалась устойчивая иерархическая сеть учреждений социальных услуг в сельских населенных пунктах (СНП), свой характерный облик она приобрела к середине 1960-х гг.: центральный поселок – поселок отделения совхоза / колхоза – прифермерские поселки – жилые поселки [Ковалев, 1963]. Объекты социальной инфраструктуры на селе широко финансировались за счет государства и сельскохозяйственных предприятий вплоть до конца 1980-х гг., несмотря на то что $\frac{3}{4}$ колхозов и $\frac{2}{3}$ совхозов в РСФСР были убыточными [Народное..., 1991].

С переходом на рыночную экономику финансирование сельской социальной сферы существенно сократилось. Новые законодательные акты, в частности Постановление Правительства РФ от 29.12.1991 г. № 86 «О порядке реорганизации колхозов и совхозов», закрепили функции управления социальной сферой в ведении муниципальных образований и специальных ведомств вместо сельских предприятий. У муниципалитетов и ведомств не было финансовых возможностей для поддержания всей сети услуг на селе, поэтому возник вопрос о трансформации советской иерархической структуры.

В первую очередь трансформация затронула образовательную сферу: в 2002–2010 гг. на феде-

ральном уровне произошла масштабная реструктуризация сети общеобразовательных учреждений в сельской местности [Приказ..., 2002]. Под реструктуризацией понимали «оптимизацию инфраструктуры, направленную на рост качества образования в сельской местности благодаря более эффективному использованию имеющихся ресурсов». Итог программы – сокращение числа школ за период с 2002 по 2010 г. на треть (с 45,2 до 30,6 тыс. учреждений) [Егоров, Николаев, 2022]. Однако после формального завершения программы реструктуризации, по факту процесс оптимизации продолжился и в 2010-е гг.

Цель исследования – на качественном уровне оценить положительные и отрицательные последствия программы реструктуризации сети образовательной инфраструктуры в сельской местности в 2000–2010-е гг. на примере одного из типичных среднеселенных регионов.

Тамбовская область – типичный среднеселенный регион с устойчивым сельским расселением, умеренными темпами депопуляции средних сел и сохранением функций низовых центров услуг в крупных селах [Зубаревич, 2013]. В контексте сельской реструктуризации образовательной сети этот регион представляет особый интерес: в регионе доля сельского населения в 1,5 раза выше среднероссийского показателя (38,3 и 25,1% соответственно). Тамбовская область также лидирует по доле реорганизованных школ – 95% за период 2002–2019 гг. (в среднем по России эта доля в 2 раза меньше и составляет 49%) [Егоров, Николаев, 2022].

В качестве типичного района для анализа выбран Уваровский район, расположенный на юге Тамбовской области. В выбранном районе численность населения сократилась на 25% за период 2002–2019 гг., что сопоставимо со средним темпом депопуляции сельского населения всего региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования использованы данные Росстата, базы данных показателей муниципальных образований [База..., 2022], данные полевых наблюдений в ходе экспедиции в июле 2022 г. и пяти глубинных интервью с двумя директорами и тремя учителями общеобразовательных школ Уваровского района в селах Моисеево-Алабушка, Нижний Шибряй и поселке Луч длительностью от 60 до 120 минут.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Село Моисеево-Алабушка расположено в 25 км от районного центра – г. Уварово. В советский период Моисеево-Алабушка было одним из наиболее крупных СНП района и выполняло функции цен-

тральной усадьбы. В постсоветский период село сохранило большинство функций: на территории села и сельского совета работают три сельскохозяйственных предприятия с молочной, сахарной и зерновой специализациями, в самом селе расположена центральная сельская школа района и одна из трех сельских участковых больниц. Численность населения с. Моисеево-Алабушки до 1991 г. превышала 1,5 тыс. человек (в школах в 1970–1980-е гг. учились более 200 детей) и затем постепенно сокращалась: в 2002 г. – 1207 человек, в 2010 г. – 1069 человек. В конце 2010-х гг. численность населения балансирует на уровне 1000 человек.

В 2008 г. моисеево-алабушская школа стала единственной сельской школой Уваровского района с образованием юридического лица (без учета школ в самом г. Уварово), остальные 14 школ преобразованы в ее филиалы. За полтора десятилетия были закрыты филиалы в Ульяновке, Репном, Чуево-Алабушке, Подгорном. В большинстве случаев статус филиала, малое количество обучающихся и близость к крупной школе приближают их к закрытию.

В изменении статуса моисеево-алабушской школы сыграли два фактора: удачное географическое положение (большинство соседних сел расположено в 30-километровой зоне подвоза автобусами) и роль личности (местный директор и краевед В.И. Сахаров взял на себя ответственность за школы района, а в Нижнем Шибряе, другом крупном селе, от образования юридического лица отказались). С 2013 г. всех учеников 10–11 класса начали переводить в две крупнейшие школы района – в с. Моисеево-Алабушку и в с. Нижний Шибряй. В моисеево-алабушской школе в результате реформы на 2022 г. из 130 учеников только 50 проживают в самой Моисеево-Алабушке, остальные 80 школьников приезжают на автобусах из других деревень и сел.

Подвоз 80 учеников осуществляют на пяти автобусах, и сейчас мощностей не хватает. Одному автобусу приходится делать минимум два рейса для того, чтобы к началу учебных занятий все приехали вовремя: *«Если начало занятий в 8:30, то дети из других деревень выходят из дома в 7:00–7:15, чтобы всех успели забрать»*. В среднем дети добирются 35–40 минут, но в непогоду дорога может увеличиваться и до полутора часов. Учителя школы и родители из соседних деревень (Ульяновка, Репное) отмечают, что дети устают в дороге, но есть понимание, что другого выхода из данной ситуации не предвидится. Например, в дер. Ульяновка проживает всего восемь школьников, поэтому приходится адаптироваться к 2–2,5-часовым ежедневным поездкам и ожиданию транспорта.

Село Нижний Шибряй – второй крупнейший сельский населенный пункт Уваровского района.

Село выполняет аналогичный с Моисеево-Алабушкой перечень функций, а по численности населения даже немного превосходит его (в 2002 г. – 1108 чел., в 2010 г. – 1115 чел., в 2022 г. остается стабильным на уровне 1100 чел.).

В последние два-три года в Нижнем Шибряе наблюдается приток учеников из школ г. Уварово. Село расположено всего в 3 км от районного центра, ежегодно порядка 10–15 учеников переводятся из Уварово в нижнешибряйскую школу или добираются на автобусе. Из преимуществ перед городской школой родители отмечают более душевную и спокойную обстановку в классе, учителя уделяют больше внимания каждому ученику, в сельской местности дешевле обучение за счет меньших дополнительных взносов (мероприятия, праздники и т. п.).

Учителя и директора акцентировали внимание на высоком среднем возрасте учительского состава (50 и более лет). Его пытались снизить, привлекая молодых учителей по инициативной программе «Учитель для России», однако, за семь лет функционирования программы только два молодых учителя приезжали на 2-летний контракт, после чего уезжали в Тамбов или Москву для продолжения своей карьеры. В 2020 г. ввели новую Федеральную программу «Земский учитель», но, по мнению учителей, она не будет востребована в сельской местности: *«В Программу включили города до 50 тыс. человек, и молодой учитель на контракт на 5 лет скорее поедет в 25-тысячный Уварово, нежели в деревню».*

Поселок Луч – самый удаленный от центра сельский совет Уваровского района – расстояние составляет 50 км. В советский период в поселке проживало более 700 человек, в 2010-е гг. население сокращалось высокими темпами (на 2022 г. в поселке зарегистрированы не более 450 человек).

В 1990 г. в школе поселка было более 150 учеников, к 2010 г. их осталось 35. С 2013 г. в школе преподают только до 9 класса. На 2022 г. в школе обучалось 15 человек. Школу в Луче не закрывают, этому препятствует ее большая удаленность от с. Моисеево-Алабушка (чуть более 30 км) [Санитарные..., 2022].

Как и в других школах района, директор отмечает острую нехватку кадров – в 2021 г. ушла учительница иностранных языков, что теперь крайне осложняет выполнение образовательной программы. Одним из возможных решений дефицита кадров является дистанционное обучение по тем предметам, где не хватает учителей. В период пандемии COVID-19 и у учеников, и у учителей были компьютеры со стабильным доступом в Интернет, поэтому с марта 2020 г. по март 2022 г. дети без снижения качества прошли учебную программу в дистанци-

онном формате. В дальнейшем возможно привлечение учителей из города или других более крупных сел для проведения дистанционных занятий.

Чем меньше населенный пункт, тем более высокую долю для сохранения объектов социальной инфраструктуры играют отдельные семьи с детьми. Так, например, в пос. Луч в семье учатся два из 15 детей всей школы (во 2-м и 9-м классах), при этом мама работает учителем химии и параллельно на 0,25 ставки является художественным руководителем в Доме культуры. В 2023 г. старший сын оканчивает 9-й класс в пос. Луч, и в дальнейшем вся семья переезжает в уже приобретенную квартиру в Тамбове. Это означает, что помимо ученика поселок теряет и учителя, и художника, и в 2023 г. вопрос закрытия очередной школы встанет особенно остро.

ВЫВОДЫ

Таким образом, основные даты оптимизации образовательной инфраструктуры в Уваровском районе: 2008 г. – «филиализация» школ с образованием одного юридического лица в с. Моисеево-Алабушка и 14 филиалов; 2013 г. – ликвидация в большинстве школ (кроме моисеево-алабушской и нижнешибряйской) 10–11-х классов; 2013–2022 гг. – постепенное сокращение количества филиалов при росте нагрузки на наиболее крупные школы. Результаты полевых данных по Уваровскому району Тамбовской области могут быть полезны при дальнейшем анализе оптимизационных процессов в других среднеселенных регионах России.

На основании полевых исследований можно выделить следующие положительные последствия оптимизации сети образовательных услуг в Уваровском районе Тамбовской области:

- крупнейшие села усиливают свое влияние в иерархии сельских социальных услуг, а расположенные возле крупных городов также получают приток учеников из города;

- в отдаленных СНП нормативное расстояние в 30 км способствует сохранению небольших школ и рабочих мест, а дети не тратят по 2–2,5 часа в день на дорогу и ожидание транспорта;

- в качестве решения вопроса дефицита кадров возможен частичный перевод на смешанный очно-дистанционный формат с привлечением учителей из города или более крупных СНП. Этот подход хорошо зарекомендовал себя во время пандемии COVID-19.

Отрицательные последствия оптимизации сети образовательных услуг:

- более мелкие села обречены на постепенную депопуляцию и передачу функций в более крупные центры, что чревато дальнейшим сокращением населения и вымиранием деревни в долгосрочной перспективе [Sørensen et al., 2021];

– небольшие школы на расстоянии менее 30 км от более крупных будут закрывать, а учеников возить из других СНП. Для учеников ежедневные поездки негативно сказываются на успеваемости и общем самочувствии;

– в результате различий между зарегистрированными и реально проживающими жителя-

ми в СНП (в т. ч. детьми) могут приниматься неверные решения в отношении сохранения объектов социальной инфраструктуры [Алексеев, Воробьев, 2018]. В связи с этим крайне важно на регулярной основе актуализировать информацию о численности реально проживающих в СНП.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 21-17-00112 «Трансформация различных типов сельской местности России в современных социально-экономических и демографических условиях»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.И., Воробьев М.И. Сколько сельских жителей в России зимой? // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 5. С. 104–107.
- Егоров Д.О., Николаев Р.С. Основные этапы, направления и факторы реформирования школьной сети в сельской местности России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 4. С. 64–78.
- Зубаревич Н.В. Трансформация сельского расселения и сети услуг в сельской местности // Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 3. С. 26–38. DOI: 10.15356/0373-2444-2013-3-26-38.
- Ковалев С.А. Сельское расселение (географическое исследование). М.: Изд-во МГУ, 1963. 371 с.
- Народное хозяйство РСФСР в 1990 г.: Статистический ежегодник. М.: Республиканский информационно-издательский центр, 1991. 592 с.
- Приказ Министерства образования РФ от 16 января 2002 г. № 103 «О реструктуризации сети общеобразовательных учреждений, расположенных в сельской местности» // Вестник образования. 2002. № 3. С. 59–60.
- Sørensen J.F.L., Svendsen G.L.H., Jensen P.S., Schmidt T.B. Do rural school closures lead to local population decline? *Journal of Rural Studies*, 2021, vol. 87, p. 226–235.
- Электронные ресурсы**
- База данных показателей муниципальных образований. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения 19.12.2022).
- Санитарные правила СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи», утвержденные Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.09. 2020 № 28. URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.4.3648-20_deti.pdf (дата обращения 21.12.2022).

Поступила в редакцию 10.04.2022

После доработки 09.01.2023

Принята к публикации 22.02.2023

“OPTIMIZATION” OF THE RURAL SCHOOL NETWORK: PROS AND CONS (CASE STUDY OF THE UVAROVSKY DISTRICT, TAMBOV OBLAST)

M.I. Vorobiev¹, A.I. Alekseev²

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

¹ Postgraduate student; e-mail: maximvorobiev15@gmail.com

² Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: alival@mail.ru

During the 2000–2010-s many rural schools faced the optimization process in Russia. In this context, the Tambov Region is of exceptional interest due to the highest rates of rural schools reorganization in 2001–2019. The aim of the study is to assess at a qualitative level the pros and cons of optimizing the educational infrastructure considering the example of the Uvarovsky district, typical for the Tambov region. Based on the field data collected in July 2022, the following positive consequences of optimization could be identified: the largest villages strengthen their position in the hierarchy of rural social services; the normative distance for transporting children (30 km) contributes to the preservation of small schools and their staff in remote villages. The problem of the staff shortage in rural schools could be solved using mixed full-time – distance learning format with the involvement of teachers from cities or large rural settlements, since during the COVID-19 pandemic,

children mastered the curriculum in such format without reducing the quality of education. The main negative consequences are as follows: the rate of depopulation of small villages increases with the closure of branch schools; small schools located less than 30 km away from a larger school will be closed, and the daily commuting will have a negative impact on academic performance and general well-being of pupils. The discrepancy between registered and actual residents (including children) results in incorrect decisions at the regional level regarding the preservation of social infrastructure facilities, therefore updating information on those actually living in villages gains the utmost importance. The results of field data analysis for the Uvarovsky district of the Tambov region could be useful for further study of optimization processes in other moderately populated regions of Russia.

Keywords: optimization, social infrastructure, rural area, the Tambov region

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 21-17-00112 Transformation of different types of rural areas in Russia under modern social-economic and demographic situation).

REFERENCES

- Alekseev A.I., Vorob'ev M.I. Skol'ko sel'skih zhitelej v Rossii zimoj? [How many rural residents are in Russia in winter?], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 5, p. 104–107. (In Russian)
- Egorov D.O., Nikolaev R.S. Osnovnye etapy, napravlenija i faktory reformirovanija shkol'noj seti v sel'skoj mestnosti Rossii [Reforming the school network in rural areas of Russia: main stages, directions and factors], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 4, p. 64–78. (In Russian)
- Kovalev S.A. *Sel'skoe rasselenie (geograficheskoe issledovanie)* [Rural resettlement (geographical study)], Moscow, Publ. house of Moscow St. Un-ty, 1963, 371 p. (In Russian)
- Narodnoe hozjajstvo RSFSR v 1990 g. Statisticheskij ezhegodnik* [The national economy of the RSFSR in 1990. Statistical Yearbook], Moscow, Goskomstat RSFSR Publ., 1991, 592 c. (In Russian)
- Prikaz ministerstva obrazovanija RF ot 16 janvarja 2002 g., no. 103 “O restrukturizacii seti obshheobrazovatel'nyh uchrezhdenij, raspolozhennyh v sel'skoj mestnosti” [Order of the Ministry of Education of the Russian Federation no. 103 dated January 16, 2002 “On restructuring the network of educational institutions located in rural areas”], *Vestn. obrazovanija*, 2002, no. 3. C. 59–60. (In Russian)
- Sørensen J.F.L., Svendsen G.L.H., Jensen P.S., Schmidt T.B. Do rural school closures lead to local population decline? *Journal of Rural Studies*, 2021, vol. 87, p. 226–235.
- Zubarevich N.V. Transformacija sel'skogo rasselenija i seti uslug v sel'skoj mestnosti [Transformation of rural settlement and network of services in rural areas], *Izvestija Rossijskoj akademii nauk, Seriya geograficheskaya*, 2013, no. 3, p. 26–38, DOI: 10.15356/0373-2444-2013-3-26-38. (In Russian)
- Web sources*
- Baza dannyh pokazatelej municipal'nyh obrazovanij* [Database of indicators of municipalities], URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (access date 19.12.2022). (In Russian)
- Sanitarnye pravila SP 2.4.3648-20* “Sanitarno-jepidemiologicheskie trebovanija k organizacijam vospitanija i obuchenija, otdyha i ozdorovlenija detej i molodezhi”, utverzhdeny postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 28.09.2020 no. 28 [Sanitary rules of SP 2.4.3648-20 “Sanitary and epidemiological requirements for organizations of education and training, recreation and health improvement of children and youth”, approved by Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation no. 28 dated 28.09.2020], URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.4.3648-20_deti.pdf (access date 21.12.2022). (In Russian)

Received 10.04.2022

Revised 09.01.2023

Accepted 22.02.2023

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Общие требования к статье

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Объем статьи (текст, таблицы, список литературы, рисунки, перевод на английский) не должен превышать 1 а. л. (40 тыс. печатных знаков, включая пробелы, 5 рисунков), не более 50 тыс. знаков для обзорных статей. Объем кратких сообщений составляет 0,25 а. л. Рекомендуемый список литературы – до 30 наиболее актуальных работ по рассматриваемому вопросу. В обзорных статьях список литературы не должен превышать 60 источников. Для кратких сообщений список литературы может быть до 10 источников. Самоцитирований в списке литературы не должно быть более 10% от общего числа использованных источников.

Статья должна быть четко структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Все материалы статьи компонуется **в единый сводный файл в формате Word** и размещаются в нем в следующей последовательности:

1. УДК;
2. Название статьи;
3. Инициалы и фамилия автора(ов);
4. Для каждого автора приводится полное название учреждения, в котором выполнялось исследование, подразделение (кафедра, лаборатория и т. п.), уч. степень, должность, *e-mail*;
5. Аннотация статьи;
6. Ключевые слова;
7. Текст статьи;
8. Благодарности, в том числе – финансирование;
9. Список литературы;
10. Таблицы;
11. Подписуточные подписи;
12. Рисунки;
13. Перевод на английский язык пунктов 2–6, 8–9, 11. В пункте 4 просьба использовать в переводе официальное наименование организации на английском языке (а не собственный вариант перевода).

Подготовка текста

Текст набирается 12 кеглем через один интервал, поля слева, сверху и снизу – 2 см, справа – 1,5 см. Не допускается использование табулятора или пробелов для обозначения абзаца, ручных переносов в словах, переносов строк клавишей Enter в рамках одного предложения, разрывов страниц и разделов. В тексте статьи возможно использование полужирного шрифта и курсива для смысловых выделений, однако не должно использоваться подчеркивание. Десятичная часть чисел отделяется запятой.

Формулы набираются в редакторе формул в отдельную строку и имеют сквозную нумерацию по всей статье, выровненную по правому краю строки.

Таблицы набираются в Word, не допускается разделение ячеек косой линией. Ручные переносы не допускаются.

Рисунки представляются отдельными файлами, названными по их номерам (например: рис.1.tiff, рис.2.jpg), в графическом формате (eps, tif, jpg) разрешением не менее 300 dpi для полутонных и 600 dpi для черно-белых изображений и графиков. Для графиков, выполненных в Excel, дополнительно прилагаются соответствующие файлы Excel. Картинки должны быть полностью готовы к изданию. Представление рисунков в виде схем Word или набранного текста с добавлением графических элементов, наложенных сверху, **не допускается**.

Ссылка на источник в тексте документа указывается в квадратных скобках. В тексте ссылки через запятую указывается фамилия автора и год издания. Если ссылок несколько – они отделяются друг от друга точкой с запятой. Ссылка на источник на иностранном языке указывается на языке оригинала. Список русскоязычной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, 7.82–2001 и 7.0.5–2008. DOI (при наличии) указывается в конце ссылки. Ссылка на источник на английском языке оформляется единообразно и в русскоязычном, и в переведенном на английский язык списке литературы. **При наличии у русскоязычного издания, которое фигурирует в списке литературы, оригинальной или переводной англоязычной версии в ссылке должна быть указана именно она, а не русскоязычный вариант.**

Более подробные инструкции по подготовке статей для авторов можно найти на сайте журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться автору на переработку.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел. +7(495)9392923. Сайт журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Электронная почта: vestnik_geography@mail.ru.

Плата за публикацию не взимается

У ЧРЕДИТЕЛИ:

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
географический факультет МГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.А. ДОБРЮЛОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН (главный редактор)
В.С. ТИКУНОВ, доктор географических наук, профессор (зам. главного редактора)
Е.А. ЕРЕМЕНКО, кандидат географических наук (ответственный секретарь)
А.И. АЛЕКСЕЕВ, доктор географических наук, профессор
С.И. БОЛЫСОВ, доктор географических наук, профессор
А.Н. ГЕННАДИЕВ, доктор географических наук, профессор
К.Н. ДЬЯКОНОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН
С.С. ЗИЛИТИНКЕВИЧ, доктор географических наук, профессор (Метеорологический институт Финляндии)
О.Г. ЗОЛИНА, профессор (Университет Ж. Фурье, г. Гренобль, Франция)
В.Ю. ИВАНОВ, профессор (Мичиганский университет, США)
Н.С. КАСИМОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН
А.В. КИСЛОВ, доктор географических наук, профессор
В.А. КОЛОСОВ, доктор географических наук, профессор
К.П. КОЛТЕРМАНН, профессор
М. КОНЕЧНЫ, профессор (Университет г. Брно, Чешская Республика)
С.Б. КРООНЕНБЕРГ, профессор (Технологический университет г. Делфт, Нидерланды)
С.М. МАЛХАЗОВА, доктор географических наук, профессор
Г. МОУРИ, профессор (Университет г. Токио, Япония)
С.А. СОКРАТОВ, кандидат географических наук, PhD
П.Е. ТАРАСОВ, доктор наук, профессор (Берлинский Свободный университет, Германия)
Н.Л. ФРОЛОВА, доктор географических наук, профессор
В.Е. ШУВАЛОВ, кандидат географических наук, доцент
Т.А. ЯНИНА, доктор географических наук, профессор
В.В. ЯНКО-ХОМБАХ, доктор геолого-минералогических наук, профессор (Институт прикладных исследований Авалон, г. Виннипег, Канада)

EDITORIAL BOARD:

S.A. DOBROLUBOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor (Editor-in-chief)
V.S. TIKUNOV, doctor of science, professor (Deputy Editor-in-chief)
E.A. EREMENKO, candidate of science (Secretary-General)
A.I. ALEKSEEV, doctor of science, professor
S.I. BOLYSOV, doctor of science, professor
A.N. GENNADIYEV, doctor of science, professor
K.N. D'YAKONOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor
S.S. ZILITINKEVICH, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)
O.G. ZOLINA, professor (Fourier University, Grenoble, France)
V.YU. IVANOV, professor (Michigan University, USA)
N.S. KASIMOV, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor
A.V. KISLOV, doctor of science, professor
V.A. KOLOSOV, doctor of science, professor
K.P. KOLTERMANN, professor
M. KONECNÝ, professor (Masaryk University, Faculty of Science, Czech Republic)
S.B. KROONENBERG, professor (Delft University of Technology, Department of Applied Earth Sciences, Netherlands)
S.M. MALKHAZOVA, doctor of science, professor
G. MOURI, professor (University of Tokyo, Japan)
S.A. SOKRATOV, candidate of science, PhD
P.E. TARASOV, professor (Free Berlin University, Germany)
N.L. FROLOVA, doctor of science, professor
V.E. SHUVALOV, candidate of science, associate professor
T.A. YANINA, doctor of science, professor
V.V. YANKO-KHOMBACH, doctor of science, professor (Avalon Institute of Applied Sciences, Winnipeg, Canada)

Номер подготовили члены редколлегии
С.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.