

ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

научный и общественно-политический журнал

ТОМ 92 № 6 2022 Июнь

Основан в 1931 г.
Выходит 12 раз в год
ISSN: 0869-5873

*Журнал издаётся под руководством
Президиума РАН*

Главный редактор
А.Р. Хохлов

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.В. Адрианов, В.П. Анаников, Ю.Д. Апресян, А.Л. Асеев,
Л.И. Бородкин, В.В. Бражкин, В.А. Васильев, А.И. Григорьев,
А.А. Гусейнов, Г.А. Заикина (заместитель главного редактора),
Л.М. Зелёный, Н.И. Иванова,
А.И. Иванчик (заместитель главного редактора),
С.В. Кривовичев, А.П. Кулешов, А.Н. Лагарьков, Ю.Ф. Лачуга,
А.Г. Лисицын-Светланов, А.В. Лопатин, А.М. Молдован,
В.И. Молодин, В.В. Наумкин, С.А. Недоспасов, А.Д. Некипелов,
Р.И. Нигматулин, Н.Э. Нифантьев, А.Н. Паршин,
В.М. Полтерович, С.М. Рогов, Г.Н. Рыкованов,
Р.Л. Смелянский, О.Н. Соломина, В.А. Тишков, В.А. Ткачук,
А.А. Тотолян, М.А. Федонкин, Т.Я. Хабриева,
Е.А. Хазанов, В.И. Цетлин, В.А. Черешнев,
В.П. Чехонин, И.А. Щербаков, А.В. Юревич

Заместитель главного редактора
Г.А. Заикина

Заведующая редакцией
О.Н. Смола

E-mail: vestnik@eco-vector.com, vestnik@pleiadesonline.com

Москва

ООО «Тематическая редакция»

Оригинал-макет подготовлен ООО «ИКЦ «АКАДЕМКНИГА»

© Российская академия наук, 2022

© Редколлегия журнала
“Вестник РАН” (составитель), 2022

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-67137 от 16 сентября 2016 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Подписано к печати 03.06.2022 г.	Формат 60 × 88 ¹ / ₈	Усл. печ. л. 11.98	Уч.-изд. л. 12.25
Тираж 161 экз.	Зак. 3970	Цена договорная	

Учредитель: Российская академия наук

Издатель: Российская академия наук, 119991 Москва, Ленинский просп., 14
Исполнитель по госконтракту № 4У-ЭА-131-21 ООО «Тематическая редакция»,
125252, г. Москва, ул. Зорге, д. 19, этаж 3, помещ. VI, комн. 44
Отпечатано в типографии «Book Jet» (ИП Коняхин А.В.),
390005, г. Рязань, ул. Пушкина, 18, тел. (4912) 466-151

16+

СОДЕРЖАНИЕ

Том 92, номер 6, 2022

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК ЖУРНАЛА “ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК” ПО ГЕОГРАФИИ

Вступительное слово	499
<i>А. А. Тишков</i>	
География – наука будущего	500
<i>О. В. Андреева, Г. С. Куст, В. А. Лобковский</i>	
Устойчивое землепользование и нейтральный баланс деградации земель	509
<i>К. Н. Дьяконов, А. В. Хорошев</i>	
Ландшафтное планирование на пути к интеграции в региональную политику	522
<i>А. А. Чибилёв</i>	
Географические аспекты развития заповедной системы России	532
<i>Н. А. Соболев, Е. А. Белоновская, К. Н. Кобяков, А. Н. Кренке, С. В. Титова</i>	
Великий Евразийский природный массив как объект мирового значения	540
<i>Т. Г. Нефёдова, В. Н. Стрелецкий, А. И. Трейвиш</i>	
Поляризация социально-экономического пространства современной России: причины, направления и последствия	551
<i>С. В. Горячкин</i>	
География экстремальных почв и почвоподобных систем	564
<i>Е. А. Константинов, А. Л. Захаров, Н. В. Сычёв, Е. А. Мазнева, Р. Н. Курбанов, П. А. Морозова</i>	
Лёссонакопление на юге Европейской России в конце четвертичного периода	572
<i>Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, А. Г. Георгиади, С. В. Долгов, И. С. Зайцева, Е. А. Кашутина, И. П. Милюкова, Т. С. Фролова, С. И. Шапоренко</i>	
Географическое направление в гидрологических исследованиях института географии РАН	583
<i>С. В. Шварев, В. Н. Голосов, Е. В. Лебедева, Э. А. Лихачёва, С. В. Харченко</i>	
Актуальная геоморфология: оценка природных рисков и системное природно-антропогенное взаимодействие	593
<i>С. С. Кутузов, В. Н. Михаленко, М. Легран, А. Г. Хайрединова, М. А. Воробьёв, М. М. Виноградова</i>	
Перспективные направления исследований ледниковых кернов	602

CONTENTS

Vol. 92, No. 6, 2022

THEMATIC ISSUE OF THE “HERALD OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES” BY GEOGRAPHY

Introduction	499
<i>A. A. Tishkov</i>	
Geography is the science of the future	500
<i>O. V. Andreeva, G. S. Kust, V. A. Lobkovsky</i>	
Sustainable land management and land degradation neutrality	509
<i>K. N. Dyakonov, A. V. Khoroshev</i>	
Landscape planning on the way to integration into regional policy	522
<i>A. A. Chibilev</i>	
Geographical aspects of the Russian protected system development	532
<i>N. A. Sobolev, E. A. Belonovskaya, K. N. Kobayakov, A. N. Krenke, S. V. Titova</i>	
The Great Eurasian Natural Massif as an object of world importance	540
<i>T. G. Nefedova, V. N. Streletsky, A. I. Treivish</i>	
Polarization of the socio-economic space of modern Russia: causes, directions and consequences	551
<i>S. V. Goryachkin</i>	
Geography of extreme soils and soil-like systems	564
<i>E. A. Konstantinov, A. L. Zakharov, N. V. Sychev, E. A. Mazneva, R. N. Kurbanov, P. A. Morozova</i>	
Loess accumulation in the south of the European part of Russia at the end of the Quaternary period	572
<i>N. I. Koronkevich, E. A. Barabanova, A. G. Georgiadi, S. V. Dolgov, I. S. Zaitseva, E. A. Kashutina, I. P. Milyukova, T. S. Frolova, S. I. Shaporenko</i>	
Geographic school in hydrological research of the RAS Institute of Geography	583
<i>S. V. Shvarev, V. N. Golosov, E. V. Lebedeva, E. A. Likhacheva, S. V. Kharchenko</i>	
Current geomorphology: natural risk assessment and systematic natural-anthropogenic interaction	593
<i>S. S. Kutuzov, V. N. Mikhalenko, M. Legrand, A. G. Khairedinova, M. A. Vorobyov, M. M. Vinogradova</i>	
Promising areas of research on glacial cores	602

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

DOI: 10.31857/S0869587322060135

Настоящий тематический выпуск «Вестника Российской академии наук» посвящён 100-летию Международного географического союза и представляет разные направления современных географических исследований в России. Его организаторами и ответственными редакторами выступили научный руководитель Института географии РАН академик РАН В.М. Котляков, директор ИГ РАН член-корреспондент РАН О.Н. Соломина и заведующий лабораторией ИГ РАН член-корреспондент РАН А.А. Тишков.

Как пишет в заглавной статье номера А.А. Тишков, парадокс состоит в том, что «древнейшая из наук, имеющая глубокие античные корни, только в XVII–XVIII вв. обрела свои организационные формы, уточнила предмет и содержание». Представление о географии как о синтетической науке, имеющей два крыла — физическое и социальное, связывают с именем А. Гумбольдта, который выделил в её составе физическую географию, ландшафтоведение, геоботанику и географию растений, климатологию. Ныне география представляет собой систему «знаний об общих и частных характеристиках организации жизни на Земле... которая изучает закономерности пространствен-

ного развития природы, хозяйства, динамики населения».

Содержание тематического номера отражает современные тенденции и многообразие проблем в развитии географической науки. Авторы статей, определивших проблематику номера, затрагивают широкий круг вопросов, в числе которых будущее самой географии как синтетической дисциплины, теоретические и прикладные вопросы ландшафтоведения, географические аспекты гидрологии, география почв в экстремальных условиях среды, геоморфология, взаимодействие человека и природы, палеогеография, проблемы пространственного развития страны и организации её заповедной системы.

Этот тематический выпуск печатается спустя четыре года после выхода в свет коллективной монографии «Век географии» (2018), изданной к 100-летию Института географии РАН и собранной не столько достижения академической географии, сколько результаты наиболее актуальных географических исследований. Настоящий номер «Вестника РАН» в некоторой степени дополняет книгу и расширяет наше видение современной отечественной географии. Надеемся, что его статьи найдут заинтересованного читателя.

ГЕОГРАФИЯ – НАУКА БУДУЩЕГО

© 2022 г. А. А. Тишков

Институт географии РАН, Москва, Россия

E-mail: tishkov@igras.ru

Поступила в редакцию 19.12.2021 г.

После доработки 14.01.2022 г.

Принята к публикации 02.02.2022 г.

С методологических позиций и с учётом прогноза планетарных изменений климата, биоты, а также хозяйственной и общественной динамики в статье рассматривается становление географии как науки будущего. Автором обосновывается необходимость выделения в семье географических наук “футурологической географии”, которая за счёт интеграции в пределах этой семьи, расширения связей с точными науками естественного цикла, использования аналитических методов высокого разрешения способна создавать адекватный образ будущего. На основе экспертных оценок, прогнозных моделей, предложенных Межправительственной группой экспертов по изменению климата, мнений учёных даётся ответ на вопрос, какой мир предстоит изучать географии в 2050 г. Есть основания заключить, что это мир антропоцена. Рассмотрены условия применения в географии передовых геоинформационных методов, искусственного интеллекта и квантовых технологий. Среди новых географических наук выделены инновационные отрасли – гено- и филогеография, биофизика ландшафта и другие. Сделан вывод, что для изучения мира будущего география уже располагает адекватной методологией, методами и алгоритмами исследований.

Ключевые слова: Земля, цифровой двойник Земли, футурологическая география, науки будущего, прогноз, цифровые и геоинформационные технологии, искусственный интеллект, IPCC, изменения климата, антропоцен.

DOI: 10.31857/S0869587322060123

“География была и есть любимейшая наука русских со времён летописца Нестора”.
Л.С. Берг. “Достижения советской географии”, 1948

В 2019 г. в мире отмечалось 250-летие со дня рождения немецкого натуралиста Александра Гумбольдта – одного из основателей географии как самостоятельной науки. Парадокс в том, что древнейшая из наук, имеющая глубокие античные корни, только в XVII–XVIII вв. обрела свои организационные формы, уточнила предмет и содержание. С именем А. Гумбольдта связывается и представление о географии как о синтетической науке, имеющей два крыла – “физическое” и “социальное”. Именно он выделил в её составе физическую географию, ландшафтоведение, геоботанику и географию растений, климатологию. Ему принадлежит обоснование алгоритма познания природы как целого и введение в науку поня-

тия “сферы жизни” как всепланетного феномена. Можно утверждать, что исходно мировоззренческая наука география (достаточно упомянуть хотя бы несколько привычных выражений из её словаря: “пространственное мышление”, “осознание себя в пространстве”, “географический детерминизм”, “пространственный континуум”) только в XVIII в. обрела возможность структурированного философского осмысления, став, по образному выражению А.Н. Краснова¹, философией естествознания [1, 2].

Но если принять утверждение, что география – мировоззренческая наука, использующая разно-

ТИШКОВ Аркадий Александрович – член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией биогеографии ИГ РАН.

¹ Краснов Андрей Николаевич (1862–1915) – российский ботаник, почвовед, географ, путешественник, палеоботаник; основатель Батумского ботанического сада. Предложил и реализовал фитомелиорацию болот Колхиды с использованием австралийского эвкалипта. (*Здесь и далее прим. ред.*)

образные инструменты познания мира, что по сути она является системой знаний об общих и частных характеристиках организации жизни на Земле, то вполне естественно увидеть в ней и науку, которая наряду с осмыслением многомерности бытия изучает закономерности пространственного развития природы, хозяйства, динамики населения [3]. Имея сравнительно мощную палеогеографическую [4, 5] и историческую [6–12] составляющие, она не озаботилась футурологической основой. В настоящей статье предпринята попытка восполнить этот пробел, предвывая возможное появление элементов прогноза и в других публикациях специального выпуска “Вестника РАН”.

ФУТУРОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ

Её основы, если иметь в виду билатеральные союзы наук (климатология – физика атмосферы, география особо опасных инфекций – эпидемиология, география населения – демография), формировались стихийно, по мере внутригеографической интеграции, а также интеграции с науками, содержащими в себе элементы прогноза. Замечу, что К.К. Марков² [13], рассматривая междисциплинарные “сквозные” методы географии (сравнительно-описательный, геофизический, геохимический, палеогеографический, математический, картографический), применяемые к изучению всех компонентов географической оболочки Земли и определяющие целостность нашей науки, сближающие её с другими точными науками естественного цикла, футурологическую составляющую не учёл.

В 1960–1970 гг. Ю.Г. Саушкин³ [14, 15] сформулировал позиции географического прогноза, при этом приняв во внимание не только перспективы применения новых методов, но и сам меняющийся мир. И.М. Забелин⁴ [16], вдохновлённый попытками И.В. Бестужева-Лады⁵ развивать в СССР общенаучную (не коммунистическую) футурологию, в своей книге “Физическая география и наука будущего” [17] (первое её издание вышло в 1963 г.), рассматривает контуры грядущей техносферы и ноосферы, в числе тревожных процессов отмечает повсеместную урбанизацию – сложный географический процесс, отдаляющий чело-

века от природы. В работах учёных и писателей середины XX в. присутствуют образы преобразованной человеком Земли, которая и должна стать объектом исследований географии. Приведу несколько примеров.

В.В. Цинзерлинг (сотрудник Совета по изучению производительных сил) в конце 1940 – начале 1950-х годов пишет о грядущем цикле потепления, об управлении климатом с помощью орошения засушливых земель, увеличения объёмов внутреннего влагооборота и восстановления зональной растительности засушливых земель [18]. Б.П. Борисов (в 1950-х годах сотрудник Института географии АН СССР) разрабатывает проект преобразования климата Северного полушария с помощью уничтожения ледового покрытия Арктики. Он полагает, что эта идея осуществима, если повернуть Гольфстрим и построить плотину с мощными насосами в Беринговом проливе. М.И. Будыко (в 1950-х годах молодой сотрудник Гидрометеослужбы СССР, а позднее академик РАН) предлагает уничтожить ледяной покров Арктики, покрыв поверхность льда тонким слоем тёмного порошка: такая мера увеличит поглощение солнечной радиации и растопит ледяной панцирь.

В эти же годы учёные США выдвигают множество проектов использования тепла Гольфстрима для обогрева Северной Америки и нейтрализации холодного Лабрадорского течения. В одном из проектов предлагалось построить канал через полуостров Флориду для прохождения Гольфстрима, в другом – перенести место встречи Гольфстрима и Лабрадорского течения восточнее. Все проекты были нацелены на улучшение климата Северной Америки, в то же время вероятный ущерб климату Европы игнорировался (<http://nplit.ru/books/item/f00/s00/z0000053/st051.shtml>).

Палеонтолог, писатель-фантаст, социальный мыслитель И.А. Ефремов, создавший образы будущего Земли, в романе-утопии “Туманность Андромеды” (1957) [19] пишет о возможности появления искусственных солнц, подвешиваемых над полярными областями, о повышении уровня океана на 7 м, об изменении человеком полярных атмосферных фронтов и ослаблении пассатных ветров, укрошении ураганов. Рисуемая автором картина интересна с позиций именно футурологической географии, так как в его представлении одновременно с изменением природы многое изменится и в социальной организации общества: “Эра Разобщённого Мира” сменяется эрами “Мирового Воссоединения”, “Общего Труда”, “Великого Кольца” [19].

В статье “География будущего” (1960) её автор Н. Павлов отмечает: “На наших глазах происходит второе рождение географии. Она превраща-

² Марков Константин Константинович (1905–1980) – академик АН СССР, теоретик географии, геоморфолог, палеогеограф, океанолог.

³ Саушкин Юлиан Глебович (1911–1982) – доктор географических наук, экономико-географ, с 1948 по 1981 г. заведующий кафедрой экономической географии СССР МГУ им. М.В. Ломоносова.

⁴ Забелин Игорь Михайлович (1927–1986) – физикогеограф, футуролог, историк географии, писатель.

⁵ Бестужев-Лада Игорь Васильевич (1927–2015) – доктор исторических наук, социолог, футуролог.

ется из науки описательной в преобразующую. Древняя наука молодеет, как и сама наша планета, неуклонно стремящаяся по орбите истории всё вперёд, к коммунизму». [20, с. 59]. В статье приводится карта преобразованной планеты с плотинной в Беринговом проливе, транслатино-американским каналом, соединяющим три великие реки, морями в центре Африки, обновлёнными Средиземным и Чёрным морями, тоннелями под Каспием и Ламаншем, укрощённым течением Куроисио и сменившим направление Лабрадорским течением.

“География–2050” – так озаглавлен раздел книги [21], посвящённой 100-летию Института географии РАН. Это самый свежий пример попытки заглянуть в будущее нашей науки. Вполне естественно, что в прогнозе акцент делается на востребованных обществом направлениях: изучении природы Земли (вод, рельефа, почв, растительности, фауны, изменений климата), а также общества (промышленности, транспорта, миграции населения, процессов урбанизации), причём с применением самых современных технологий – космического зондирования, геоинформационного анализа, радиоуглеродного датирования и палеоклиматических реконструкций на основе методов высокого разрешения. Речь идёт не только о научном интересе. Не научившись противостоять современным вызовам и угрозам – климатическим, экологическим, экономическим, социальным, геополитическим, – мы не сможем дальше развиваться как цивилизация. В этом и состоит главная функция географии как науки будущего. Академик РАН В.В. Котляков в статье “География – одна из основ современного естествознания” замечает: “Чудо географии заключается в том, что это единственная из фундаментальных наук, имеющая и естественнонаучную, и социально-экономическую составляющие... Природная предопределённость в той или иной мере свойственна всем сферам общественной жизни на любой стадии исторического развития, так как человек – звено эволюции, часть природы и может существовать лишь благодаря постоянному обмену с ней. Поэтому законы социальных наук имеют в своей основе природную составляющую, это роднит их с законами естественных наук и позволяет сохранять единство географии” [22, с. 7]. Именно такое родство и даёт основания представлять предмет географии будущего многоликим и изменчивым.

КАКОЙ МИР ПРЕДСТОИТ ИЗУЧАТЬ ГЕОГРАФИИ В 2050 ГОДУ?

В отечественной и зарубежной науке делается так много прогнозов, что их верификация сама по себе могла бы стать предметом длительных исследований. Интересно, что наиболее радикальные

представления формируются в недрах самой географии, её физико-географического крыла – от климатологов [23, 24], стоящих на позициях “антропогенных изменений климата”, до учёных смежных специальностей, строящих модели на принципах облигатности связей объектов изучения с климатом и придерживающихся географического детерминизма. Ещё в Пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) 2014 г. [23] среди климатических сценариев для XXI в. доминировали те, которые предполагали рост концентрации CO₂ до 750–1250 ppm и средних глобальных температур на 2.4–4.8°C, а на территории России и выше. Ожидаемые последствия – полное освобождение Арктики от морских льдов, интенсивное таяние ледников, катастрофический подъём уровня океана, деградация мерзлоты, экспансия леса в тундру, вымирание животных, изменения границ природных зон, рост частоты аномальных природных явлений (ураганов, штормов, ливней, наводнений, лавин, селей, оползней, пожаров). Для представления гипотетической картины можно обратиться к публикациям климатологов [25, 26], а также прогнозным картам планеты (<https://ria.ru/20190207/1550557505.html>). В Интернете присутствуют специальные сайты, на которых с помощью манипуляций любой желающий может увидеть контуры обновлённой Земли при разных уровнях подъёма мирового океана (<https://www.floodmap.net/ru/>), проанализировать катастрофические, оптимистические и промежуточные климатические сценарии, реализация которых зависит от доброй воли стран, подписавших Парижское соглашение и целенаправленно снижающих выбросы парниковых газов (<https://hi-news.ru/eto-interesno/kakoj-budet-nasha-planeta-v-2100-godu.html>). К сожалению, сценариями подобного рода пестрит литература, в которой есть всё, кроме ответственности за прогноз.

В августе 2021 г. на сайте МГЭИК были представлены первые публикации Шестого оценочного доклада (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#Full-Report>), вывешен интерактивный атлас с прогнозом облика Земли при разных климатических сценариях (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>). Комментарии в СМИ, появившиеся в связи с началом публикации доклада, сопровождались говорящими заголовками: “Будет только хуже”, “Сигнал тревоги для человечества”, “Нас ждут большие проблемы” и т.п. Эти тревожные оценки подтверждает в своих комментариях и председатель Комитета РАН по международной программе “Будущее Земли”, директор Института географии РАН член-корреспондент РАН О.Н. Соломина [27]. Суть этих оценок сводится к следующему.

Удержать рост глобальной температуры в пределах 1.5°C не удастся, через 15 лет этот уровень будет превышен, если объём антропогенных вы-

бросов парниковых газов не изменится. Наблюдавшееся в 2010–2019 гг. глобальное повышение температуры приземного воздуха (0.9–1.2°C) превысило внутреннюю изменчивость (от –0.2 до 0.2°C) или влияние естественных факторов, в числе которых орбитальный, солнечная активность и др. (от –0.1 до 0.1°C).

Продолжаются повышение уровня Мирового океана из-за теплового расширения воды (им объясняется 50% повышения уровня за период 1971–2018 гг.) и потери льда на суше. Вклад таяния ледников за тот же период составил 22%, ледниковых щитов – 20%, а изменения в запасах воды на суше – ещё 8%. В последние десятилетия (с 1992–1999 по 2010–2019 гг.) скорость сокращения оледенения увеличилась в 4 раза. Повышение относительного уровня океана продолжится в XXI в. В следующие 2000 лет глобальный средний уровень океана повысится на 2–3 м, если потепление ограничится 1.5°C, на 2–6 м при ограничении до 2.0°C и от 19 до 22 м при потеплении на 5.0°C.

Утверждается, что экстремальные климатические события – волны жары, засухи и экстремальные осадки – при потеплении климата будут случаться чаще. Даже если выбросы парниковых газов стабилизируются или снизятся, инерционная климатическая система Земли не сможет вернуться в “доиндустриальное” состояние: нагретый океан будет продолжать оказывать своё отепляющее воздействие, глобальная температура будет расти, ледники и вечная мерзлота – таять, уровень моря – подниматься.

В Докладе рассматриваются пять сценариев будущего изменения климата в связи с масштабами влияния на него человека. В случае реализации сценария низкой эмиссии парниковых газов средняя глобальная температура к концу XXI в. будет выше, чем в 1850–1900 гг., на 1–1.8°C, по сценарию среднего уровня эмиссии – увеличится на 2.1–3.5°C. При высоком уровне выбросов увеличение будет драматическим – на 3.3–5.7°C.

Поверхность суши продолжит нагреваться в 1.4–1.7 раза сильнее, чем поверхность океана. Потепление в Арктике прогнозируется в 2 раза более сильное, чем в среднем по Земле. Арктика, вероятно, окажется практически свободной от морского льда в сентябре, по крайней мере, один раз до 2050 г. при любом из пяти рассмотренных сценариев. Вопрос о динамике антарктического морского льда в Докладе остался открытым: с помощью моделей пока не удаётся воспроизвести его изменения.

Общий вывод, вытекающий из Шестого доклада МГЭИК: необходимы срочные меры по снижению выбросов. Даже в случае, если цивилизация в своём развитии попытается реализовать сценарий низкой эмиссии парниковых газов, эффект будет ощутим примерно через два десятиле-

тия, так как он трудноразличим на фоне высокой естественной изменчивости климата.

Во многих странах мира снижение экономической активности в условиях пандемии 2020 г. привело к улучшению качества воздуха в промышленных районах, но не сказалось на росте концентрации CO₂. Отчасти это подтверждено и исследованиями Института экологии Высшей школы экономики (<https://www.hse.ru/mirror/pubs/share/377998000.pdf>), которые выявили, что объёмы выбросов и их концентрации в период ограничений из-за пандемии в январе–мае 2020 г. в России были на 16% ниже показателей 2019 г., но это не повлияло на уровень CO₂.

Алармистские прогнозы климатологов и некоторых футурологов компенсируются умеренными прогнозами экономистов, что важно для географов, которым предстоит анализировать реалии мира в новых политико-географических условиях. Так, авторы британского журнала “The Economist” по итогам публикаций первого десятилетия XXI в. подготовили книгу “Мир в 2050 году” [28], в которой с учётом выявляемых тенденций развития планеты обсуждаются все грани будущего. Катастрофические сценарии в книге отсутствуют, прогноз на 2050 г. вполне оптимистический. Авторы полагают, что “это будет время всестороннего экологического восстановления...” [28, с. 213]. Так как аспекты бытия, касающиеся демографии, бедности, экономического неравенства, миграции, энергетики, потребления, обеспечения продовольствием, питьевой водой, прогнозируются и моделируются, по-видимому, с меньшим числом неопределённостей, чем климат, в сценарии гуманитарной составляющей географии будущего гораздо меньше пессимизма.

За 30–50 лет, несмотря на тревожные прогнозы некоторых климатологов и экологов, суть и предмет географической науки вряд ли претерпят необратимые изменения. Другой вопрос – совершенствование методов исследований, повышение их точности и степени детализации (разрешения), благодаря чему значительно повысится достоверность географического прогноза, до минимума сократится временной интервал от получения первичной информации о состоянии Земли, её геосфер, отдельных экосистем и их компонентов до оперативного анализа и последующего принятия управленческих решений. Дистанционный и наземный мониторинг планеты с получением данных высокого разрешения – это и есть будущее нашей науки, но при условии широкого внедрения цифровых технологий, повышения качества географического анализа с привлечением возможностей суперкомпьютеров и искусственного интеллекта. Пока такие технологии не созданы.

ГЕОГРАФИЯ АНТРОПОЦЕНА КАК ГЕОГРАФИЯ БУДУЩЕГО

Об антропоцене как объекте географических исследований заговорили в 2012 г. после 32-го Международного географического конгресса в Кёльне (Германия). Этому предшествовало распространение учения об антропосфере геолога Э. Зюсса и географа Д.Н. Анучина, а также учения В.И. Вернадского о ноосфере как новом состоянии биосферы. Вслед за П. Крутценом и Ю. Стормером [29], а также в соответствии с принятыми в геохронологии и эволюционной географии критериями на конгрессе одобрили выделение новой геологической эпохи — антропоцена со своими особенностями пространственной и временной организации. Авторы термина — американский ботаник, эколог Юджин Стормер и нидерландский химик лауреат Нобелевской премии Пауль Крутцен — основной упор делали на масштабную деятельность человека в последние столетия, в основном после промышленной революции. Однако и в голоцене деятельность человека за счёт переложной системы хозяйствования, широкого использования огня и избирательной охоты существенно преобразовала планету, затронув её физические, химические и биологические характеристики, в частности, альбедо поверхности, химизм водоёмов, структуру морских мелководий и озёрных отложений, состав биоты.

Выделяя среди характерных черт протекания последних геологических эпох такое явление, как сближение характерных времён событий и явлений (оледенений и межледниковий, морских трансгрессий и регрессий, циклов химизма атмосферы, потеплений и похолоданий, аридизации и гумидизации климата, интенсивности седиментации и физико-географических процессов на полярных окраинах), можно определить, что следующая эпоха должна преемственно ещё больше отражать сжатие временных интервалов необратимых изменений. Хотя человечество по-прежнему не в силах масштабно менять ход внешних по отношению к ландшафту природных процессов на Земле, определяемых в первую очередь космическими факторами, тем не менее оно влияет на их ритмику и амплитуду, поэтому география будущего, по сути, может рассматриваться как география антропоцена, для предмета которой характерны:

- разновременные, отличающиеся и по времени старта устойчивые тренды антропогенной изменчивости;
- необратимые изменения окружающей среды и её отдельных элементов (химизм атмосферы и гидросферы, трансформация земной поверхности, условий биогеохимической работы организмов, вымирание животных и растений и др.);

- неореликтовость и рефугиальность природных экосистем и биоты в целом, которые сформировались в отличных от будущих условиях среды, не смогут адаптироваться к ним, станут реликтами прошлых эпох и не будут занимать потенциально возможный ареал на планете;

- эффект сжатия природного пространства, когда исходное состояние рельефа, почв, растительности, животного мира становится характерным для сравнительно небольших по площади, часто нерепрезентативных территорий, а всё остальное пространство характеризуется проявлениями новой эпохи — антропоцена;

- при антропоцене восстановление исходного состояния природы не происходит, а наблюдаются конвергентные с исходными, менее устойчивые её новые состояния, которые в совокупности и определяют картину наступившей эпохи (для атмосферы — новые химические константы, для рек — новый режим стока и возможности самоочищения воды, для рельефа — новые формы, характер и интенсивность эрозионных процессов и формообразования, для озёр — режим трофности и накопления сапропеля, для биоты — новые сукцессионные системы, которые включают и аборигенные, и инвазивные виды);

- интенсивная фрагментация, необратимые антропогенные элементы структуры и динамики ландшафтов, в том числе квазиприродные.

Доминирование по площади антропогенных модификаций экосистем (морских и сухопутных) и их включение в филоценогенетическую систему (в эволюционные преобразования экосистем) — важная отличительная черта антропоцена как объекта географических исследований. До его старта в плейстоцене и голоцене в качестве глобальных факторов филоценогенеза, связанных с человеком, обнаруживали себя только частота действия огня и избирательная охота на крупных млекопитающих, которые всё же вписывались в формулу “человек — часть природы” и сопровождалась самовосстановлением биоты.

Анализ палеоклиматической, палеогеографической и палеоэкологической информации показывает, что современная рубежность в динамике природы на Земле наступила во второй половине голоцена после завершения атлантического оптимума, формирования около 5000 лет назад системы и границ природных зон, близких к современным. В этот период очаговые антропогенные трансформации естественной растительности при выжигании и рубках лесов, переложной системе распашки и пастбы, регулировании стока рек стали приобретать фронтальный характер на материках, необратимо меняя дигрессивно-дедукционные ряды сукцессий по составу участвующих в них видов растений и животных и по скорости восстановления до исходного состояния. Ан-

тропоцен стартовал около 2000 лет назад с временным континуумом в разных регионах Северной Евразии.

Для понимания географии антропоцена важен и смысл биогеографических эффектов антропогенных изменений природы, который следует искать не в сдвиге состава флор и фаун, а в филоценогенезе, в тех его проявлениях, которые связаны с антропогенной трансформацией сукцессионных систем. При чрезмерно быстрых и глубоких изменениях климата экосистема либо мигрирует вслед за перемещением климатических районов (географическая смена), либо, если миграция невозможна, погибает, освобождая территорию/акваторию для новых экосистем, возникающих в результате филоценогенеза. Пределы сукцессионной динамики даже в наше время представлены рецидивными (при увеличении частоты нарушений – пожаров, рубок леса, распашки, интенсивного выпаса скота), диаспорическими (уничтожение на больших пространствах климаксовой растительности, типичных представителей флоры и фауны), пирогенными (за счёт увеличения частоты пожаров), постагрогенными (при переложной системе земледелия), техногенными и прочими субклимаксами.

Именно с такой природой, теряющей потенциал самовосстановления, но поддающейся всякого рода антропогенным преобразованиям и управлению (характерный пример – современный опыт большинства европейских стран в поддержании полуприродных и искусственных лесных и травяных экосистем, лишённых основных биосферных функций и требующих для их поддержания дополнительных энергетических и вещественных затрат), человечеству придётся иметь дело. Антропоцену свойственны необратимые изменения биоты, абиотических компонентов и фоновых условий их динамики и функционирования. Например, иные, более высокие концентрации CO₂ в атмосфере, приближающиеся к оптимальному для фотосинтеза уровню, обеспечивают более высокие удельные показатели первичной продукции, в том числе сельскохозяйственных культур и лесов. Аналогично и рост концентрации биогеононов в водоёмах суши ведёт к росту их продуктивности.

Природопользование новой эпохи осуществляется в условиях снижения запасов многих невозобновляемых ресурсов и роста доли возобновляемой энергетики в экономике, но одновременно пространство, запасы пресной воды и природные ландшафты, способные обеспечивать человечество экосистемными услугами, становятся мощным стратегическим ресурсом. География будущего как раз нацелена на научное сопровождение смены технологий природопользования, минимизирующих негативное воздействие

на природу. Такая смена произойдёт в антропоцене, но без географического обеспечения реализовать её практически невозможно.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Многие авторы, рассуждающие о географии будущего, упоминают цифровизацию как отличительную её черту. А вершиной цифровизации нашей жизни и науки в целом должны стать квантовые технологии. География всегда была наукой, оперирующей огромными массивами данных, прежде всего пространственно распределённых. Нет ни одной отрасли знаний, за исключением, по-видимому, наук о человеке, сопоставимых по ёмкости необходимой цифровой информации с географией. Поэтому будущее нашей науки – за искусственным интеллектом и квантовыми технологиями. Современный компьютер и геоинформационные технологии способны создать лишь приблизительный образ окружающего мира, Земли с ближним космосом, этот образ по уровню разрешения далёк от реальности. Трудно представить массивы пространственно распределённых данных, необходимых для создания даже статичного образа Земли.

Как только мы попытаемся охватить мобильные параметры состояния планеты, их вариативность в настоящем и будущем, никаких современных средств и технологий их отображения не хватит. Даже в наши дни среди сфер применения суперкомпьютеров, со скоростью вычислений в сотни миллиардов в секунду, доминируют близкие к географии метеорология, геофизика и область финансов. Именно для нужд географии требуются квантовые компьютеры, в которых единицей информации становятся не биты (0 или 1), а кубиты (0 и 1 одновременно). Только они способны оживить статичную пока модель Земли. Для онлайн-мониторинга состояния всех геосфер планеты (атмосферы, гидросферы, литосферы, биосферы) требуется, с одной стороны, идеальный цифровой двойник Земли, а с другой – аналогичный, высокого разрешения её цифровой образ, но уже для моделирования глобальных и региональных ситуаций, точного прогнозирования не только погоды и стихийных бедствий, но и всего, что важно для жизнеобеспечения и, главное, для гуманизации общества. Для этого пока нет доброй воли, “сверхкомпьютеров” и технологий. Квантовые компьютеры будут способны решать самые сложные задачи, в том числе и те, о которых здесь идёт речь, но только при одном условии: люди на Земле наконец-то станут жить мирно, вместе созидать, осваивать Мировой океан и Антарктиду, оставив в прошлом войны, гонку вооружений и безудержный рост потребления [28].

ГЕОГРАФИЯ СРЕДИ НОВЫХ НАУК

В наше время столько получивших негласный статус “наук будущего”, что вписаться в этот сонм перспективных отраслей знаний трудно. Лидируют здесь биология и медицина, ибо их назначение — служение человеку. Примеры — синтетическая биология, генная инженерия (конструирование новых геномов или возрождение давно вымерших организмов), нанонауки с их возможностями исследования нанопространств и применения микрочипов в технике и медицине, меметика, занимающаяся культурными кодами и их передачей от человека к человеку, в том числе в социально-терапевтических целях, бионика, внедряющая природоподобные технологии в повседневную жизнь, нейроэкономика, позволяющая корректировать принятие решений на индивидуальном уровне, а в перспективе и выше.

А что география? Омолодится ли она за счёт новейших технологий и станет ли снова крайне нужной человечеству? Как это не раз происходило в последние столетия, её актуализация, востребованность будут возрастать по мере усиления синтетической природы нашей науки, её комплексности, междисциплинарности, а в целом — полиморфизма и поливекторности. Первым вектором будущего можно считать геоинформационные технологии с использованием искусственного интеллекта, в том числе нейросетей. О. Фатеев и Н. Носов в статье “Искусственный интеллект в географии” [31] сделали попытку определить место этих технологий. Стремительно растёт объём пространственно распределённых данных, доступных для анализа, появились новые возможности их хранения и обработки. Расширяется диапазон использования методов искусственного интеллекта и машинного обучения в ряде отраслей географии, особенно в картографии, в частности, в сфере дистанционного зондирования с применением беспилотных летательных аппаратов. Но главное, что отличает этот куст географических дисциплин будущего, — вовлечение географа в переработку объёмов информации, необходимых для оперативного принятия решений, автоматизация части интеллектуальной деятельности исследователя и создание экспертных систем, баз знаний и систем логического мышления. Нейросети в географии станут средством обработки географической информации, построения моделей нелинейной аппроксимации многомерных функций, прогнозирования процессов, зависящих от многих переменных, классификации и дифференциации параметров по многим признакам.

Второй вектор прослеживается на стыке с биологией. Получит развитие геногеография, которая продвинет решение проблем эволюции и расселения организмов, понимание движущей силы

географических факторов в видообразовании и адаптации организмов. В биогеографии мы приблизимся к построению системы периодических ниш, сможем перейти к географическому варианту таблицы Менделеева, что позволит оперировать генетикой организмов как индикатором освоения ими пространства, “растекания жизни”.

К геногеографии примыкает филогеография [32], развивающаяся на протяжении трёх последних десятилетий, но несомненно, что бурный её расцвет — впереди. Она, по всей вероятности, сможет объяснить, как исторические, геологические, экологические и климатические условия влияли и влияют на распространение видов, в том числе человека. Эта наука содержит в себе квинтэссенцию знаний об адаптационной природе жизни на Земле, её потенциале. Современная биогеография, судя по публикациям последних лет в международном журнале “Biogeography”, ориентирована именно на это направление. Филогеография объясняет эффект влияния на биоту дрейфа континентов, существования хребтов, течения рек как факторов внутривидовой дифференциации и генетических преобразований видов (собственно видообразования, эффектов пространственной изоляции, возникновения мутаций, механизмов конвергенции и адаптации).

Среди других научных направлений на стыке с биологией — биофизика ландшафта, элементы которой уже сегодня можно найти в исследованиях биогеографов и ландшафтоведов, оценивающих эффект средообразующей роли биоты на основе физических показателей освоения и преобразования среды. Наряду с геофизикой ландшафта (она развивается уже почти полвека), эта наука будущего позволит на стыке с экономикой монетизировать экосистемные услуги и по их востребованности обществом позициям (биопродукционным, климато- и водорегулирующим, почвозащитным, рекреационным и др.) определять вклад отдельных стран в экологическую стабильность планеты.

Третий вектор — появление в гуманитарном крыле географии новых научных отраслей, широко использующих возможности интернет-технологий, социальных сетей, данных мобильных операторов, банковских сетей, информационных систем транспортных пассажирских и грузовых перевозок, широкого онлайн-анкетирования. Уже не по крохам, а масштабно, буквально в реальном времени можно получать сведения о перемещении населения, разномасштабной миграционной ритмике и её направлениях, о географии потребления, предпочтений. Социальная и экономическая география получают не только новый инструментарий, но и новый смысл и свою зону ответственности в социальном пространственном мониторинге и принятии решений.

Четвёртый вектор – географо-экологический, основанный на новых технологиях получения информации об экологическом состоянии планеты в целом и интерпретации этой информации для принятия глобальных решений. Действительность международных соглашений и конвенций ООН, как показал опыт второй половины XX в. и двух первых десятилетия XXI столетия, невысока – документы носят рекомендательный характер, отмечается избирательность в соблюдении их требований, в конкурентной борьбе товаропроизводителей широко используются санкции, не прекращается оголтелая гонка вооружений, стремительно растёт потребление ресурсов. Глобальный экологический вызов не получил осмысления такого уровня, какое содержит учение о глобальном климате и его будущем на Земле – единой экосистеме с главным абсолютно целостным элементом – океаном и главенствующим фактором/компонентом – человеком. Только в XXI в. стало понятно, что экологический рай в отдельно взятой стране, будь то процветающая Западная Европа или США, создать невозможно. Все страны связаны и взаимозависимы, объединены трансграничными переносами загрязняющих веществ, участвуют в глобальных экономических и гуманитарных процессах – миграции населения, продовольственного обеспечения и т.д. Какой науке, как не географии, осмысливать эти процессы в будущем?

* * *

Ложное представление о том, что будущее Земли – только будущее её климата, смещает взгляд современной географии в сторону климатических прогнозов. Уже сейчас можно констатировать, что тематика климатических изменений, антропогенного потепления, палеоклиматических реконструкций в поисках хроносрезов-аналогов современной климатической обстановки доминирует в публикациях географического цикла. Среди научных журналов по географии преобладают издания климатической направленности, а практика грантовой поддержки, ориентированная на наукометрические показатели исследователей (импакт-фактор, цитирование, публикации в рейтинговых журналах), такова, что предпочтение отдаётся благодаря “актуальности” именно таким проектам. Практически все отрасли современной географии нацелены на изучение климатических изменений, роль других факторов (будь то рельеф, природные воды, биота, население, промышленность, транспорт) преуменьшается. В ста наиболее цитируемых современных публикациях головного института академической географии – Института географии РАН – около 60% составляют статьи, посвящённые изменениям климата и их влиянию на другие компоненты гео-

графической среды. На всю остальную географию, включая её классические направления – геоморфологию, географическую гидрологию, ландшафтоведение, картографию, биогеографию, географию населения, сельского хозяйства, промышленности и др. – приходится лишь 30–35% статей. Если это воспринимать как поступательное движение, то никакая цифровизация, информатизация, дистанционные методы и гуманитарные технологии не позволят избавиться от “климатического флюса” географии, явной недооценки ею гуманитарной составляющей [33, 34] и пространственного развития, которые и есть основа географии будущего.

Да, пока география не озаботилась своей футурологической составляющей. Но её предмет и методология формируются в наши дни. Мы уже понимаем, какими методами и технологиями будем изучать изменчивый мир, например, в 2050 г. Труднее понять, как будет меняться предмет общественной географии [34]. В науке сложилось представление, что мы будем жить в эпоху антропоцена, не питая иллюзий в отношении сохранения девственной природы и скорой минимизации воздействия на неё человека. География будущего нацелена на научное сопровождение смены технологий природопользования с целью уменьшения негативного воздействия на природу. Такое сопровождение могут обеспечить новые науки, которые уже вошли или вскоре войдут в семью географических наук: актуальная биогеография, геногеография и филогеография, биофизика ландшафта и ряд других. У нас есть все основания смотреть на меняющуюся картину мира без боязни: для её анализа и синтеза мы располагаем наукой будущего – географией.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках государственного задания Института географии РАН № FMGE-2019-0007.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Краснов А.Н.* Основы землеведения. Харьков: Тип. Зильберберга, 1895.
2. *Вернадский В.И.* Памяти А.Н. Краснова // Природа. 1916. № 10. С. 1177–1184.
3. *Ретеюм А.Ю., Серебрянный Л.Р.* География в системе наук о Земле. М.: ВИНТИ, 1985.
4. *Марков К.К.* Палеогеография. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960.
5. *Величко А.А.* Эволюционная география: проблемы и решения. Сб. избр. публ. М.: Геос, 2012.
6. *Гумилёв Л.Н.* По поводу предмета исторической географии (Ландшафт и этнос) // Вестник Ленинград. ун-та. 1965. № 18. Вып. 3. С. 112–120.
7. *Жекулин В.С.* Историческая география: Предмет и методы. Л.: Наука, 1982.

8. Есаков В.А., Рахимбеков Р.У. О предмете и содержании истории географии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1988. № 4. С. 105–109.
9. Голубчик М.М., Евдокимов С.П., Максимов Г.Н. История географии. Учеб. пос. Смоленск: изд-во СГУ, 1998.
10. Максаковский В.П. Историческая география мира: Учеб. пос. / Под ред. Е.М. Гончаровой, Т.В. Зиничевой. М.: Экопрос, 1999.
11. Стрелецкий В.Н. Историческая география и регионалистика: пути и перспективы взаимодействия // Псковский регионологический журнал. 2007. № 5. С. 3–13.
12. Mackinder H.J. The geographical pivot of history // The Geographical Journal. 1904. № 4. P. 421–37.
13. Марков К.К. Два очерка о географии. М.: Мысль, 1978.
14. Саушкин Ю.Г. Прогноз в экономической географии // Вестн. МГУ, сер. геогр. 1967. № 5. С. 39–45.
15. Саушкин Ю.Г. Географическая наука в прошлом, настоящем, будущем. М.: Просвещение, 1980.
16. Забелин И.М. Физическая география и наука будущего. М.: Гос. изд-во геогр. лит-ры, 1963.
17. Забелин И.М. Физическая география и наука будущего. Изд. 2, доп. М.: Мысль, 1970.
18. Тишков А.А. Люди нашего племени. Очерки об учёных – учителях, друзьях, коллегах. М.: Институт географии РАН, 2012.
19. Ефремов И.А. Туманность Андромеды. М.: АСТ, 2015.
20. Павлов Н. География будущего // Вокруг света. 1960. № 6. С. 59–60.
21. Век географии / Под ред. В.М. Котлякова, О.Н. Соломиной, В.А. Колосова, А.А. Тишкова. М.: Дрофа, 2018.
22. Котляков В.М. География – одна из основ современного естествознания // Земля и вселенная. 2011. № 6. С. 3–16.
23. Кокорин А.О. Изменение климата: обзор Пятого оценочного доклада МГЭИК. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014.
24. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland.
25. Bala G., Caldeira K., Mirin A. et al. Multicentury Changes to the Global Climate and Carbon Cycle: Results from a Coupled Climate and Carbon Cycle Model // Journal of Climate. 2005. V. 18. Is. 21. P. 4531–4544.
26. Climate Change and Land. An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policymakers. Bonn, 2019.
27. Соломина О.Н. Итоги 6-го оценочного доклада Международной группы экспертов по изменению климата. <https://ok.ru/scientificrussia/topic/153702063886414> (дата обращения 12.12.2021).
28. Мир в 2050 году / Под ред. Д. Франклина и Дж. Эндрюса. М.: Эксмо, 2012.
29. Crutzen P.J., Stoermer E.F. The Anthropocene // Global Change Newsletter. 2000. V. 41. P. 17–18; Crutzen P.J. We Live in the Anthropocene, So Will Our Grandchildren // Herald of the RAS. 2021. № 1. P. 13–16; Крутцен П.Й. Наши внуки, как и мы сегодня, будут жить в антропоцене // Вестник РАН. 2021. № 1. С. 82–86.
30. Тишков А.А. Биогеография антропоцена Северной Евразии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 6. С. 7–23.
31. Фатеев О., Носов Н. Искусственный интеллект в географии. <https://www.iksmedia.ru/articles/5695009-Iskusstvennyj-intellekt-v-geografii.html> (дата обращения 12.12.2021).
32. Avise J.C. The history and purview of phylogeography: a personal reflection // Molecular Ecology. 1998. V. 7. P. 371–379.
33. Тишков А.А. Географическая этика в век глобализации // Век глобализации. 2021. № 3 (39). С. 3–18.
34. Шупер В.А. Век географии глазами географов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. № 4. С. 139–140. <https://doi.org/10.31857/S2587-556620194139-140>

УСТОЙЧИВОЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ И НЕЙТРАЛЬНЫЙ БАЛАНС ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

© 2022 г. О. В. Андреева^{a,*}, Г. С. Куст^{a,**}, В. А. Лобковский^{a,***}

^aИнститут географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: andreeva@igras.ru

**E-mail: kust@igras.ru

***E-mail: v.a.lobkovskiy@igras.ru

Поступила в редакцию 25.01.2022 г.

После доработки 19.02.2022 г.

Принята к публикации 27.02.2022 г.

Активное развитие концепции устойчивого землепользования (УЗП) неразрывно связано с подходами нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ). Принято считать, что так называемые успешные практики землепользования позволяют предотвратить, снизить риск развития и обратить вспять деградацию земель при сохранении потенциала продуктивности и экосистемных функций. На основании анализа соответствия успешных практик параметрам УЗП и разработанных на этой базе иерархии и типологии землепользования (с выделением категорий “практика”, “модель”, “тип”, “класс”) показано, что отдельные практики и технологии не всегда приводят к достижению нейтрального баланса деградации земель и, наоборот, не всегда НБДЗ достигается только методами устойчивого землепользования. Моделирование УЗП с использованием качественных оценочных шкал и лепестковых диаграмм продемонстрировало высокую эффективность для визуализации целостности моделей и их корректировки с целью достижения наилучшего результата. Предложена усовершенствованная типология с тремя основными классами землепользования: простое, поддерживаемое, расширенное. Особое внимание уделено классу “иные формы”, включающему природное функционирование, долговременное забрасывание земель и разрушающее землепользование. Предложена схема-алгоритм распознавания устойчивого землепользования в случае установления нейтрального баланса, а также обратный алгоритм достижения баланса при разных моделях землепользования. Выдвинута гипотеза о ландшафтно-экологическом каркасе УЗП, позволяющая объяснить причины расхождения оценок НБДЗ для объектов разного масштаба: достижение нейтрального баланса деградации земель на определённой территории возможно не столько сплошным покрытием этой территории успешными практиками УЗП, сколько сохранением каркаса моделей, типов и классов УЗП.

Ключевые слова: земельные ресурсы, нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ), типология землепользования, ландшафтно-экологический каркас, деградация земель, успешные практики, устойчивое землепользование.

DOI: 10.31857/S0869587322060020

Устойчивое землепользование (УЗП, оригинальный англоязычный термин – “sustainable land management”) представляет собой комплексный

АНДРЕЕВА Ольга Валентиновна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования ИГ РАН. КУСТ Герман Станиславович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования ИГ РАН. ЛОБКОВСКИЙ Василий Анатольевич – кандидат географических наук заведующий отделом физической географии и проблем природопользования ИГ РАН.

подход к решению проблем деградации земельных ресурсов, сохранения потенциала продуктивности земель и экосистемных функций. Становление концепции УЗП началось к концу 1980-х – началу 1990-х годов и связано с подготовкой Саммита ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г. В Рамочном документе по оценке устойчивого землепользования [1, 2] были сформулированы пять базовых положений, определяющих, что УЗП является сочетанием технологий, стратегии и действий, направленных на интеграцию социально-экономических принципов с экологическими проблемами, чтобы од-

новременно поддерживать или улучшать производство/услуги, снижать уровень производственных рисков, защищать потенциал природных ресурсов и предотвращать ухудшение качества почвы и воды, быть экономически жизнеспособными и социально приемлемыми.

Активное развитие концепции устойчивого землепользования в последнее время неразрывно связано с применением подходов нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) согласно Цели № 15 Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 г., принятой в 2015 г.: “Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия” [3]. Принято считать, что технологии и практики устойчивого землепользования позволяют предотвратить, снизить риск развития, смягчить неблагоприятные последствия нерационального использования и обратить вспять деградацию земель [4–7].

Несмотря на огромное число работ (более 1.6 млн по хештегу “sustainable land management”, по данным Google Scholar, за 2010–2022 гг.), при всём разнообразии подходов и проработки тематики УЗП до сих пор дискуссионным остаётся понимание “устойчивости” землепользования и его интерпретация. Одни только переводы самого понятия на русский язык отличаются: “устойчивое землепользование”, “рациональное использование земель”, “устойчивое управление земельными ресурсами”. Разные авторы трактуют УЗП через разные подходы: интегрированное управление плодородием почвы [8], ресурсосберегающее сельское хозяйство и улучшенное управление пастбищами [9], улучшенное управление водными и лесными ресурсами [10], сохранение природных ресурсов для производства продовольствия [11], повышение содержания почвенного органического углерода [12], восстановление экосистем в целом [13]. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) рассматривает УЗП как путь к минимизации деградации земель, восстановлению деградированных территорий и обеспечению оптимального использования земельных ресурсов на благо нынешнего и будущих поколений [14]. Важным аспектом является отражение экономической составляющей устойчивого землепользования. Глобальная инициатива по экономике деградации земель определяет УЗП как набор возможных технологий, практик и подходов к управлению земельными ресурсами на местном уровне, а многочисленные проекты по экономической оценке экосистемных услуг подтверждают, что инвестиции в устойчивое землепользование успешно окупаются [15]. Наиболее согласованное и

ёмкое в настоящее время определение УЗП – “устойчивое использование ресурсов земель, включающих почвы, воду, растительный и животный мир, для производства товаров и услуг, отвечающих меняющимся потребностям людей, при условии обеспечения долгосрочного продуктивного потенциала этих ресурсов и сохранения их экологических функций” [16, с. 46].

Таким образом, с одной стороны, понятие “устойчивое землепользование” стало широко распространённым, а с другой – существующие подходы не дают возможности определить устойчивость той или иной конкретной практики и технологии землепользования. Авторы опираются в основном на экологические индикаторы, например, показатели эрозии почв или качество воды, однако эти параметры не всегда являются определяющими для выбора лучших практик УЗП и зависят главным образом от типа использования земель и природной зоны. Общепринятые критерии эффективности применяемых мер и устойчивости воздействий не сформулированы. Они, как правило, устанавливаются экспертной оценкой в зависимости от целевого направления той или иной технологии на локальном уровне, степени деградации земель, риска деградационных процессов, необходимости кардинального вмешательства для борьбы с деградацией земель и за сохранение экосистемных функций. Например, в статье [17] рассматривается внедрение практик и технологий УЗП как способ смягчения негативного воздействия засух на продуктивность сельхозугодий, пастбищ, лесов и лесных насаждений. Работы [7, 12] показывают, что практики устойчивого землепользования способствуют поддержанию и увеличению запасов почвенного органического углерода, который рассматривается в качестве одного из основных индикаторов состояния экосистемы и ключевого критерия для выбора технологий УЗП.

Концепция нейтрального баланса деградации земель позволила по-новому оценить подходы устойчивого землепользования, о чём свидетельствует большое количество работ за последние 5–7 лет (более 17.5 тыс. по хештегу “sustainable land management land degradation neutrality”, по данным Google Scholar). Согласно определению, утверждённому на 12 Конференции сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) [18], нейтральный баланс деградации земель (НДБЗ) – это такое “состояние, при котором объём и количество земельных ресурсов, необходимых для поддержания экосистемных функций и услуг и усиления продовольственной безопасности, остаются стабильными или же увеличиваются в конкретно определённых временных и пространственных масштабах и экосистемах”. Развитие этой концепции позволило предложить рассмотрение путей достижения НБДЗ

через иерархию откликов – мероприятий, направленных на предотвращение, сокращение и обращение вспять деградации земель [6]. Эффективность этих мероприятий (практик и технологий УЗП) мы предлагаем оценивать через достижение нейтрального баланса деградации земель на конкретной территории [19]. В работе [7] подчёркивается, что устойчивое землепользование – один из основных механизмов для достижения НБДЗ. Возможность выбора оптимальных практик устойчивого землепользования и моделирования достижения нейтрального баланса деградации земель на различных уровнях показана в статье [20], а в [21] продемонстрирована возможность использования “индекса НБДЗ” в качестве простого и эффективного инструмента, свидетельствующего об эффективной земельной политике и снижении риска деградации земель в каком-либо регионе или хозяйстве. Наконец, на основании интегрированного учёта подходов УЗП и НБДЗ нами было сформулировано и впервые предложено для использования в России определение понятия “деградация земель”, относящееся к любым категориям земель и земельным угодьям: “совокупность широкого спектра причин, явлений и процессов природного и антропогенного характера, приводящих к снижению экономического и/или природного потенциала земель и оказываемых ими экосистемных услуг, или их устойчивости к негативным воздействиям” [22, с. 63].

Однако, несмотря на эти прямые предложения и кажущуюся простоту рабочих гипотез, до сих пор не разработано каких-либо алгоритмов применения подходов НБДЗ к оценке УЗП. Причина этого была раскрыта путём детального анализа типов землепользования [20]. Выявлено, что не все так называемые успешные практики землепользования способствуют достижению нейтрального баланса деградации земель, и, наоборот, не каждый случай нейтрального баланса обязательно связан с какой-либо моделью землепользования. Этот, на первый взгляд, парадоксальный и неожиданный вывод позволил переосмыслить взаимосвязи УЗП и НБДЗ и сформулировать задачи данной работы:

- анализ содержательного соответствия наборов успешных практик параметрам УЗП;
- анализ взаимосвязей НБДЗ и УЗП, развитие подходов к типологии моделей УЗП;
- разработка алгоритма распознавания УЗП в случае установления НБДЗ и обратного;
- постановка гипотезы о ландшафтно-экологическом каркасе УЗП.

Объекты и методы. Объектами нашего исследования послужили так называемые успешные (лучшие и хорошие) практики и технологии устойчивого землепользования, описанные в различных источниках, преимущественно на между-

народных платформах обмена знаниями. Основной глобальной платформой, реализующей подходы УЗП, является сеть WOCAT (обзор мировой практики природосберегающих подходов и технологий) [23] – всемирная база данных, рекомендованная КБО ООН для документирования, оценки, распространения и обмена опытом применения лучших практик в области предотвращения деградации земель, сохранения земельных и водных ресурсов. Эта база насчитывает более 2 тыс. успешных практик из 133 стран.

ФАО также предоставляет многочисленные научно-справочные материалы и базы данных как для специалистов, так и для местных землепользователей: FAOSTAT, TERRASTAT, AQUASTAT и FORIS, которые содержат информацию по сельскому хозяйству, земле, воде и лесам. Здесь обобщаются данные о системах землепользования, земельных ресурсах и поддержке принятия решений (LRIS), данные глобальной системы наблюдения за сушей (GTOS), цифровая карта почв мира ФАО/ЮНЕСКО, Глобальное исследование агроэкологических зон ФАО/IIASA (GAEZ) и Оценка лесных ресурсов (FRA), Сеть почвенно-растительного покрова (GLCN), а также программа “Деградация земель. Оценка деградации земель в засушливых районах” (LADA). Международные инициативы, такие как Азиатско-Тихоокеанская сеть агролесомелиорации (APAN), Сеть управления водосборами в Азии (WATMAN), Азиатско-Тихоокеанская сеть агролесоводства (APAN), Сеть по комплексному управлению засоленными почвами (SPUSH), Инициатива стран Центральной Азии по управлению земельными ресурсами (CACILM), содержат подробные описания успешных практик землепользования и опыта борьбы с деградацией земель на локальном и региональном уровнях.

В России пока нет аналогичных сетевых ресурсов, однако в учебных и специальных научных изданиях накоплен большой опыт по разработке, внедрению и распространению практик, направленных на борьбу с водной и ветровой эрозией почв, переувлажнением, засолением, осолонцеванием и уплотнением почв, загрязнением почв и вод. Описаны технологии определения оптимального соотношения минеральных удобрений, расчёт допустимой нагрузки на пастбища, создание конструкций защитных лесополос, управление лесами и др. Примером одной из наиболее активно развивающихся баз данных по обмену опытом применения ресурсосберегающих технологий служит платформа “Агроэкомиссия” (успешные практики с применением технологий точного земледелия, минеральных и органических удобрений, мониторинга запасов почвенного органического углерода) [24].

Таблица 1. Качественная шкала для характеристики степени проявления параметров оценки

Генерализованные параметры устойчивости землепользования	Степень проявления				
	отсутствуют или очень низкие	низкие	умеренные	высокие	очень высокие
1. Неблагоприятные природные процессы и явления (актуальные) – ПП	5	4	3	2	1
2. Неблагоприятные антропогенные воздействия и вызванные ими процессы (актуальные) – АП	5	4	3	2	1
3. Риск развития деградационных явлений (потенциальные деградационные процессы) – Р	5	4	3	2	1
4. Природный и/или расширенный потенциал земель – ПЗ	1	2	3	4	5
5. Способность земель к самовосстановлению, адаптационные технологии, компенсационные и восстановительные мероприятия – В	1	2	3	4	5

Методической основой для анализа успешных практик и моделей землепользования в рамках данной работы послужили подходы к типологии объектов землепользования, опубликованные нами ранее [20, 25]. Напомним наиболее существенные из них.

Определены понятия “объект землепользования” и “модель землепользования”. Под объектом землепользования понимается целостный ландшафтно-хозяйственный объект с определёнными границами на местности, в пределах которого оценивается эффективность применяемых практик и достижение НБДЗ. Моделью землепользования предложено называть центральный образ совокупности практик и технологий (в отличие от частных местных практик), которые имеют сходные технологические приёмы, природные и социально-экономические условия и потенциал, риски деградации земель (включая антропогенные воздействия), возможность и способы достижения нейтрального баланса.

Предложен набор из девяти признаков распознавания устойчивости землепользования: природное негативное воздействие, антропогенное негативное воздействие, риск деградации, природный/исходный потенциал, способность к самовосстановлению, искусственное поддержание баланса/восстановления, адаптационные технологии, инновационные технологии для расширения потенциала, достаточность ресурсов и социально-экономических условий. Сформулированы подходы к типологии моделей УЗП и описана

иерархия практик землепользования с выделением категорий “практика”, “модель”, “тип”, “класс”. Основой для классификации послужил характер используемых ресурсов (природные, поддерживаемые, расширенные), а для типов – ведущий для данного класса признак.

Апробация перечисленных подходов показала, что выделение типов и классов моделей устойчивого землепользования является прогрессивным, поскольку позволяет обосновать рекомендации выбора конкретных практик. В то же время их внедрение затруднительно из-за недоработанной системы экспертной оценки параметров устойчивости землепользования и отсутствия ясных алгоритмов идентификации НБДЗ.

В целях улучшения подходов нами была разработана качественная шкала, основанная на пяти генерализованных параметрах устойчивости землепользования, оцениваемых по степени их проявления (табл. 1). Интегральная оценка и визуализация результатов проводилась с помощью лепестковых диаграмм (рис. 1).

Анализ совокупностей практик землепользования. В рамках отдельной статьи трудно отразить полные результаты проведённого анализа разных практик и моделей, поэтому покажем их на некоторых примерах, демонстрируя влияние индивидуальных и интегральных практик на устойчивость моделей землепользования. Ниже рассмотрены три модели: восстановление и поддержание горных пастбищ (см. рис. 1, *а*), ирригация на засоленных почвах (см. рис. 1, *б*), противоэрозион-

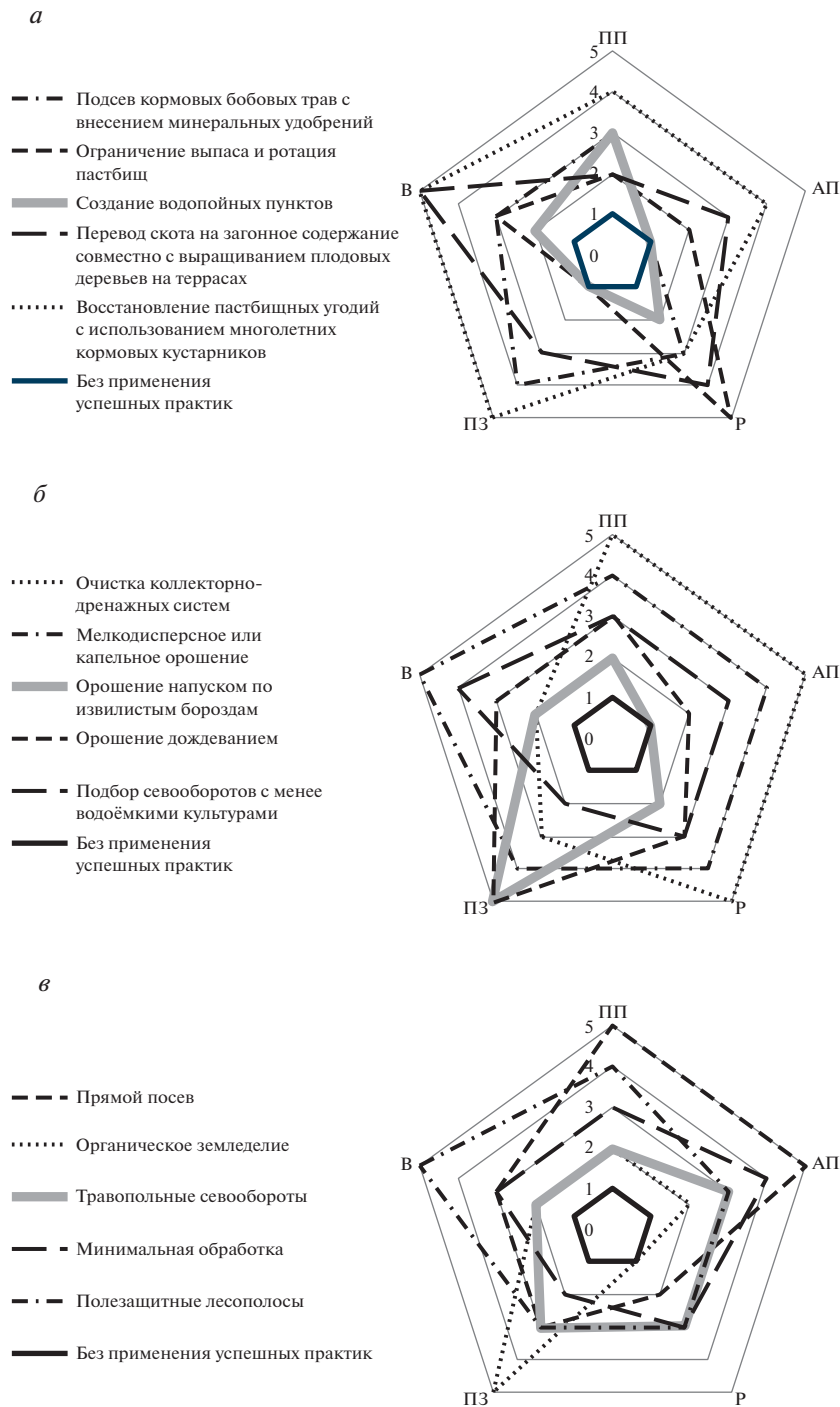


Рис. 1. Примеры анализа моделей устойчивого землепользования:

а – восстановление и поддержание продуктивности горных пастбищ; *б* – орошаемое земледелие на засоленных почвах; *в* – противоэрозионные системы земледелия; ПП, АП, Р, ПЗ, В – см. обозначения в таблице

ные системы земледелия на богарных землях (см. рис. 1, *в*). Диаграммы помогают прийти к следующим заключениям.

Любая практика, описываемая отдельными многоугольниками, всегда отличается лучшими

характеристиками, чем исходное состояние, за которое принимается “business-as-usual” – исходное состояние без применения успешных практик и характеризуемое худшими характеристиками оцениваемых параметров (“1” по принятой шкале). Площадь каждого многоугольника мож-

но считать относительной характеристикой суммарной эффективности соответствующей практики. Каждая практика ориентирована, как правило, на улучшение только определённых параметров модели, например, на снижение интенсивности неблагоприятных антропогенных и природных процессов, предупреждение рисков, повышение адаптационной способности или способности к самовосстановлению; другие параметры могут быть улучшены опосредованно или вообще быть не затронуты конкретной практикой.

Модель УЗП – это совокупность успешных практик, и только их сочетание может приводить к повышению устойчивости модели в целом. В данной системе целостность модели УЗП описывается общей площадью фигуры, включающей внешний периметр всех многоугольников. Острота углов итоговой фигуры может служить признаком разбалансированности совокупности практик, выбранных для конкретного случая.

При стремлении к максимально возможной устойчивости модель УЗП должна иметь в своём составе практики, имеющие максимальные значения по всем параметрам. Это достигается путём добавления в модель практик, направленных на улучшение недостающих параметров. В приведённых примерах намеренно представлены не все практики, соответствующие выбранным моделям, чтобы продемонстрировать синергетический и кумулятивный эффекты усиления. Например, пастбищную модель можно было бы дополнить практикой создания ограждений, которая направлена на укрепление самовосстановления экосистемы и снижение рисков до минимальных значений; ирригационную модель – технологией использования солеустойчивых культур, отличающуюся не только снижением рисков, но и повышением потенциала восстановления, снижением негативного воздействия природных процессов; противоэрозионную модель – террасированием склонов, снижающим риски, негативные следствия антропогенных процессов и повышающие потенциал системы.

Несмотря на то, что некоторые практики не отражают улучшение в максимальной степени по каким-либо из выбранных параметров, они тем не менее усиливают общий вес устойчивости соответствующей модели УЗП, её интегральную или синергетическую эффективность. К таким, в частности, относятся многие практики, направленные на совершенствование или восстановление и поддержание инфраструктуры (дороги, коммуникации, другие фундаментальные сооружения и инженерные мероприятия).

Пентаграммы моделей устойчивого землепользования представлены схематично для отражения принципа исследования, хотя очевидно,

что параметры модели могут быть расширены до исходных девяти признаков и более (например, включать параметры социально-экономической эффективности), качественные шкалы также могут быть модифицированы (например, включать больше пяти рангов предложенной номинативной шкалы, отражать численные значения и т.д.).

Предложенный подход моделирования и визуализации УЗП позволяет по-новому охарактеризовать практики, приёмы и технологии с позиции их успешности или устойчивости: каждая практика рассматривается в составе определённой модели УЗП и направлена на улучшение её параметров/признаков. При этом определение устойчивости модели землепользования производится на основе комплексного анализа практик, оцениваемых в границах какой-либо территории по количественным и качественным шкалам. Важны также выявление “узких мест” в землепользовании и обоснование внедрения необходимого набора практик (технологий), направленных на реализацию параметров устойчивости (снижение рисков, интенсивности негативных процессов, компенсационные мероприятия, поддержка самовосстановления).

Взаимосвязь НБДЗ и УЗП. Совершенствование типологии моделей землепользования. Как отмечалось выше, современное развитие концепции УЗП неразрывно связано с применением подходов НБДЗ. Однако проверка рабочей гипотезы о том, что любая практика устойчивого землепользования или их совокупность приводят к достижению нейтрального баланса и что факт установления баланса свидетельствует об устойчивости землепользования, показала: этот, на первый взгляд, очевидный тезис не всегда соблюдается, и его нельзя рассматривать как аксиому [20]. Основная причина расхождения видится в первую очередь в том, что установление нейтрального баланса деградации земель проводится без семантического анализа баланса экосистемных функций и услуг, а лишь на основании формальных признаков. В качестве последних обычно выступают признаки негативной динамики наземного покрова, продуктивности и запасов почвенного органического углерода (глобальные индикаторы НБДЗ) или их аналоги и дополнительные индикаторы национального и местного уровня [6, 20, 21, 26]. Приведённые примеры моделей землепользования наглядно демонстрируют, что на устойчивость землепользования также оказывают значительное влияние смысловые признаки: риск деградации, природный и актуальный потенциал земель, способность их к восстановлению, природные процессы и явления.

Обобщение результатов анализа разнообразных моделей землепользования позволило усовершенствовать предложенную нами типоло-



Рис. 2. Классы землепользования:

a – эксплуатируемые ресурсы, потенциал, способность к восстановлению, возможности достижения НБДЗ в перспективе; *b* – риски, деградационные процессы, набор практик УЗП

гию [20]. В обновлённой версии (рис. 2) сохранены (с небольшими изменениями) три основных класса УЗП – простое, поддерживаемое, расширенное. Каждый из них рассмотрен с позиций эксплуатируемых ресурсов, потенциала (природного и актуального), способности к восстановлению, возможности достижения НБДЗ в кратко-

срочной или долгосрочной перспективе (см. рис. 2, *a*), рисков, деградационных процессов, набора практик УЗП (см. рис. 2, *b*). Особое внимание уделено классу “иные формы” (отнесение которого к УЗП спорно), включающему природное функционирование, долговременное забрасывание земель, разрушающее землепользование, ве-



Рис. 3. Типы УЗП. Принципиальная схема (на примере модели УЗП по пастбищному животноводству) формирования интегрального набора успешных практик в зависимости от исходного состояния (базовой линии) и иерархии компенсационных мероприятий

Стрелками указано направление изменения риска деградации: светлый цвет соответствует низкому риску, интенсивный цвет – высокому риску

лучшее к полной или частичной потере природного потенциала.

В контексте этой типологии и рассмотренной выше методологии анализа моделей УЗП можно сделать вывод, что отдельные практики не всегда могут быть отнесены к устойчивым, особенно в случаях, когда необходимы активные действия по реабилитации или поддержанию актуального (расширенного) потенциала земель, либо практики плохо согласованы между собой и направлены на разные цели (например, получение экономических или экологических выгод). Это ещё раз подтверждает, что применение термина “устойчивое землепользование” (или “практика УЗП”) в отношении конкретных практик или технологий не имеет смысла, поскольку он касается только моделей землепользования. Такие модели включают в себя набор элементов (практик, тех-

нологий), в отношении которых правильнее говорить “успешные” или “лучшие”.

По сравнению с информацией в статье [20] принцип выделения типов для моделей УЗП (в пределах соответствующих классов) также сохранён – по ведущим признакам наблюдаемого природного или актуального потенциала, однако при этом обновлённая типология представляется более строгой и обоснованной. Предлагается оценивать потенциал земель, используя сравнение с исходным состоянием (базовой линией НБДЗ) и, руководствуясь этим, подбирать набор успешных практик для конкретного типа модели УЗП. В данном случае предложенный подход полностью соответствует концепции нейтрального баланса деградации земель в отношении требований к “базовой линии” [6, 27]. Пример такой типологии для пастбищной модели устойчивого землепользования приведён на рисунке 3. Видно,

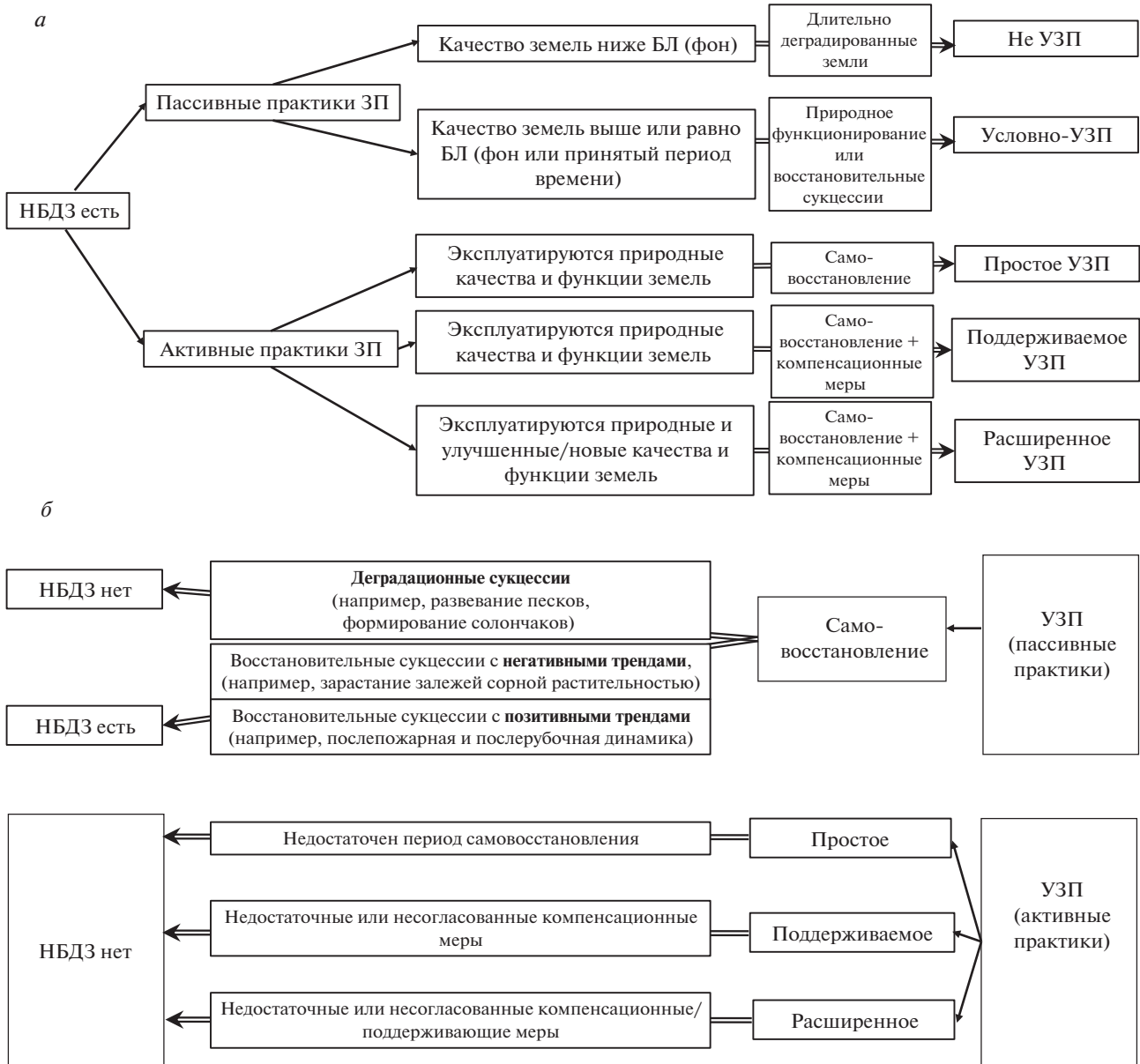


Рис. 4. Связь устойчивого землепользования и нейтрального баланса деградации земель:

а – алгоритм распознавания УЗП в случае установления НБДЗ; *б* – обратный алгоритм возможности установления НБДЗ при разных моделях УЗП

что типу УЗП с высоким природным потенциалом соответствуют низкий риск деградации и минимальный набор мер, необходимых для достижения нейтрального баланса. Напротив, для типа УЗП с низким природным потенциалом требуется расширенный набор действий по достижению НБДЗ и снижению рисков деградации земель.

Уточнённая типология моделей УЗП позволила конкретизировать случаи, когда достижение НБДЗ следует рассматривать как признак УЗП (см. рис. 4, *а*) и в каких случаях набор успешных практик приведёт к достижению НБДЗ (см. рис. 4, *б*). С этой целью в алгоритмы вводятся дополнитель-

ные понятия “активных” и “пассивных” практик землепользования. В качестве пассивных мы рассматриваем фактическое отсутствие каких-либо специальных действий, направленных на поддержание природных или антропогенных экосистем. В некоторых случаях (например, отнесённые нами к “иным формам” заповедные территории или залежные земли) такие ситуации также могут рассматриваться как способ землепользования, даже иногда направленный на восстановление или не ухудшение земель. Однако их отличительной особенностью является отсутствие (или прекращение) непосредственного антропогенного вмеша-

тельства на данный момент времени. Активные же практики в любом случае предполагают какую-либо форму внешнего воздействия или изменения экосистем. Из рисунка 4, *а* видно, что в случае установления нейтрального баланса деградации земель по формальным признакам (индикаторам) только активные практики землепользования в сочетании с самовосстановлением и достаточными компенсационными и поддерживающими мерами могут быть охарактеризованы как модели устойчивого землепользования.

К условно устойчивым отнесены модели, при которых даже в случае пассивных практик природные процессы способствуют достижению НБДЗ по формальным индикаторам (старовозрастные леса, долговременные залежи). Рисунок 4, *б* демонстрирует, что, несмотря на определённый набор успешных активных практик, НБДЗ не может быть достигнут, если компенсационные меры недостаточны или не согласованы, или эти практики не учитывают необходимой длительности периода самовосстановления природных систем. Наоборот, в некоторых пассивных практиках достижение НБДЗ вполне возможно, причём как при трендах, воспринимаемых человеком в качестве позитивных, так и в случае негативных процессов.

Предложенные алгоритмы соответствия НБДЗ и УЗП хорошо подтверждаются новейшими работами [28, 29], в которых показано, что динамика деградации земель во многом обусловлена природными или природно-антропогенными факторами и процессами (например, климатический фактор [29], голоценовая динамика ландшафтов [28], изменение гидрологии и гидрогеологии при развитии ирригационных систем [30]), имеющими более высокий преобразующий потенциал, чем отдельные практики землепользования. Последние же выступают в роли триггеров этих процессов, изменяя их направление в положительную или отрицательную сторону, и определяют интенсивность и тип процессов и режимов, устанавливаемых с помощью глобальных или дополнительных индикаторов [31] (эрозия почв, засоление и рассоление, уплотнение и оструктуривание почв, накопление или потеря органического вещества). Соответственно, помимо оценки возможности и степени достижения НБДЗ по формальным индикаторам важна и оценка рисков недостижения нейтрального баланса деградации земель (см. рис. 2, *а*; 3; 4, *б*). Риски недостижения НБДЗ могут проявляться как раз на фоне широкого применения успешных практик и моделей землепользования, что представляется отдельной перспективной темой для исследования.

Таким образом, подтвердился ранее высказанный нами тезис о том, что не всегда нейтральный баланс деградации земель и устойчивое земле-

пользование находятся в прямом соответствии, следовательно, необходимо рассматривать каждый конкретный случай. В этом помогут разработанная типология моделей УЗП и предложенные алгоритмы распознавания.

Ландшафтно-экологический каркас УЗП. Практическое применение алгоритмов сопоставительного анализа УЗП и НБДЗ на основе разработанной типологии моделей УЗП позволили вновь обратить внимание на то, что для установления нейтрального баланса важную роль играет масштаб рассмотрения проблемы [32, 33]. Так, отдельные административные районы, области и страны могут считаться достигшими баланса, хотя на уровне входящих в них хозяйств, ландшафтов и местностей его может не быть, причём даже в пределах потенциально устойчивых объектов, например, биосферных резерватов.

Осмысление причин этого явления с учётом предложенной типологии устойчивого землепользования, а также географический анализ распространения его практик в совокупности с особенностями современной системы хозяйствования в России позволили выдвинуть гипотезу о том, что возможность достижения НБДЗ на определённой территории обусловлена не столько сплошным покрытием этой территории успешными практиками устойчивого землепользования, сколько сохранением экологического каркаса моделей, типов и классов УЗП. Такой каркас включает два типа основных элементов: участки, в которых баланс достигнут (мы называем их “ядрами”), и пространственно распределённую структуру моделей УЗП, где баланс может быть достигнут посредством подбора совокупности соответствующих практик и технологий землепользования. Этот каркас (при условии сохранения соответствующей структуры и заданного количества ядер), по всей видимости, должен позволять при минимальных затратах поддерживать на территории устойчивость землепользования и его конкретных моделей, отличающихся высоким природным потенциалом или эффективными технологиями землепользования. К таковым, например, относятся массивы пахотных земель, на которых применяются адаптивно-ландшафтные и почвосберегающие технологии, сеть защитных лесополос, гидрологические сети бассейнов рек с их поймами и долинами, особо охраняемые природные территории и экологические коридоры между ними.

Представляется, что для более корректного прогнозирования устойчивости землепользования и достижения нейтрального баланса деградации земель на конкретных территориях эту гипотезу следует развивать в направлениях, которые вытекают из разработанной типологии УЗП и ал-

горитмов идентификации моделей УЗП с помощью подходов НБДЗ:

- обоснование границ ландшафтно-экологических каркасов УЗП для территорий со сходными природными условиями (например, в границах водосборных бассейнов, почвенных округов и районов) и/или типами хозяйственно-экономической деятельности (пахотное земледелие, пастбищные угодья);

- рассмотрение ядер ландшафтно-экологических каркасов УЗП как основных территориальных элементов, в пределах которых реализована цель достижения НБДЗ и которые могут служить местными образцами (точками тяготения) для долговременного поддержания и расширения природного потенциала территории;

- анализ роли ландшафтно-экологических каркасов УЗП в снижении рисков деградации земель и получении сопутствующих выгод (в англоязычной литературе “multiple benefits”), в частности, в области сохранения биологического разнообразия, смягчения последствий изменения климата и адаптации к ним, снижения социальной и экономической уязвимости;

- исследование неоднородности каркасов в связи с дифференциацией моделей и ядер УЗП по неравномерности пространственного и временного эффекта их применения: например, обводнение ранее осушенных торфяников в Белоруссии и российском Нечерноземье (водные мелиорации) имеет существенный пространственный эффект; другие, например, почвосберегающие технологии прямого посева no-till, имеют долгосрочный накопительный эффект, связанный с восстановлением природоподобных почв; третьи обладают и накопительным, и пространственным эффектом, в том числе на сопредельные и даже отдалённые территории (создание системы лесополос на отдельных сельскохозяйственных массивах или обширных территориях);

- исследование неоднородности каркасов в контексте составляющих его моделей УЗП, поскольку каркас может быть представлен однородными или разными классами моделей устойчивого землепользования (простыми, поддерживаемыми, расширенными и пр.); понимание этого необходимо для определения путей достижения нейтрального баланса в пределах конкретного каркаса;

- оценка устойчивости однородных и неоднородных каркасов: если в условиях отдельных хозяйств для поддержания УЗП достаточно отслеживать устойчивость конкретных моделей, то для неоднородных объектов именно ландшафтно-экологический каркас требует мониторинга, а не отдельные кластеры НБДЗ и модели УЗП, а тем более — отдельные успешные практики; такой подход определяется динамичностью систем зем-

лепользования, их подверженностью внешним факторам (мелиорация, освоение, изменения климата), взаимодействием её элементов, характеризующихся сменой рисков и процессов (в случае таких изменений предлагаемые подходы предполагают корректировку набора практик, включая иерархию мер по поддержанию, смягчению, восстановлению, а в особых случаях — по пересмотру моделей УЗП, реализуемых в проблемных кластерах);

- динамика становления каркасов, характерное время для реализации адаптационных мероприятий и технологий;

- разработка подходов к оценке влияния социально-экономических факторов на эффективность практик землепользования.

Активное развитие концепции устойчивого землепользования в последние годы неразрывно связано с применением подходов нейтрального баланса деградации земель. В науке и практике землепользования принято считать, что технологии и практики УЗП позволяют смягчать неблагоприятные последствия нерационального использования земель и достигать нейтрального баланса деградации земель. Однако, как показывают результаты исследований, положительные эффекты наблюдаются не всегда. Для понимания причин этих расхождений проведён анализ успешных практик землепользования, описанных в специализированных международных базах обмена информацией по параметрам УЗП, и продемонстрированы способы описания моделей УЗП с помощью средств визуализации.

Подтверждены ранее опубликованные [21] подходы к типологии объектов землепользования: основная терминология, перспективность семантического описания устойчивости (неустойчивости) через совокупность признаков, иерархия способов землепользования с выделением категорий “практика”, “модель”, “тип”, “класс”. Предложена качественная шкала оценки степени проявления признаков устойчивого землепользования, и на её основе проведена оценка совокупностей практик землепользования для трёх выбранных моделей УЗП: восстановление и поддержание горных пастбищ, ирригация на засоленных почвах, противоэрозионные системы земледелия на богарных землях.

Моделирование УЗП с использованием предложенного метода продемонстрировало высокую эффективность при визуализации моделей и их корректировки для достижения наилучшего результата и целостности подходов УЗП в отношении конкретных моделей. Приведённые примеры визуализированных моделей устойчивого земле-

пользования наглядно демонстрируют причины возможного несоответствия при достижении целей НБДЗ и практик УЗП. Выявлено, что на устойчивость землепользования, помимо достижения нейтрального баланса деградации земель с помощью определённых технологий, оказывают влияние такие параметры, как риск деградации, природный и актуальный потенциал земель, способность их к восстановлению, природные процессы и явления.

Предложена усовершенствованная типология классов землепользования: простое, поддерживаемое, расширенное. Составлена принципиальная схема выделения типов устойчивого землепользования, основанная на иерархии мер и оценке исходного состояния (базовой линии) нейтрального баланса деградации земель. Отнесение практики к тому или иному типу позволяет выдвигать предложения по адекватному набору успешных мер для улучшения модели УЗП и достижения НБДЗ.

Разработана схема-алгоритм распознавания УЗП в случае установления НБДЗ, а также обратный алгоритм возможности достижения НБДЗ при разных моделях УЗП. Акцент сделан на необходимость оценки рисков недостижения баланса. Выдвинута гипотеза о ландшафтно-экологическом каркасе УЗП, позволяющая объяснить причины расхождения оценок НБДЗ для объектов разного масштабного уровня. Установлено, что достижение нейтрального баланса деградации земель на определённой территории обусловлено в большей степени сохранением каркаса моделей, типов и классов землепользования. Предложены перспективные направления дальнейшего развития этой гипотезы, касающиеся определения размеров ландшафтно-экологических каркасов, их состава, динамики, применимости для разных объектов, мониторинга их состояния.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2022-0001.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Smyth A.J., Dumanski J.* FESLM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management // World Soil Resources Report. 1993. № 73. <https://www.faoswalim.org/resources/Land/FESLM.pdf>
2. *Dumanski J.* Criteria and indicators for land quality and sustainable land management // ITC Journal. 1997. № 3/4. P. 216–222.
3. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development // Resolution adopted by the General Assembly. 2015. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
4. *Fernandes E., Burcroff R., Anderson J. et al.* Sustainable land management. Challenges, opportunities, and trade-offs // The World Bank. Washington, 2006. <http://documents.worldbank.org/curated/en/973741468135939915/Sustainable-land-management-challenges-opportunities-and-trade-offs>
5. *Akhtar-Schuster M., Stringer L.C., Erlewein A. et al.* Unpacking the concept of land degradation neutrality and addressing its operation through the Rio Conventions // J. Environ. Manage. 2017. V. 195. P. 4–15.
6. *Orr B.J., Cowie A.L., Castillo Sanchez V.M. et al.* Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality // A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, 2017.
7. *Sanz M.J., Vente J. de, Chotte J.-L. et al.* Sustainable Land Management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation // A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, 2017.
8. Глобальное почвенное партнёрство. Пленарная ассамблея, 6 сессия. Рим, 11–13 июня 2018 г. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/sixth_plenary/RUSSIAN/GSPPA_VI_2018_3_r.pdf
9. *Liniger H.P., Studer R.M., Hauert C., Gartner M.* Sustainable Land Management in Practice // Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. 2011. <https://www.fao.org/3/i1861e/i1861e00.pdf>
10. State of Europe's Forests 2020 // Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf
11. Устойчивое производство продовольствия и ведение сельского хозяйства. <https://www.fao.org/sustainability/background/ru/>
12. *Chotte J.L., Aynekulu E., Cowie A. et al.* Realising the Carbon Benefits of Sustainable Land Management Practices: Guidelines for Estimation of Soil Organic Carbon in the Context of Land Degradation Neutrality Planning and Monitoring // A report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, 2019. https://catalogue.unccd.int/1209_UNCCD_SPI_2019_Report_1.1.pdf
13. *Critchley W., Harari N., Mekdaschi-Studer R.* Restoring Life to the Land: The Role of Sustainable Land Management in Ecosystem Restoration. 2021. https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2021-10/211018_RestoringLifetotheLand_Report%20%282%29.pdf
14. Sustainable Land Management. https://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd16/documents/fao_factsheet/land.pdf
15. *Barbier E.B., Hochard J.P.* Land Degradation, Less Favored Lands and the Rural Poor: A Spatial and Economic Analysis // A Report for the Economics of Land Degradation Initiative. [ELD_assessment_2015_web.pdf](http://eld-initiative.org)
16. *Liniger H., Mekdaschi R., Moll P., Zander U.* Making sense of research for sustainable land management.

- https://www.ufz.de/export/data/2/126685_full_version_WOCAT_Glues.pdf
17. *Reichhuber A., Gerber N., Mirzabaev A. et al.* The Land-Drought Nexus: Enhancing the Role of Land-Based Interventions in Drought Mitigation and Risk Management // A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). Bonn, Germany, 2019. https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2019-08/03EP_UNCCD_SPI_2019_Report_2.pdf
 18. UNCCD 2015. Integration of the Sustainable Development Goals and targets into the implementation of the United Nations Convention to Combat Desertification and the report of the Intergovernmental Working Group on Land Degradation Neutrality. https://www.unccd.int/sites/default/files/sessions/documents/ICCD_COP12_4/4eng.pdf
 19. *Kust G., Andreeva O., Cowie A.* Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment // *J. Environ. Manage.* 2017. V. 195. P. 16–24.
 20. *Andreeva O.V., Lobkovsky V.A., Kust G.S., Zonn I.S.* The Concept of Sustainable Land Management: Modern State, Models and Typology Development // *Arid Ecosyst.* 2021. V. 11. P. 1–10.
 21. *Андреева О.В., Куст Г.С.* Оценка состояния земель в России на основе концепции нейтрального баланса их деградации // *Известия РАН. Серия географическая.* 2020. № 5. С. 737–749.
 22. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)” / Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. Т. 2. М.: МБА, 2019.
 23. WOCAT. Global Database on Sustainable Land Management. 2022. <https://www.wocat.net/en/global-slm-database>
 24. Агроэкомиссия. База знаний по лучшим ресурсосберегающим технологиям земледелия. 2022. <https://agriecommission.com/>
 25. *Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А., Костовская С.К.* Методические подходы к разработке типологии моделей устойчивого землепользования // *Экология урбанизированных территорий.* 2019. № 3. С. 34–40.
 26. Trends earth. Tracking the change. Conservation International. 2022. <https://trends.earth/docs/en/>
 27. *Лобковский В.А., Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковская Л.Г.* Пути выбора индикаторов для оценки нейтрального баланса деградации земель с учётом локальных и региональных особенностей России // *Экология урбанизированных территорий.* 2020. № 3. С. 75–82.
 28. *Андреева О.В., Куст Г.С.* Учёт разнонаправленных трендов ландшафтной динамики в голоцене для современной оценки нейтрального баланса деградации земель // V Всероссийская конференция “Динамика экосистем в Голоцене”. 11–15 ноября 2019 г. С. 24–26.
 29. *Золотокрылин А.Н.* Глобальное потепление, опустынивание/деградация и засухи в аридных регионах // *Известия РАН. Серия географическая.* 2019. № 1. С. 3–13.
 30. *Зайдельман Ф.Р.* Деградация мелиорируемых почв России и сопредельных стран в результате антропогенного изменения их водного режима и способы защиты. Воронеж: Кварта, 2014.
 31. *Лобковский В.А., Андреева О.В., Куст Г.С.* Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России // *Известия РАН. Серия географическая.* 2022. № 1. С. 1–18.
 32. *Куст Г.С., Лобковский В.А., Андреева О.В., Костовская С.К.* Деградация земель и опустынивание в России: новейшие подходы к анализу проблемы и поиску путей решения. М.: Перо, 2019.
 33. *Куст Г.С., Андреева О.В., Лобковский В.А., Славко В.Д.* Проблемы землепользования и деградации земель в контексте Программы ЮНЕСКО “Человек и биосфера” // *Вопросы географии.* 2021. Т. 152. С. 222–252.

ЛАНДШАФТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ НА ПУТИ К ИНТЕГРАЦИИ В РЕГИОНАЛЬНУЮ ПОЛИТИКУ

© 2022 г. К. Н. Дьяконов^{а,*}, А. В. Хорошев^{а,**}

^аМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: diakonov.geofak@mail.ru

**E-mail: avkh1970@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.01.2022 г.

После доработки 10.02.2022 г.

Принята к публикации 21.02.2022 г.

Одно из современных направлений ландшафтоведения – социально-ориентированное (ландшафтное планирование, оценка воздействия на окружающую среду, эстетика и дизайн ландшафта). Но в России оно оказалось вне региональной политики, понятие, теория и практика которой не включают в себя ландшафтное планирование. Показательно, что Европейская ландшафтная конвенция, принятая в 2000 г., до настоящего времени не ратифицирована законодательными органами РФ. Между тем ландшафтно-экологическая идеология территориального планирования позволяет выработать планировочные решения с равноправным учётом не только собственных свойств территории, но и её функций в системе более крупного ранга. Базовыми единицами такого планирования становятся природные ландшафтные единицы. Пространственное решение принимается после тщательного анализа функциональной значимости природного территориального комплекса с точки зрения сохранения ландшафтного разнообразия региона или страны в целом. Осуществляется прогноз возможных цепных реакций между компонентами ландшафта. При размещении угодий и определении их оптимальных пропорций, размеров, конфигурации, ориентации учитываются латеральные связи между геосистемами. Регулирование использования угодий во времени опирается на прогноз динамических и эволюционных изменений. Многообразие ландшафтных процессов и ценностей принимается во внимание для выявления возможностей многофункционального использования элементов ландшафта. Ландшафтное планирование может стать действенным инструментом региональной политики, который позволит сгладить противоречия между природными ограничениями и угрозами, необходимостью сохранения экологических ценностей, экономическими и социальными интересами.

Ключевые слова: ландшафт, планирование, региональная политика, ценность, поток, экологический каркас, пригодность, угодье, размещение.

DOI: 10.31857/S0869587322060044

В системе географических наук ландшафтоведение занимает одно из центральных мест. Это наука о взаимосвязях в природе, синтезирующая знания об отдельных оболочках планеты: литосферы, атмосферы, гидросферы, биосферы и техносферы. Ландшафтоведение выступает теоретической основой региональной геоэкологии. В число

ДЬЯКОНОВ Кирилл Николаевич – член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. ХОРОШЕВ Александр Владимирович – доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

задач ландшафтоведения, как и всех фундаментальных наук, входит установление законов и закономерностей пространственно-временной организации ландшафтной оболочки Земли, разработка ландшафтного прогноза, в том числе оценка воздействия на окружающую среду как составной части социально-экономического прогнозирования и стратегического планирования в целях устойчивого развития, обоснование оптимизации территориальной организации общества путём решения региональных геоэкологических проблем и проблем природопользования. Всё это, по логике вещей, должно входить в понятие “региональная политика”, её ландшафтно-эко-

логического направления и отражаться в практических действиях государства.

Общепринятой дефиниции региональной политики не существует. Следуя определению доктора географических наук Л.В. Смирнягина, “региональная политика — законодательно оформленная система государственных мер, непосредственно направленная на решение задачи комплексного развития регионов страны с помощью перераспределения ресурсов между регионами. Как правило, главными целями региональной политики выступают сокращение диспропорций в уровне жизни и условиях хозяйствования между частями государства; межрегиональное сотрудничество и территориальная целостность государства. Наиболее распространённые меры региональной политики — финансирование (бюджет), администрирование (запреты, разрешения и льготы и развитие инфраструктуры)” [1, с. 211].

С сожалением отметим, что в концепции региональной политики (а в её разработке принимали участие экономико-географы, доктора наук) места ландшафтоведению или ландшафтной экологии не нашлось. Мы же полагаем, что ландшафтная политика — часть региональной, она включает в себя действия органов государственной власти, научных и проектных организаций, направленные на решение региональных и локальных геоэкологических и социально-экономических проблем на основе конструктивного и адаптивного подходов к природопользованию в самых разнообразных его формах пространственно-временной организации [2]. Реализация такой политики позволяет принимать специальные меры в целях охраны природы, управления ландшафтом. Неслучайно в ст. 1 Европейской ландшафтной конвенции¹ речь идёт об охране любых территорий, а не только особенно ценных с какой-то точки зрения. Конвенция призвана способствовать развитию ландшафтного планирования, интеграции его в стратегическое и территориальное планирование, в оценки воздействия на окружающую среду. Ландшафты с их разнообразием и ценными функциональными свойствами — всеобщий ресурс общества, напрямую связанный с повышением качества жизни, вот почему для их сохранения важно закрепление понятия ландшафта в национальном законодательстве.

Территориальное планирование в России: почему современная практика не всегда отражает ландшафтную реальность? Существующая в нашей стране система территориального планирования с позиций внимания к природным пространственным различиям носит двойственный харак-

тер. С одной стороны, в основных нормативных актах прослеживается стремление к формализации видов зонирования (в том числе зон с особыми условиями использования) для введения тех или иных ограничений на землепользование, установлению точных размеров зон. Яркий пример — размеры большинства видов защитных лесов и особо защитных участков леса, водоохраных зон. С другой стороны, методические рекомендации по составлению документов территориального планирования включают немало требований к зонированию, прямо или косвенно основанному на учёте экологической ценности и устойчивости природных комплексов к антропогенным нагрузкам. Так, в Методических рекомендациях по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов Российской Федерации [3] содержатся понятия зон интенсивного, экстенсивного и ограниченного развития территорий, отличающихся степенью воздействия на окружающую природную среду, и экологического каркаса (как разновидности планировочного каркаса вместе с экономическим и социальным). Эти категории территориального деления, безусловно, могут и должны опираться на глубокое понимание планировщиком причин и значимости ландшафтной мозаичности для определения допустимого набора видов землепользования.

В то же время реальному осуществлению этих остро необходимых видов зонирования и утверждению их в планировочных документах нередко препятствует рекомендательный статус. Для сравнения заметим, что в законодательстве соседней страны со сходными социально-экономическими традициями — Республики Казахстан — эти же категории имеют более высокий и обязательный статус, так как прописаны непосредственно в законе, регламентирующем территориальное планирование [4].

Как справедливо отмечает доктор географических наук Е.Ю. Колбовский, “ландшафт в России до сих пор не стал объектом права” [5, с. 6]. Мы говорим о ландшафтном планировании, актуальной и одновременно сложной задаче, но ландшафты упоминаются лишь в некоторых российских законодательных актах (в Земельном и Лесном кодексах, Федеральных законах: “Об охране окружающей среды”, “Об особо охраняемых природных территориях”, “Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации”, “Об охране озера Байкал”, а также в “Методических рекомендациях по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов Российской Федерации”, “Методических указаниях по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов”, “Правилах санитарной безопасности в лесах”, правилах “Инженерно-экологических изысканий для строитель-

¹ Европейская ландшафтная конвенция, принятая ПАСЕ 19 июля 2000 г. и ратифицированная 40 государствами, до сих пор не ратифицирована законодательными органами РФ.

ства”, ГОСТе 17.8.1.01-86 “Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения”). Следует отметить, что законодательной базе и практике ландшафтного планирования за рубежом присуше многообразие [6–10].

Один из недостатков законодательства, регулирующего территориальное планирование в России, – стремление к шаблонным подходам в определении размеров и конфигураций территориальных единиц. Во многих случаях это оправдывается экономической целесообразностью. Например, лесные планы субъектов Российской Федерации и сопутствующие документы часто содержат требования соблюдать прямолинейность границ выделов; устройство полевых участков для целей сельского хозяйства стремится к тому же, что обосновывается эффективностью большой длины прохода техники без поворотов и разворотов. Следствиями такого “геометрического” подхода нередко становится неоднородность условий ведения хозяйства внутри угодья, лишние затраты на преодоление неоптимальных условий и рост себестоимости продукции, нежелательные экзодинамические процессы (эрозия, дефляция, лавинно-селевая активность, экстремальные паводки и т.п.), ущерб местообитаниям и миграционным путям животных. Альтернативы, исходящие из реальной пространственной структуры территории, давно известны, хотя реализуются чаще за пределами России – адаптивно-ландшафтное земледелие, контурное земледелие, участковый метод лесоустройства, природоохранное планирование лесного хозяйства [11–14]. Три строго установленных в России варианта ширины водоохранной зоны рек [15, ст. 65] – 50, 100 или 200 м – противоречат реальному устройству большинства крупных речных долин, в которых пойма, ежегодно или раз в несколько лет затопливаемая в половодье, гораздо шире.

Паводковая катастрофа в городе Тулун на реке Ия (Иркутская область) в 2019 г. ярко продемонстрировала планировочную ошибку размещения капитальных сооружений, в том числе жилых, на пойме. Необходимость специального введения понятия “зоны затопления и подтопления” [16] фактически вынужденно дополняет законодательство о водоохраных зонах, игнорирующее природные границы пойменных ландшафтов. Отметим, что в водном законодательстве соседних стран – Белоруссии, Украины, Казахстана – содержится разумное требование специального проектирования (а не рисования с помощью циркуля и линейки или с использованием элементарных средств геоинформационных систем) водоохранной зоны. Например, в Казахстане водоохранная зона, помимо всей поймы, может включать примыкающие участки склонов, оврагов и балок и дополнительно полосу шириной до 1000 м. При этом оговаривается, что “размеры во-

доохранных зон уточняются в зависимости от значения и характера хозяйственного использования, санитарно-эпидемиологического состояния водного объекта, местных физико-географических, почвенных, гидрологических, рельефных и других условий прилегающих территорий и объектов” [17]. Фактически речь идёт о ландшафтно-экологическом подходе к регулированию землепользования вблизи водных объектов.

Ряд резонансных конфликтных ситуаций последних лет продемонстрировал актуальность оценки последствий потенциальных планировочных решений в широком географическом контексте. На первое место часто выходят такие понятия, как “редкость/уникальность”, “поток вещества”, “дальнодействующий эффект”, которые пока весьма слабо отражены в нормативной базе. Полигон твёрдых бытовых отходов на станции Шиес в Архангельской области планировалось расположить на заболоченной водораздельной поверхности, от которой во все стороны расходятся лощины и малые долины, причём их водосборные понижения очень близки к площадке строительства полигона. Понятная экономическая логика планировщиков (транспортная доступность, удобная плоская поверхность, отдалённость населённых пунктов) вошла в противоречие с ландшафтными условиями формирования дальнодействующих эффектов, наносящих ущерб интересам жителей окрестных поселений. Уже упомянутый пример планировочной ошибки в Тулуне также демонстрирует невнимание к географическому контексту, в частности к положению широкого отрезка долины между двух узких, что способствует задержке паводкового стока именно в месте размещения злополучных жилых кварталов, что рано или поздно должно было привести к катастрофе. Конфликтная ситуация с предполагавшимся освоением крупных холмов “шиханов” в Башкортостане как ресурсной базы промышленности возникла из-за отсутствия понимания понятия “уникальность географического объекта”, в данном случае – специфического вида ландшафтов. Шиханы в силу редкости в масштабах крупного региона приобрели не только исключительную социальную символическую значимость для местного этноса, но и экологическую ценность как неповторимых местообитаний видов растений. Этот пример свидетельствует об игнорировании интересов местного населения, осознающего территорию как незаменимый культурный ландшафт.

В предлагаемой процедуре ландшафтного планирования сразу после инвентаризации существующего землепользования (рис. 1, этапы I–II) предусмотрено выявление подобных социальных и природных ценностей (рис. 1, этап III).

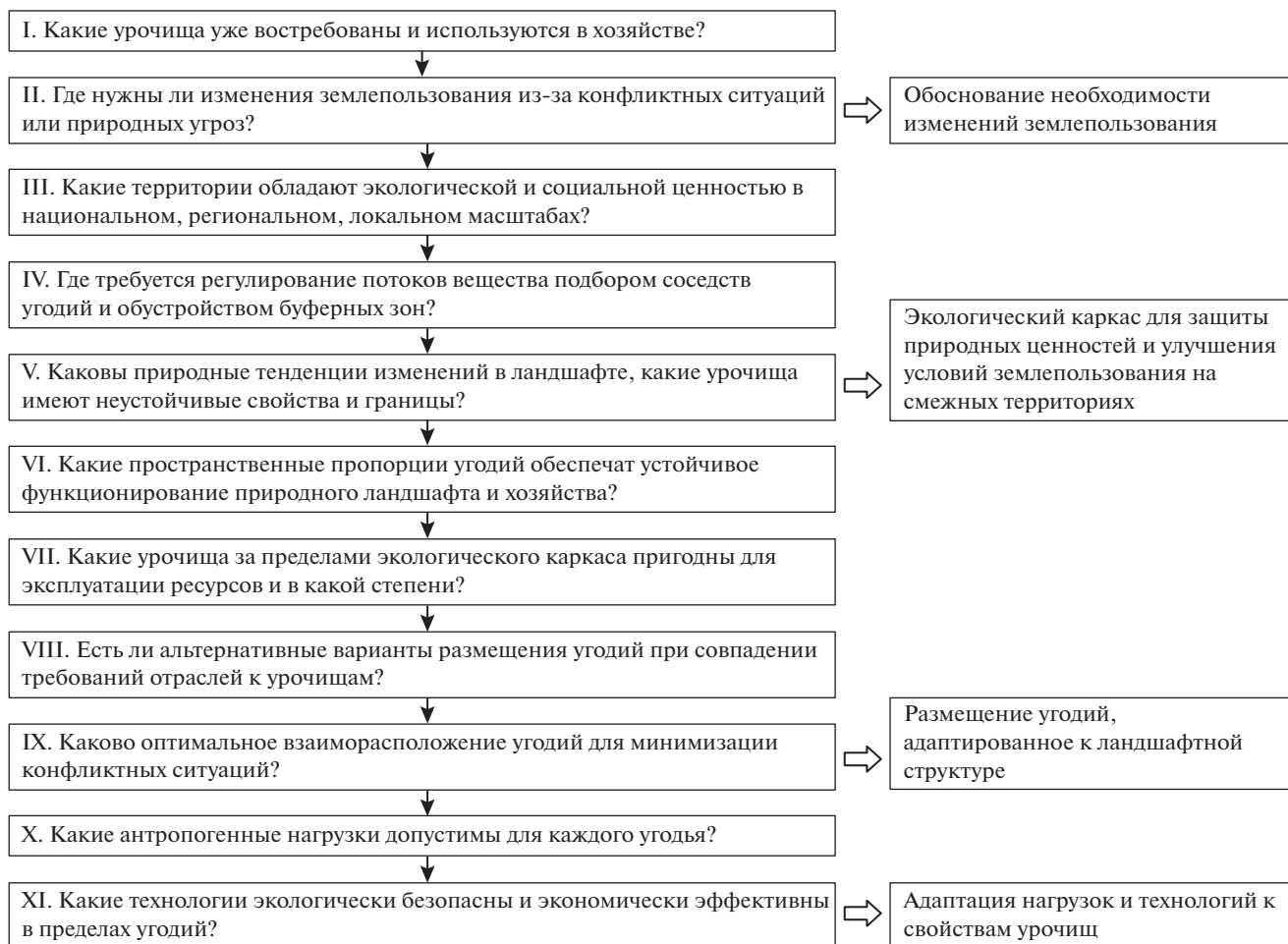


Рис. 1. Последовательность этапов ландшафтного планирования

Ландшафтное разнообразие несовместимо с шаблонностью технологий землепользования и природоохранных мероприятий. Существенным барьером для сохранения и использования ландшафтного разнообразия служит неполнота, а в некоторых случаях и полное отсутствие соответствующего понятийного аппарата в законодательстве. Если понятия “лес”, “водоём”, обозначающие широко распространённые типы ландшафтов (по классификации [18]), обеспечены развитой нормативной базой (категории лесов, особо защитные участки леса, земли лесного фонда, земли водного фонда, водоохранная зона рек и озёр и т.п.), то отсутствие в законодательстве понятий, обозначающих не менее важные типы ландшафтов, препятствует их охране и рациональному использованию.

Самый характерный пример — понятие “степь”, которое мелькает в законодательстве разве что применительно к защитным лесам степной зоны [19, ст. 115, п. 1]. Когда речь заходит о необходимости планировочных мероприятий, направленных на сохранение местообитаний зо-

нальных степных животных и растений или миграционных путей, то единственным основанием становится наличие охраняемых (то есть занесённых в Красные книги разных рангов) видов. Степь как самоценный и почти исчезнувший на равнинах тип ландшафта за пределами особо охраняемых природных территорий не защищена никак и в земельном законодательстве подпадает под вполне экономические категории “залежь”, “сенокос”, “пастбище”. Соответственно, крохотные остаточные фрагменты-рефугиумы (обычно на склонах долин, в оврагах и балках) рассматриваются не как ценные редкие природные комплексы, а либо как ресурс для сельского хозяйства, либо как неудобья (которые поэтому “не жалко” уничтожить для устройства, например, карьера по добыче известняка или песка), либо как резервные территории, до которых просто ещё “руки не дошли”. В результате благая, казалось бы, цель увеличения лесистости в лесостепной и степной зонах нередко осуществляется за счёт таких бесценных, с точки зрения биоразнообразия, последних островков степной природы.

Равным образом почти отсутствуют в законодательстве понятия “болото”, “тундра”, “пойма”. Например, наличие понятия “пойма” в водном законодательстве однозначно задавало бы рамочные условия для землепользования в связи с такими свойствами этого природного комплекса, как регулярное затопление, уровень грунтовых вод, сложный рельеф, повышенное биоразнообразие, пестрота литологических и почвенных условий, водоохранные и стокорегулирующие функции, биокоридоры и т.п.

Что может дать ландшафтно-экологическая идеология для территориального планирования? Адаптация хозяйственных решений к пространственной неоднородности территории. Из приведённых выше примеров следует важнейшая задача ландшафтно-экологической идеологии территориального планирования – разработка решений с равноправным учётом не только собственных свойств территории, но и её функций в системе более крупного ранга: ландшафта, водосборного бассейна, региона, страны. Для оценки таких функций от планировщика требуется понимание особенностей участия каждого природного комплекса в системе биотических и абиотических потоков локального и регионального масштаба, то есть полимасштабный пространственный способ мышления.

Эта методология разрабатывается в России с начала 1990-х годов в нескольких вариантах [5, 20–22] и реализована во множестве модельных регионов разного ранга – от субъектов Федерации до отдельных населённых пунктов. Получен опыт применения идеологии ландшафтного планирования для целей сельского и лесного хозяйства, городского планирования, проектирования особо охраняемых природных территорий и их сетей, освоения горнорудных районов. Однако ландшафтное планирование в России, в отличие от ряда других стран, не имеет законодательного статуса как инструмента комплексного управления территориями, управления пространственной организацией хозяйства и охраны природы.

В чём же заключаются основные задачи такого планирования? Их перечень и последовательность решения представлена на рисунке; подробные объяснения и примеры даны в работе [22]. Базовыми единицами территориального планирования становятся природные ландшафтные единицы. Конфигурации хозяйственных угодий адаптируются к ним, насколько позволяет экономическая целесообразность, но без абсолютного приоритета последней. На локальном уровне наиболее сопоставимой с традиционными угодьями единицей является урочище. Пространственное решение принимается после анализа функциональной значимости природного территориального комплекса с точки зрения сохране-

ния ландшафтного разнообразия региона или страны в целом. Прогноз существующих и возможных тенденций развития, в том числе цепных реакций между компонентами ландшафта, предотвращает планировочные решения с целью предотвращения необратимой утраты экологических функций в результате антропогенного воздействия. Пространственные решения (размещение на местности, размеры, конфигурация, ориентация) учитывают латеральные связи между геосистемами, способствуют нейтрализации негативных дальнедействующих эффектов антропогенного воздействия и природных угроз.

Для каждого ландшафта или водосборного бассейна как крупной пространственной единицы подбираются оптимальные пространственные соотношения и взаиморасположения угодий. На равнинах для этого анализируются территории размером в сотни и тысячи квадратных километров; в горах для решения подобных задач (улучшение регулирования стока, предотвращение опасных процессов, обеспечение жизнеспособности популяций животных и т.п.) основным объектом могут становиться бассейны. При этом одни пространственные элементы должны компенсировать негативные эффекты, зарождающиеся в других. Регулирование использования угодий во времени должно опираться на прогноз динамических и эволюционных изменений под действием естественных процессов и антропогенных факторов, а также оценку устойчивости ландшафта. Многообразие процессов и множественность ценностей, заключённых в компонентах ландшафта, принимается во внимание для выявления возможностей многофункционального использования урочищ.

Основные задачи процедуры ландшафтного планирования. Ключевое место в процедуре ландшафтного планирования занимает этап определения ценностей конкретной территории (рис. 1, этап III). При этом одним из главных инструментов становятся консультации с местным населением и органами власти, выявление их предпочтений и отношения к сценариям развития территории, предложений по оптимизации землепользования и охраны природы. В мировой практике это носит название *participatory approach* (буквально – подход к планированию “с участием”), методологии которого в последнее десятилетие посвящено едва ли не большинство дискуссий на ландшафтно-экологических конференциях. Главный вопрос для планировщика – что и почему следует сохранять, защищать от негативных воздействий, восстанавливать или создавать заново? В зависимости от ответа выстраиваются все планировочные решения. С одной стороны, ценность – это то, что необходимо для населения малой территории, региона или страны; то, что составляет суть идентичности терри-

тории, без чего её невозможно представить; то, что не имеет альтернатив (пример – шиханы в Башкортостане). С другой стороны, понятие “ценность” в этом контексте тесно связано с понятием “проблемная ситуация”. Ценность во многих случаях – это то, что позволяет предотвращать или ликвидировать проблемную ситуацию (например, экстремальные паводки, селеопасность, деградацию почв). Знание цепных механизмов межкомпонентных или межгеосистемных взаимодействий позволяет представить, какие необратимые природные процессы могут стать следствием утраты того или иного урочища, каких ресурсов лишится местное население или люди в сопряжённых регионах.

Приведём два примера. Чернозёмные почвы представляют собой важнейший ресурс степных ландшафтов Восточной Европы, где они преобладают, благодаря чему открывается возможность широкого выбора в размещении сельскохозяйственных угодий. При этом неизбежно приходится жертвовать частью потенциально посевных угодий для размещения построек, добычи полезных ископаемых, сооружения ЛЭП, автомобильных дорог и т.п. Важно, что законодательство предусматривает предварительное снятие плодородного слоя и рекультивацию нарушаемых земель после прекращения использования [23, ст. 13]. Хорошо известно, что значимые памятники церковной архитектуры, составляющие идентичность Суздаля, Каргополя, Галича, были созданы благодаря высокому уровню экономического благосостояния в XII–XVII вв., обусловленному хлебными доходами. Иначе говоря, ценный и незаменимый в региональном масштабе природный ресурс обусловил культурную идентичность (приносящую немалый доход от туризма) спустя несколько веков.

Если некоторая территория регулярно терпит ущерб от высоких паводков, то ценностью, к отстаиванию которой следует стремиться при планировании, будет восстановление определённой пропорции лесных насаждений в водосборном бассейне [24]. Напротив, если проблема разрушительных паводков не актуальна, то у планировщика увеличивается свобода действий относительно лесных ресурсов.

Таким образом, при определении ценности необходимо ответить на два вопроса. Первый из них: ценности какого масштаба (локального, регионального, национального) присутствуют на территории и является ли их использование или сохранение безальтернативным в данном ландшафте? Второй вопрос касается не только наличия ресурсной или экологической ценности как таковой, но и количества урочищ аналогичного вида в пределах территории планирования.

Ценности выявляются прежде всего с точки зрения интересов местного сообщества в пределах территории, доступной для ежедневного или регулярного однодневного посещения. Радиус наиболее жизненно важной территории обычно определяется временем пешеходной доступности (2–3 км от места проживания). Наиболее распространённые причины высокой ценности – безальтернативность в пределах территории сельского поселения или городского района, наивысшее качество по сравнению с аналогичными местами, легкодоступность, связанность с другими жизненно важными объектами. Очевидно, что на этом этапе необходимо вовлечение в планирование не только экологов, географов и экономистов, но и социологов, историков, культурологов.

В нормативной базе предусмотрена возможность придания таким местам особого статуса, в том числе на муниципальном уровне: охраняемые природные территории местного значения [25, ст. 2], особо защитные участки леса [19, ст. 111–115, 118], зоны санитарной охраны источников водоснабжения, особо ценные продуктивные сельскохозяйственные угодья [25, ст. 79]. Особая рекреационная или природоохранная ценность может быть зафиксирована в функциональном зонировании населённых пунктов (зоны рекреационного назначения, зоны особо охраняемых территорий, зоны специального назначения) [26, ст. 35]. В градостроительном регламенте устанавливаются виды разрешённого использования [26, ст. 37], предельные параметры разрешённого строительства [26, ст. 38].

В некоторых случаях, особенно при высокой степени антропогенной трансформации ландшафта, экологическую ценность приобретают урочища тривиального характера для данного ландшафта, но предотвращающие развитие нежелательных дальнедействующих эффектов и тем самым защищающие другие урочища или угодья. Особенно конструктивен здесь катенарный подход к анализу ландшафтной структуры [27], который позволяет определить главные траектории переноса вещества, выделить или предложить буферные зоны (лесной массив в нижней части склона или на конусе выноса, делювиальный шлейф), перехватывающие поток нежелательных веществ или ослабляющие его (рис. 1, этап IV).

Арсенал ландшафтно-экологического подхода к территориальному планированию располагает инструментами создания благоприятных соседств угодий. Назовём основные.

1) Поляризация, то есть максимальная удалённость в пространстве ключевых элементов экологического каркаса и угодий с полной трансформацией компонентов ландшафта (например, промышленной зоны). В то же время некоторые

элементы экологического каркаса должны непосредственно примыкать к наиболее нарушенным территориям, выполняя буферные и санитарно-защитные функции (например, лесной массив вокруг полигона твёрдых бытовых отходов).

2) Создание постепенных переходов с увеличивающимися антропогенными нагрузками между элементами экологического каркаса и угодьями с полной трансформацией ландшафта.

3) Защита экотонных (переходных от одного природного комплекса к другому) позиций, особенно на перегибах рельефа, вдоль берегов водоёмов.

4) Перехват нежелательных потоков посредством буферных элементов или разрыва связанности урочищ, по которым распространяется нарушение.

5) Относительно равномерное распределение элементов экологического каркаса среди нарушенных территорий.

6) Сгущение элементов экологического каркаса по мере роста встречаемости/повторяемости быстро развивающихся экодинамических процессов (эрозии, селей, термокарста, дефляции и др.).

Основным результатом этапов III–V оказывается выделение экологического каркаса, который не только обеспечивает охрану экологических ценностей, но и защищает население и смежные угодья от нежелательных процессов, тем самым улучшая условия ведения хозяйства на обширной территории. Следующие этапы (VI–XI) предусматривают распределение угодий в пространстве ландшафта за пределами экологического каркаса, определение допустимых нагрузок и возможного диапазона технологий.

Поскольку квинтэссенция описываемого здесь подхода заключается в тщательном анализе пространственных соотношений между природными урочищами и хозяйственными угодьями, важным этапом планирования становится подбор не только оптимального взаиморасположения, но и площадных пропорций видов землепользования (рис. 1, этап VI). Ландшафтно-экологическая сущность подбора оптимальных пропорций угодий состоит в создании нужного эмерджентного эффекта как результата взаимодействия пространственных элементов, при том что каждый из них в отдельности такого эффекта не проявляет. Результатом взаимодействия отдельных пространственных элементов становится обеспечение заданных характеристик водного баланса и режима стока, теплового баланса, баланса твёрдого вещества, жизнеспособности популяций животных, эстетической среды для человека.

С экологической точки зрения выбор оптимальных пропорций опирается на знание о наличии проблемной ситуации, связанной с нарушением потоков вещества из-за дисбаланса пропор-

ций; на информацию о близости существующей пропорции угодий к критическому порогу, после перехода через который эмерджентный эффект резко изменится в нежелательную сторону. Например, сигналами о необходимости корректировки пропорций угодий могут быть: увеличение частоты разрушительных паводков, не связанное с изменениями климата; увеличение частоты пыльных бурь на пахотных угодьях; резкое снижение численности видов промысловых или охраняемых животных; заиление и обмеление водоёма с сопутствующей эвтрофикацией и зарастанием мелководий; рост заболеваемости городского населения.

В некоторых географических условиях пропорции, обеспечивающие устойчивое функционирование ландшафта, подсказывает сама природа, прежде всего — распределением типов растительности, типов и подтипов почв в зависимости от рельефа. Так, в эрозионных ландшафтах лесостепной зоны, например Среднерусской или Приволжской возвышенностей, обычна приуроченность лесных и степных геосистем к склонам, соответственно, теневых и солнечных экспозиций. Тогда задача планировщика — приблизить ландшафт к естественной пропорции, но не допустить ненужного залесения солнечных склонов, где целесообразнее сохранять степные местообитания (что необязательно исключает пастбищное, сенокосное, пчеловодческое или рекреационное использование).

Другой подход заключается в установлении пропорций на основе экспериментальных исследований эмерджентных эффектов с целью оптимизации адаптации угодий к гетерогенности ландшафта и снижения рисков нежелательных потоков вещества. Для этого оценивают эффекты, возникающие при разных пропорциях угодий, но при одинаковых ландшафтных условиях. Особенно конструктивные результаты получены при определении необходимой доли полезащитных, приовражных и прибалочных лесонасаждений в степных агроландшафтах [28, 29] и оптимальной лесистости речных бассейнов [30, 31].

Третий подход опирается на необходимость обеспечения здоровой среды жизни человека с учётом не только защиты от нежелательных природных и антропогенных воздействий, но и эстетических и рекреационных потребностей. Нормативы озеленения, пешеходной доступности рекреационных зон, допустимой запечатанности (например, в результате асфальтирования) разрабатываются для земель населённых пунктов, городских ландшафтов, лечебно-оздоровительных местностей и курортов. Они фиксируются в сводах правил и региональных нормативах градостроительного проектирования. Например, согласно Своду правил «Градостроительство. Пла-

нировка и застройка городских и сельских поселений” [32, ст. 9.12] удельный вес озеленённых территорий различного назначения в пределах застройки городов должен быть не менее 40%, а в границах территории жилого района не менее 25%. Суммарная площадь озеленённых территорий общего пользования определяется в зависимости от размера населённого пункта [32, ст. 9.2].

Наконец, пропорции угодий диктуются и чисто экономическими соображениями. Например, для обеспечения животноводческой специализации необходима определённая пропорция площадей под зелёными кормами, зерновыми кормами, силосными культурами, кормовыми корнеплодами, пастбищами, навозохранилищами. Задача ландшафтного планирования – подобрать размещение угодий с максимально возможной адаптацией к ресурсному потенциалу урочищ и требованиям сохранения экологических ценностей.

С помощью ландшафтного планирования территорий локального уровня, например в рамках землеустройства, функционального зонирования города и т.п. (рис. 1, этапы VII–XI), решаются следующие задачи:

- выделяются особо ценные (с экологической, социальной, ресурсной, эстетической, культурной и др. точек зрения) места в ландшафте;
- распределяются в пространстве крупные массивы угодий и застройки при максимально возможном поддержании имеющихся массивов зональной растительности;
- подбираются режимы использования и/или охраны для важнейших коридоров интенсивной миграции животных и человека, а также парагенетических систем с латеральной миграцией твёрдых и растворённых веществ, при необходимости предлагаются способы защиты от нежелательных воздействий последних;
- выделяются приоритетные отрасли хозяйства на основе синтеза знаний о ресурсах, ценностях, устойчивости природных комплексов к нагрузкам, латеральных связях между пространственными элементами ландшафта.

Общий подход к трактовке пригодности урочищ как морфологической единицы ландшафта, применимый к разным видам хозяйственной деятельности (рис. 1, этап VII), должен быть основан на учёте: набора компонентов, которые могут затрагиваться воздействием, особенно степени нарушения морфолитогенной основы; возможных цепных реакций между компонентами, обусловленных радиальными связями; возможных латеральных взаимодействий, которые могут мешать использованию ресурсов или возникать в случае их использования и приводить к потере экологических и/или социально-экономических функций соседних или удалённых геосистем; возмож-

ных или необходимых изменений пространственной структуры ландшафта. От результатов оценок, полученных планировщиком, зависит себестоимость освоения урочища для того или иного вида использования. На основании таких оценок и рекомендаций лицо, принимающее решение, сможет судить “стоит ли игра свеч”, не будут ли затраты на нейтрализацию природных ограничений и ликвидацию ущерба от освоения урочища превышать доходы, не вызовет ли освоение территории для той или иной цели рост социальной напряжённости. Таким образом, планировочное предложение, полученное в результате тщательного анализа ландшафтной структуры и тенденций развития ландшафта, консультаций с местным сообществом, социально-экономических оценок, предоставляется потенциальному землепользователю и лицу, принимающему решение, с объяснением всех сильных и слабых сторон каждого варианта, в том числе потенциальных затрат.

На локальном уровне наличие утверждённого ландшафтного плана позволило бы упростить некоторые довольно изнурительные для местного населения процедуры, особенно в пределах особо охраняемых природных территорий. Так, единый режим по всей зоне хозяйственного назначения национального парка препятствует быстрому принятию мелких узколокальных решений (например, в случае установки забора частного владения), поскольку требуются согласования на федеральном уровне, на что иногда уходят месяцы и годы. Чтобы этого избежать, для функциональной зоны может быть разработан детальный ландшафтный план с учётом реальных границ природных урочищ и хозяйственных угодий, который достаточно будет один раз согласовать в министерстве, а далее предоставлять местной власти право быстро решать мелкие оперативные вопросы в соответствии с установленными ограничениями, зафиксированными в правилах землепользования и застройки. Такой ландшафтно-экологический план должен быть основан на оценке реальных угроз экологическим ценностям, путей распространения угроз с потоками вещества, типичности/редкости природных комплексов и социокультурных ценностей, тенденций развития ландшафта.

* * *

Вызовы времени имеют двойную природу: один, основной поток, исходит от общества; другой – вытекает из логики развития самой науки и её интеллектуального капитала, когда обществом далеко не полностью востребованы её результаты, что тормозит развитие страны и снижает статус той или иной науки. Особенно опасен существенный перекос в финансировании различных наук

и направлений, что наблюдается в настоящее время в связи, мягко говоря, с повышенным вниманием к проблеме антропогенного потепления.

Ландшафтное планирование может быть действенным инструментом региональной политики, который позволит сгладить противоречия между природными ограничениями и угрозами, необходимостью сохранения экологических ценностей, экономическими и социальными интересами. В перспективе оптимальным вариантом было бы введение такой процедуры в нормативные акты или, как минимум, использование ландшафтно-экологической идеологии в существующих видах территориального планирования. Ряд уже предусмотренных законодательством видов зонирования может опираться именно на такую процедуру. Хотя ландшафтное планирование ориентировано, в первую очередь, на экологические ценности, мы считаем, что в итоге его реализация улучшает условия ведения хозяйства и благополучия населения.

Ландшафтное планирование может и должно стать эффективным инструментом отражения локальной и региональной специфики природы и культуры в территориальном планировании. Существующая система территориального планирования содержит немало возможностей для интеграции ландшафтно-экологической идеологии, которые пока реализуются явно не в полном объеме. В числе приоритетных путей совершенствования законодательства – легализация понятия “экологический каркас”, отражение ландшафтно-экологических реалий при выделении зон с особыми условиями использования, а также функциональных зон территорий.

Ожидаемые результаты интеграции ландшафтного планирования в региональную политику, по нашему представлению, будут способствовать решению следующих задач:

- сохранению экологических и социокультурных ценностей, составляющих своеобразие региона;
- обеспечению устойчивого функционирования экологического каркаса как условия устойчивости ландшафта в целом и устойчивого хозяйства в мозаичном ландшафте, а также как территориального ресурса для дружественных к природе щадящих видов землепользования;
- нейтрализации нежелательных потоков вещества и других воздействий на уязвимые природные и хозяйственные объекты, стимулированию благоприятных потоков;
- созданию пространственной структуры и соотношения угодий, обеспечивающих минимизацию конфликтов “хозяйство—ландшафт” и “землепользователь—землепользователь”, получение экономической и социальной выгоды от исполь-

зования ресурсов ландшафта, полезную для землепользователей многофункциональность или позитивное взаимовлияние угодий;

- созданию комфортной среды для общества (в аспектах эстетики, микроклимата, безопасности, доступности востребованных объектов, сочетания личного и общественного пространства) путём подбора соотношений и взаиморасположения угодий.

Внедрение ландшафтного планирования в региональную политику государства весьма перспективно для конструктивного взаимодействия физико-географических и социально-экономических наук и может рассматриваться как методологическая и теоретическая основа “единой географии” Н.Н. Баранского, В.А. Анучина, Ю.Г. Саушкина.

Важное направление развития теории и практики ландшафтного планирования – создание словаря понятий и терминов, используемых в ландшафтоведении, что расширит возможности совместной междисциплинарной работы ландшафтоведов с архитекторами, экологами, юристами, управленцами, политиками.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках государственного задания географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 121051300176-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Смирнягин Л.В.* Региональная политика (государства) // Социально-экономическая география: понятия и термины. Смоленск: Ойкумена, 2013.
2. *Дьяконов К.Н., Сударенков В.В., Чибилёв А.А., Чистяков К.В.* Ландшафтоведение и вызовы времени // Вопросы географии. Сб. 138: Горизонты ландшафтоведения / Отв. ред. В.М. Котляков, К.Н. Дьяконов, Т.И. Харитоновна. М.: Кодекс, 2014. С. 13–25.
3. Методические рекомендации по подготовке проектов схем территориального планирования субъектов Российской Федерации. Утверждены приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 19 апреля 2013 г. № 169.
4. Закон “Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Казахстан”. Закон Республики Казахстан от 16 июля 2001 г. № 242.
5. *Колбовский Е.Ю.* Ландшафтное планирование. М.: Академия, 2008.
6. *Dramstad W.E., Olson J.D., Forman R.T.T.* Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning. Island Press, 1996.
7. *Tress B., Tress G., Fry G., Opdam P.* (Eds.) From landscape research to landscape planning: Aspects of integration, education and application. Springer, 2006.
8. *Özyavuz M.* (Ed.) Landscape planning. Rijeka: InTech, 2012.

9. Mikloš L., Špinerova A. Landscape-Ecological Planning LANDEP. Cham, Switzerland: Springer, 2019.
10. HERSPERGER A.M., GRÄDINARU S.R., DAUNT A.B.P. et al. Landscape ecological concepts in planning: review of recent developments // Landscape Ecology. 2021. V. 36. P. 2329–2345.
11. Каченко В.Г. Контурно-мелиоративное земледелие: методические рекомендации. Новосибирск: СО ВАСХНИЛ, 1982.
12. Кирюшин В.И. Экологические основы проектирования сельскохозяйственных ландшафтов. СПб.: КВАДРО, 2018.
13. Зиганшин Р.А. Принципы лесоустройства на ландшафтной основе (на примере лесов Прибайкалья) // Лесная таксация и лесоустройство. 2005. Вып. 1 (34). С. 118–129.
14. Романюк Б., Загидуллина А., Кнize А., Мосягина Е. Природоохранное планирование в лесном хозяйстве в условиях Северо-Западного региона РФ // Устойчивое лесопользование. 2006. № 2 (10). С. 29–38.
15. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ.
16. Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2014 г. № 360 “О зонах затопления, подтопления”.
17. Правила установления водоохранных зон и полос. Приказ министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 18 мая 2015 г. № 19–1/446.
18. Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: МГУ, 1979.
19. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ.
20. Ландшафтное планирование с элементами инженерной биологии / Отв. ред. А.В. Дроздов. М.: КМК, 2006.
21. Семёнов Ю.М., Бабин В.Г., Кочеева Н.А. и др. Экологически ориентированное планирование землепользования в Алтайском регионе. Кош-Агачский район. Новосибирск: Гео, 2013.
22. Хорошев А.В., Авессаломова И.А., Дьяконов К.Н. и др. Теория и методология ландшафтного планирования / Отв. ред. К.Н. Дьяконов, А.В. Хорошев. М.: КМК, 2019.
23. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ.
24. Побединский А.В. Водоохранная и почвозащитная роль лесов. М.: Лесная промышленность, 1979.
25. Федеральный закон от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ “Об особо охраняемых природных территориях”.
26. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ.
27. Авессаломова И.А. Ландшафтное соседство как фактор трансформации латеральных потоков в геосистемах // Вопросы географии. Сб. 138: Горизонты ландшафтоведения. М.: Кодекс, 2014. С. 233–250.
28. Ивонин В.М. Противоэрозионные мелиорации водосборов в районах оврагообразования. М.: Колос, 1992.
29. Михович А.И. Водоохранные лесонасаждения. Харьков: Прапор, 1981.
30. Молчанов А.А. Оптимальная лесистость. М.: Наука, 1966.
31. Парамонов Е.Г., Симоненко А.П. Основы агролесомелиорации. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2007.
32. Свод правил “Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений”. СП 42.13330. 2015.

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЗАПОВЕДНОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ

© 2022 г. А. А. Чибилёв

Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

E-mail: orensteppe@mail.ru

Поступила в редакцию 27.01.2022 г.

После доработки 31.01.2022 г.

Принята к публикации 10.02.2022 г.

В 2022 г. исполняется 110 лет со дня организации Постоянной Природоохранительной комиссии Императорского Русского географического общества (ППК РГО). У её истоков стояли выдающиеся учёные Санкт-Петербургской Академии наук и российских университетов И.П. Бородин, Г.А. Кожевников, В.П. и А.П. Семёновы-Тян-Шанские, Г.Ф. Морозов, А.И. Воейков, Ю.М. Шокальский и другие. Образно говоря, плеяда этих учёных составила “Могучую кучку заповедного дела России”, которая заложила основы уникальной государственной системы заповедников и других особо охраняемых природных территорий. Научное географическое обоснование этой системы – одно из выдающихся достижений российской академической науки XX в. В современную эпоху актуальность научного сопровождения заповедного дела неизмеримо возрастает в связи с антропогенным воздействием на природную среду и глобальными изменениями климата. Заповедные территории становятся незаменимыми эталонами, лабораториями природы, которые ещё в 1895 г. В.В. Докучаев назвал “научными станциями”. Примечательно, что через 125 лет это понятие вдруг упростилось до модно-рыночных карбоновых полигонов. В статье даётся авторское видение проблемы, сформированное многолетним практическим опытом создания особо охраняемых природных территорий и деятельности ППК РГО, восстановленной в 2011 г.

Ключевые слова: ландшафты, заповедное дело, антропогенное воздействие, изменения климата, особо охраняемые природные территории.

DOI: 10.31857/S0869587322060032

Практика создания особо охраняемых природных территорий (ООПТ) на различных континентах Земли охватывает много столетий. Для Северной Евразии и России она наиболее полно изучена и достаточно хорошо освещена в отечественной литературе [1–4]. Известно много причин создания очагов сохранения первозданной природы, местообитаний редких и ценных видов растений и животных. На протяжении веков этот процесс протекал стихийно, обычно в практических целях: для воспроизводства охотничьих видов, мест произрастания ценных растений, сохранения ландшафтов, имеющих сакральное, религиозно-этическое или духовно-эстетическое значение для тех или иных народов и племён.

Хотелось бы проследить не только роль географической науки в становлении и развитии отечественного заповедного дела за последние 125 лет,

ЧИБИЛЁВ Александр Александрович – академик РАН, научный руководитель ИС УрО РАН.

но и оценить перспективы его развития. Один из классиков российской заповедной науки Ф.Р. Штильмарк посвятил свою монографию “Историография российских заповедников (1895–1995)” [2] 100-летию со дня выхода в свет “Трудов экспедиции, снаряжённой Лесным департаментом, под руководством профессора Докучаева” [5]. Именно здесь были впервые обобщены идеи устройства постоянных научных станций и заповедных дач, предоставленных для сохранения и изучения природных ландшафтов, почв и живых обитателей. В.В. Докучаев на практике реализовал эти идеи в 1882–1898 гг., заложив целый ряд научных опытных станций на юге Европейской России.

Важную роль в развитии научных представлений о планировании географической сети заповедников и других категорий ООПТ сыграло учение Докучаева о естественно-исторических зонах [6], которое было сформулировано им в сжатом виде. Дальнейшее расширение знаний

о природной зональности было связано с именами Л.С. Берга, А.А. Григорьева, Ф.Н. Милькова. После капитальных трудов Берга [7, 8] природные зоны как ландшафтные комплексы стали территориальной основой для планирования хозяйственной и природоохранной деятельности.

В начале XX в. практика создания частных заповедных территорий, особенно в земледельческих районах Российской империи, широко распространилась и получила своё отражение в докладах И.П. Бородина в 1910 г. на XII Всероссийском съезде естествоиспытателей и врачей и в 1913 г. на Международной конференции по охране природы в г. Берн [9, 10]. Именно Бородин обратил внимание на то, что Императорское Русское географическое общество (ИРГО) с сетью отделов в отдалённых губерниях располагает уникальной возможностью организовать “Центральный природоохранительный комитет с участием в нём представителей различных заинтересованных ведомств”. Эта идея академика И.П. Бородина выступила основой создания в 1912 г. ППК РГО [11]. Одновременно с Бородиным научно-теоретические основы заповедного дела развивал директор Зоологического музея МГУ профессор А.Г. Кожевников, который в 1908 г. на Всероссийском юбилейном акклиматизационном съезде зачитал доклад “О необходимости устройства заповедных участков для охраны русской природы” [12].

Кроме ботаника И.П. Бородина и зоолога А.Г. Кожевникова активными членами первого состава ППК РГО (1912–1918) были ботаники и лесоводы Г.Ф. Морозов, В.Н. Сукачёв, В.И. Таплиев, зоологи А.П. Семёнов-Тян-Шанский, Д.К. Соловьёв, климатолог А.И. Воейков, океанолог Ю.М. Шокальский, основатель заповедника “Аскания-Нова” Ф.Э. Фальц-Фейн, географ В.П. Семёнов-Тян-Шанский и другие. Именно В.П. Семёнов-Тян-Шанский разработал и доложил Учёному совету РГО в октябре 1917 г. первый проект создания географической сети природных резерватов страны под названием “О типичных местностях, в которых необходимо организовать заповедники по образцу американских национальных парков” (впервые полностью опубликован в книге “Столетие Постоянной Природоохранительной Комиссии ИРГО”, 2012 г.) [11, с. 28–39]. Этот доклад со схематичной картой уже созданных в Северной Америке и перспективных заповедных территорий Северного полушария стал первым проектом заповедной России, в котором был сделан акцент на сохранение природного (ландшафтного) разнообразия страны. В течение столетней истории заповедного дела в России исследователи и проектировщики новых ООПТ союзного и федерального значения неоднократно обращались к этой разработке ППК РГО. Однако географический принцип развития заповедной

сети не стал основополагающим в планах государственных органов.

Среди членов ППК РГО было немало учеников и последователей В.В. Докучаева, которые восприняли его зоны природы как матрицу для формирования географической сети заповедников на огромной территории Российской империи. Создатель учения о лесе Г.Ф. Морозов, выступая в 1910 г. на XII Всероссийском съезде естествоиспытателей и врачей при обсуждении доклада И.П. Бородина “О сохранении участков растительности, интересных в ботанико-географическом отношении”, высказал принципиально новые идеи о планомерности выделения заповедных мест, их размещении на основе ботанико-географических зон, необходимости создания заповедных территорий, представляющих характерные типы флоры в каждой ботанико-географической области [9].

Новый “Перспективный план географической сети заповедников СССР” был разработан Комиссией по охране природы АН СССР в 1957 г. и опубликован в бюллетене комиссии № 3 за 1958 г. [13]. Анализ реализации плана представил А.А. Тишков [14]. Необходимо отметить, что план развития сети охраняемых ландшафтов СССР был составлен в период между двумя крушениями уже существующей сети. Первое (1951) привело к закрытию 88 заповедников и сокращению их площади в 11.3 раза. Во время второго (1961) закрылось 16 лесных заповедников, то есть их общее число сократилось в 2 раза. Но основным ударом по заповедной системе страны стала ликвидация в 1951 г. Главного управления по заповедникам. Заповедники, национальные парки и другие особо охраняемые природные территории федерального значения до настоящего времени не имеют самостоятельного органа государственного управления, а с 2000 г. находятся в ведении Министерства природных ресурсов и экологии РФ, от которого их нужно защищать в первую очередь.

Анализируя современное состояние заповедного дела в России и оценивая репрезентативность существующей сети государственных ООПТ на федеральном и региональном уровнях, необходимо выделить три основные проблемы. Без их решения невозможно реализовать идеи классиков отечественного заповедного дела. Во-первых, это отсутствие самостоятельного государственного органа, который без оглядки на интересы бизнеса, государственных министерств и ведомств и региональных властей занимался бы дальнейшим формированием сети ООПТ, руководствуясь научными принципами отечественного заповедного дела. Во-вторых, при разработке “Стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий Российской Федерации на период до 2030 г.” необходимо отступить от

принципа создания новых ООПТ там, где это возможно, а не там, где нужно. При этом следует отойти от заданных процентов — доли площади ООПТ в общей площади того или иного региона или всей страны. В-третьих, нужно приостановить дрейф многих существующих и проектируемых заповедников в сторону национальных парков, рекреационно-туристических кластеров, биосферных резерватов, предусматривающих зоны сотрудничества человека и природы — своеобразного симбиоза экологически ориентированной хозяйственной (промышленной, аграрной, селитебной) инфраструктуры и участков малоизменённых ландшафтов.

Первая проблема заключается в том, что при проектировании новых ООПТ в так называемом эколого-экономическом обосновании специалисты оценивают экономические последствия изъятия земель и даже ущерб окружающей среде. При этом учитываются сведения о наличии или отсутствии месторождений полезных ископаемых, ценных биологических ресурсов. Причина такого подхода в том, что система ООПТ находится в ведении Министерства природных ресурсов и экологии РФ, а не в независимом государственном ведомстве охраны природы. Во многих региональных правительствах природные ресурсы рассматриваются как часть имущественных отношений, что позволяет ведомствам распоряжаться уникальными природными объектами как имуществом. Безусловно, Главное управление по заповедникам при Совете народных комиссаров, а затем при Совете Министров РСФСР, существовавшее до 1951 г., не было свободным и самостоятельным в решении вопросов заповедного дела. Но наличие такого специализированного ведомства способствовало сохранению заповедного режима.

Вторая проблема несовершенства существующего планирования сети ООПТ состоит в том, что главное внимание уделяется не качеству заповедных территорий, а их количеству в площадном и численном выражении. Крупные территории и акватории в Арктике, однородные таёжно-лесные или болотно-лесные ООПТ дают высокую долю заповедной территории, но не способствуют сохранению ландшафтного и биологического разнообразия нашей страны. В связи с этим необходимо отойти от практики оценки эффективности территориальной охраны природы в доле (процентном) выражении. Главными критериями должны стать равномерность распределения ООПТ по всем природным зонам и физико-географическим провинциям, репрезентативность сети ООПТ и охват ею объектов ландшафтного и биологического разнообразия.

Третья проблема неэффективности современной практики заповедного дела в России заклю-

чается в том, что в течение 25 лет после принятия Федерального закона об особо охраняемых территориях в него регулярно вносятся поправки, ослабляющие заповедный режим, позволяющие изымать для практических целей неприкосновенные земли заповедного земельного фонда, менять его границы, прокладывать через ООПТ без экологической экспертизы линейные сооружения и осуществлять многие другие действия, которые сочтут необходимыми службы Министерства природных ресурсов и экологии РФ. Особую угрозу для ООПТ представляет широкая практика развития туризма, которая становится почти обязательной для государственных заповедников. Если национальные и региональные природные парки создаются именно для рекреации и туризма, то цель заповедников иная — оградить от хозяйственной деятельности, в том числе и от воздействия индустрии туризма, природные эталоны физико-географических зон и провинций.

Существуют и другие проблемы функционирования субъектов заповедной системы России. Это касается, например, управленческих решений, которые Минприроды РФ принимает с целью модернизации территориальной структуры ООПТ. Опираясь на принципы репрезентативности государственной сети, каждый заповедник должен представлять эталон конкретной физико-географической провинции либо на одном компактном участке, либо объединять кластерный ряд дополняющих друг друга природных резерватов. Для сокращения количества бюджетных учреждений в ранге самостоятельных заповедников в последние десятилетия распространилась практика объединённых дирекций, предусматривающая образование единого юридического лица для в прошлом самостоятельных заповедников, расположенных в пределах одного субъекта РФ. При этом нарушается географический принцип создания природных заповедников. Каждый заповедник, отражающий ландшафтно-экологические особенности той или иной провинции определённой природной зоны, формирует направления своей научно-исследовательской работы, привлекая к ней профильных специалистов. Только на стадии формирования сети федеральных ООПТ такие объединённые дирекции могут сыграть свою роль в становлении новых заповедников и национальных парков. Ещё одна проблема возникает, когда создаётся объединённая дирекция для заповедников и национальных парков. Это влечёт за собой размывание принципиальных различий между этими категориями ООПТ.

Все перечисленные проблемы могут быть решены только в том случае, если особо охраняемые природные территории обретут самостоятельный государственный орган управления, без участия министерств и ведомств, занимающихся

недро-, водо- и землепользованием, охотничьим хозяйством, рекреацией и туризмом.

В “Стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий Российской Федерации на период до 2030 г.” приоритетными показателями её эффективности являются количество и площадь создаваемых заповедников и национальных парков. Но географическая репрезентативность и природные качества этих территорий — степень сохранности естественных экосистем, ландшафтное и биологическое разнообразие — лишь констатируются. Остаются нерешёнными задачи создания природных заповедников, поставленных в проекте ППК РГО 1917 г. и Академическом плане развития сети заповедников СССР 1957 г. [14]. Это касается в первую очередь степной и лесостепной ландшафтных зон, где большинство физико-географических провинций не имеют заповедных территорий, отражающих ландшафтное и сохраняющих биологическое разнообразие. В административном отношении это касается таких субъектов РФ, как Краснодарский и Ставропольский края, Ростовская, Волгоградская, Саратовская, Тамбовская области в европейской части страны, а также областей юга Западной Сибири.

Возможности организации новых заповедников в Предкавказском степном и лесостепном подрегионах — это Таманская и Успенская степи в Краснодарском крае, участок Ставропольской возвышенности гора Стрижамент в Ставропольском крае, Ногайская степь в Республике Дагестан. Также не реализованы предложения по созданию степного заповедника в Нижнедонском степном подрегионе. Существующий Ростовский заповедник кластерного типа объединяет лишь степные участки в долине Маныча, а не в типичной степи в южной части бассейна Дона [15].

Не завершено формирование природно-заповедного фонда федерального значения в Волгоградской области. Организованные здесь в начале 2000-х годов крупные региональные природные парки не обеспечивают точечную охрану наиболее ценных степных ландшафтов, что возможно сделать только в классических государственных природных заповедниках или ландшафтных заказниках с заповедным режимом. Имеются хорошие перспективы для создания степного заповедника в Саратовском Заволжье, ориентированного в том числе на сохранение российской части волго-уральской популяции сайгаков [3].

В степной части Зауралья актуальна организация степного заповедника на юге Челябинской и Оренбургской областей. Были упущены возможности создания степного заповедника при реорганизации федерального Курганского степного заказника в долине реки Уй. В лесостепной зоне на Тоболо-Ишимском междуречье (Курганская об-

ласть) необходим национальный парк кластерного типа, включающий Большое и Малое Медвежье озёра и сосновые боры по реке Тобол. В лесостепной и степной зонах Омской области при ликвидации федерального заказника “Степной” необходимо рассмотреть возможность создания заповедника “Курумбельская степь”.

От проекта ППК РГО 1917 г. до академического проекта 1957 г. и до начала 2000-х годов на повестке дня стояла задача организации Барабинского заповедника с самым крупным бессточным озером Западной Сибири — Чаны. Это уникальное озеро до сих пор не имеет никакого природо- и водоохранного статуса. В центре Барабинской степи в Новосибирской области находится заказник “Кирзинский” как филиал государственного природного заповедника “Саяно-Шушенский” в Красноярском крае. В Новосибирской области имеется возможность создания степного заповедника на базе государственного заказника “Южный”. Также не решён вопрос организации степного заповедника в бассейне Кулундинского озера. Безусловно, статуса федеральной ООПТ заслуживают степные ленточные боры Алтайского края [3]. Актуальность формирования заповедников и других категорий федеральных ООПТ в сельскохозяйственных регионах степной и лесостепной зон намного выше, чем в Арктике, тундре и лесной зоне. Это связано как с интенсивным сельскохозяйственным освоением данных регионов, так и с необходимостью комплексного мониторинга степных ландшафтов в условиях глобальных климатических и антропогенных изменений.

Существуют проблемы незавершённости заповедных систем и в горных физико-географических регионах Российской Федерации. Это касается, например, Полярного и Заполярного Урала, где ведётся интенсивное освоение нефтегазовых месторождений. На Приполярном Урале необходим заповедник в наиболее высокогорной его части (горы Народная и Манарага) в связи с интенсивным туристическим освоением этих уникальных ландшафтов [16].

В рамках одной статьи невозможно охватить перспективы оптимизации заповедной системы в такой большой стране, как Россия. Объективно существуют две стратегии развития сети ООПТ на федеральном и региональном уровнях. Сеть федеральных ООПТ, в первую очередь заповедников и заказников, нужно строить на географических принципах. Каждая ландшафтная зона должна иметь непрерывный ряд заповедников с учётом её деления на физико-географические провинции. Национальные парки, выполняющие двойную функцию (природоохранную и рекреационно-туристическую) должны развиваться там, где они наиболее востребованы, и при этом способствовать сохранению природного

Таблица 1. Три основных направления развития сети охраняемых ландшафтов [17]

Направление	Суть направления	Плюсы	Минусы
Утилитарно-прагматическое	Возможность сохранения природного разнообразия в процессе природопользования, развитие природоподобных технологий, создание продуктивных управляемых экосистем, реинтродукция биологических видов. Рекреация и туризм на объектах природного наследия как бизнес	Обеспечивает экономическое развитие социума. Имеет большое значение для “зелёной экономики”	Несовместимо с понятием “заповедник”. Подобная деятельность должна быть запрещена на территории заповедников
Экоцентрическое	Полный запрет хозяйственной деятельности, зоны абсолютного покоя, отсутствие следов присутствия человека	Идеальная цель для заповедников	Недостижимо в условиях современного мира
Научно-экологическое	Полное прекращение хозяйственной деятельности, экологическая автономность, ведение научной деятельности при минимальном воздействии на природный комплекс	Единственная законная продукция – научная, результаты мониторинга, которые могут быть использованы для познания природы	Нет

разнообразия. Стирание границ между заповедниками и национальными парками грозит деградацией всего заповедного дела.

Организация сети региональных и местных ООПТ должна быть прерогативой субъектов РФ и муниципальных образований. Федеральное ведомство (в настоящее время это Министерство природных ресурсов и экологии РФ) должно только регулировать общую нормативную базу и определять категории ООПТ. И, безусловно, на региональном и муниципальном уровнях не может быть административных единиц без региональных заказников, охраняемых ландшафтов и памятников природы. Если их ничтожно мало или нет вовсе, значит, работа по их выявлению не ведётся местными учёными и не поощряется администрациями.

Обобщая известные представления об основных тенденциях развития территориальной охраны природы в нашей стране, можно выделить три основных направления развития системы ООПТ: *утилитарно-прагматическое*, *экоцентрическое*, основанное на этике дикой природы, и *научно-экологическое*, развивающее концепцию классических заповедников. За каждым из них стоят солидные научные школы, и каждое в той или иной степени востребовано государством и обществом (табл. 1).

Утилитарно-прагматическая идеология ориентирована на сохранение биологического и ландшафтного разнообразия в процессе при-

родопользования, развитие природоподобных технологий, создание продуктивных управляемых экосистем, постановку экспериментов с целью изучения природных процессов и их оптимизации. Это направление обеспечивает экономическое развитие социума. Но это не идеология природоохраны. Все виды хозяйственной деятельности, включая реинтродукцию видов, регулирование их численности, любые виды рекреации и туризма, должны быть выведены за пределы природных заповедников и заповедных зон других категорий ООПТ. Именно за пределами заповедников может быть открыт широкий простор для проведения прикладных научных исследований. Территории и объекты управляемого природопользования должны называться своими именами, но только не заповедными.

Безусловно, заслуживает уважения *экоцентрическая* идеология природоохраны, основанная на этике дикой (правильнее сказать – девственной, нетронутой) природы. Она присутствует в работах многих зарубежных и отечественных деятелей природоохраны и не допускает даже минимального присутствия и воздействия человека. Реализация её на практике в современных условиях невозможна, потому что все ландшафты Земли прямо и косвенно испытывают влияние хозяйственной деятельности человека.

Остаётся третий вариант – *научно-экологическое направление*, основанное на концепции классических заповедников, заложенное В.В. Доку-

Таблица 2. Основные сценарии развития взаимоотношений человека и Природы [17]

“Против Природы”	“Назад к Природе”	“Вперёд к Природе”
Ф. Бэкон, природопокорительский синдром в СССР и других странах	Н.М. Карамзин, С.Т. Аксаков, Н.К. Рерих, О. Леопольд, Б. Коммюнер, А.П. Семёнов-Тян-Шанский, В.Г. Горшков, К.С. Лосев, К.Я. Кондратьев, В.М. Котляков	Э. Леруа, В.И. Вернадский, П. Тейяр де Шарден, М.Е. Виноградов, А.С. Мониин
“Вместе с Природой”		
Сохранение самодостаточных островов выживания первозданной природы с развитием природоподобных технологий во всех сферах хозяйственной деятельности		

чаевым, Г.А. Кожевниковым, И.П. Бородиным, В.П. Семёновым-Тян-Шанским и развиваемое современными экологами и географами. Практически все заповедники СССР и России до 2000 г. проектировались на основе этой концепции, предусматривающей полное прекращение хозяйственной деятельности, экологическую автономность территории и единственную законную продукцию — научную, в том числе “летопись природы” и результаты многолетнего ландшафтно-экологического мониторинга. Материалы многолетнего мониторинга в настоящее время приобретают особую ценность в связи с необходимостью оценки и прогнозирования глобальных климатических и антропогенных изменений. Воздействие научных исследований на природные комплексы должно быть минимальным, без изъятия из природы живых организмов и их регулирования, что для нужд науки с успехом можно делать в охранной или специальных зонах за пределами основного заповедника.

Таким образом, необходимо развести по разные стороны две основные концепции территориальной природоохраны — утилитарно-прагматическую и научно-экологическую, а не совмещать и сталкивать их на одной и той же территории. Заповедники должны оставаться заповедниками, а разнообразные другие ООПТ, в том числе биосферные полигоны и зоны рекреации и туризма — хозяйствующими субъектами за пределами заповедников. То же самое следует осуществить и в пределах национальных и природных парков. В специально выделенных особо охраняемых зонах должен осуществляться полный заповедный режим. При этом эконоцентрическая концепция, основанная на этике девственной природы, может быть путеводной звездой отечественного заповедного дела. Таким видится “соломоново решение” длительных споров сторонников различных взглядов на то, каким должен быть режим заповедников России.

Следуя коренной русской мудрости “заповедного не трогать”, необходимо отказаться от разнобразной экспансии на острова выживания

девственной природы, уже ставшие заповедниками или ждущими от нашей власти милости и спасения. На территории России достаточно места как для экологического и познавательного туризма, так и для всех категорий особо охраняемых природных территорий целевого назначения.

Существует несколько сценариев развития взаимоотношений человека и Природы [17–19]: “Вместе с Природой”, “Против Природы”, “Назад к Природе”, “Вперёд к Природе” (табл. 2). Все они могли существовать одновременно, либо с разной степенью реализации, либо в виде утопической теории. И все сценарии имеют своих сторонников.

Самым древним, безусловно, является сценарий “Вместе с Природой”, когда на заре человечества его воздействие на окружающую среду не приводило к необратимым процессам. Постепенно человек выделился из остальной природы и создал для себя новую экологическую нишу. По мере развития общества для сохранения монополии над остальным миром человек ставил приоритетом своей жизнедеятельности преобразование и покорение природы, реализуя сценарий “Против Природы”. Так были существенно сокращены площади и количество заповедников в 1951 и 1961 гг.

В последнее десятилетие мы наблюдаем системное посягательство на неприкосновенность заповедников. Это выражается в развитии на неприкасаемых ландшафтах экологического и познавательного туризма. Заповедникам предлагают самим зарабатывать деньги на предоставлении рекреационных услуг. За 25 лет внесено более 40 дополнений в Федеральный закон об особо охраняемых природных территориях, предусматривающих изъятие земель заповедников для строительных и иных нужд. Существует практика, когда переписываются и утверждаются индивидуальные положения, разрешающие в заповедниках охоту, рыбную ловлю, вольерное содержание животных и т.д. Практикуется преобразование заповедников в национальные парки, появилась официально поощряемая ста-

тистика по количеству туристов и отдыхающих в заповедниках. Такой подход в большей степени соответствует сценарию “Вперёд к Природе”, предусматривающему активное вмешательство в процессы эволюционного развития. В результате в заповедниках прокладываются экологические тропы, организуются туры по заповедным рекам, фототуры для съёмки редких видов животных в дикой природе, а дальше – кемпинги, приюты, джиппинги, фуникулёры, смотровые площадки в самых укромных и недоступных уголках.

Ещё в середине XIX в. в Западной Европе, Северной Америке и России зародились идеи возвращения человечества к первозданной природе, которые составляют основу сценария “Назад к Природе”. Сначала эти идеи появились в художественной литературе, поэзии, искусстве (Ф. Шиллер, Н.М. Карамзин, С.Т. Аксаков, русская поэзия “чистого искусства”). Затем они стали проникать в научную среду. В России они наиболее ярко проявились в начале XX в. в деятельности некоторых членов ППК РГО, образовавших эколого-эстетическое направление. Нереальность данного сценария очевидна, однако деятельность его сторонников очень важна, так как противодействует проектам покорения природы.

Наиболее приемлемым для гармонизации взаимоотношений между человеком и природой представляется сценарий “Вместе с Природой”. Человечество следовало ему на протяжении своего существования, и он должен получить развитие и в современную эпоху. Другого пути просто нет. Невозможно заменить биосферу как единственную пригодную для жизни человека среду ни ноосферой, ни техносферой. Один из самых известных, но не признанных идеологов сценария развития человеческого общества “Вместе с Природой” – немецкий философ Ф. Энгельс, который в своём самом знаменитом труде “Диалектика природы” сформулировал основные постулаты этого направления. Он писал: “Мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом... мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри её... всё наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать её законы и правильно их применять” [20, с. 143].

Этот сценарий может иметь различные варианты реализации. Его суть должна заключаться в развитии природоподобных технологий во всех сферах жизнедеятельности от высокотехнологичного производства до формирования непрерывной сети ООПТ. В современных условиях сценарий “Вместе с Природой” должен предусматривать:

- признание существующей ландшафтной сферы (биосферы, а не ноосферы) единственно пригодной для человека средой обитания;
- возвращение человека “внутрь Природы” и отказ от антропоцентризма;
- сохранение саморегулируемой структуры вмещающего ландшафта;
- постепенное замещение антиприродных технологий природоподобными или адаптированными к природе, в том числе управляемыми, не приводящими к необратимым процессам в среде, обеспечивающей жизнь;
- признание обязательным условием поддержания в полной неприкосновенности сохранившихся эталонов первозданной природы во всех природных зонах и ландшафтных провинциях; создание неприкосновенного запаса первозданной природы, который без оговорок соответствует русскому понятию “заповедный” и образует Заповедную Россию.

Географическая сеть заповедных территорий – одно из самых значимых достижений отечественной науки (прежде всего Российской академии наук) за последние 100 лет. В настоящее время, когда в нашей стране стартовали национальные мегапроекты, система территориальной охраны природы должна служить фундаментом пространственного развития России. Это одно из условий не только устойчивости природной среды, но и экологической безопасности страны.

Настоящим завещанием в области экологии и охраны природы при реализации национальных проектов в России XXI в. могут стать слова В.П. Семёнова-Тян-Шанского из его знаменитого доклада на последнем заседании Постоянной Природоохранительной комиссии РГО в октябре 1917 г.: “Чем больше власть человека над природой, тем к более бережному обращению с ней она обязывает, либо иначе неизбежно происходит ничем не восстанавливаемое расхищение естественных производительных сил страны. Единственным способом избежать таких нежелательных явлений представляется создание живых музеев нетронутой человеком природы для наиболее ярких, полных и типичных природных сообществ... Никакая правильная индустриализация страны немыслима без планомерной постановки охраны её естественных производительных сил в виде заповедников” [21].

В данной статье я хотел бы подтвердить актуальность этих слов и в наши дни. Весь ход мировой и отечественной истории применительно к взаимоотношениям человека и природы свидетельствует о том, что чем образованнее страна и общество, чем больше потерь понесли первозданные ландшафты от воздействия человека, тем больше усилий должны прилагать наука, власть и бизнес к сохранению и возрождению участков

первозданной природы. Заповедная Россия как единая непрерывная сеть особо охраняемых природных территорий образует территориальный каркас, необходимый для гармонизации нашей жизнедеятельности.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках государственной темы ИС УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1 “Проблемы степного природопользования в условиях современных вызовов: оптимизация взаимодействия природных и социально-экономических систем”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978.
2. Штильмарк Ф.Р. Историография российских заповедников (1895–1995). М.: Логота, 1996.
3. Чибилёв А.А. История и современное состояние заповедного дела в России // Вестник РАН. 2017. № 3. С. 231–241; *Chibilev A.A. History and Current Status of Reserve Management and Study in Russia // Herald of the Russian Academy of Sciences.* 2017. № 2. P. 181–190.
4. Чибилёв А.А., Тишков А.А. История заповедной системы России. М.: ППК РГО, 2018.
5. Докучаев В.В. Труды экспедиции, снаряжённой Лесным департаментом, под руководством профессора Докучаева. Отчёт Министерству земледелия и государственных имуществ. 1894 г. СПб.: Типография В. Киршбаума, 1895.
6. Докучаев В.В. К учению о зонах природы: Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны. СПб.: Типография Санкт-Петербургского градоначальства, 1899.
7. Берг Л.С. Географические зоны Советского Союза. 3-е изд. М.: Географгиз, 1947.
8. Берг Л.С. Физико-географические (ландшафтные) зоны СССР. Ч. 1. Введение. Тундра. Лесная зона. Лесостепь. Л.: Ленингр. гос. ун-т им. А.С. Бубнова, 1936.
9. Бородин И.П. Охрана памятников природы // ППК ИРГО. № 1. СПб.: Типография М.М. Стасюлевича, 1914.
10. Мировая охрана природы. Отчёт академика И.П. Бородина о командировке в Берн на конференцию по международной охране природы / ППК ИРГО. № 2. Петроград: Типография М.М. Стасюлевича, 1915.
11. Столетие Постоянной Природоохранительной Комиссии ИРГО. Юбилейная книга-альманах / Под научной ред. А.А. Чибилёва, А.А. Тишкова. М.: РГО, 2012.
12. Кожевников Г.А. Отчёт об юбилейном заседании Императорского Русского общества акклиматизации животных и растений. М., 1909.
13. Лавренко Е.М., Гептнер В.Г., Кириков С.В., Формозов А.Н. Перспективный план географической сети заповедников СССР (проект) // Охрана природы и заповедное дело в СССР. 1958. Бюлл. № 3. С. 3–92.
14. Тишков А.А. Развитие заповедной сети Северной Евразии и академическая наука // История заповедной системы России. М.: ППК РГО, 2018. С. 35–57.
15. Дёмина О.Н. Донской степной заповедник и восточнопричерноморские степи бассейна Дона. Ростов-на-Дону: Медиа-Полис, 2013.
16. Чибилёв А.А. Урал: природное разнообразие и евроазиатская граница. Екатеринбург: УрО РАН, 2011.
17. Чибилёв А.А. Заповедная Россия: истоки, современность, будущее. М., Екатеринбург, Оренбург: ИС УрО РАН, ППК РГО, 2020.
18. Лосев К.С., Горшков В.Г., Кондратьев К.Я. и др. Проблемы экологии России. М.: ВИНТИ, 1993.
19. Розенберг Г.С., Рянский Ф.Н. Теоретическая и прикладная экология: учебное пособие. Нижневартовск: НГПИ, 2004.
20. Энгельс Ф. Диалектика природы. М.: ОГИЗ Политиздат, 1941.
21. Архив Всероссийского географического общества. Ф. 48. Оп. 1. Д. 12, 316, 317.

ВЕЛИКИЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ ПРИРОДНЫЙ МАССИВ КАК ОБЪЕКТ МИРОВОГО ЗНАЧЕНИЯ

© 2022 г. Н. А. Соболев^{a,*}, Е. А. Белоновская^{a,**}, К. Н. Кобяков^{b,***},
А. Н. Кренке^{a,****}, С. В. Титова^{a,*****}

^aИнститут географии РАН, Москва, Россия

^bВсемирный фонд природы, Москва, Россия

*E-mail: sobolev_nikolas@igras.ru

**E-mail: belena@igras.ru

***E-mail: kkobyakov@wwf.ru

****E-mail: krenke-igras@yandex.ru

*****E-mail: canopuss@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.01.2022 г.

После доработки 04.02.2022 г.

Принята к публикации 10.02.2022 г.

В статье формулируются задачи формирования экологического каркаса, излагаются некоторые итоги многолетнего изучения Великого Евразийского природного массива, представляющего собой непрерывный ряд естественных экологических систем от Тихого океана до Фенноскандии. Кратко рассказана история выявления массива как одного из современных географических открытий. Его оконтуривание выполнено на основе карты биомов России по результатам анализа данных дистанционного зондирования Земли с полевой верификацией и других открытых данных. Приводятся сведения об изменении площади естественных экосистем и вариации запасов фитомассы в различных биомах. Авторами произведена монетарная оценка экосистемных услуг Великого Евразийского природного массива, предлагается краткосрочный прогноз изменений продуктивности его экосистем. Обсуждаются вопросы управления массивом: рекомендуется включение понятия об экологическом каркасе в “Стратегию развития системы особо охраняемых природных территорий в Российской Федерации на период до 2030 года”, создание государственного агентства, в ведении которого будет находиться территориальная охрана природы. Предлагается законодательно закрепить статус массива как уникального объекта природного наследия мирового уровня.

Ключевые слова: территориальная охрана природы, дистанционное зондирование Земли, естественные экологические системы, фрагментация ландшафтов, трансформация ландшафтов, наземная фитомасса, экосистемные услуги, экологический каркас, особо охраняемые природные территории, всемирное наследие, Северная Евразия, Великий Евразийский природный массив.

DOI: 10.31857/S0869587322060111

Саморегуляция естественных экологических систем поддерживает благоприятную окружающую среду на Земле. Эта способность основана на относительной взаимозаменяемости экологически близких видов живых организмов в природных сообществах. Популяции каждого вида нуждаются в характерном для них минимальном жиз-

ненном пространстве, вмещающем необходимые им ресурсы и условия существования. Чем более подвижны и крупны особи, тем больше размер территории, необходимой для их популяции. При этом именно крупные и подвижные животные, концентрируясь в местах с доступными пищевыми ресурсами, регулируют состояние экосистем-

СОБОЛЕВ Николай Андреевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеографии ИГ РАН. БЕЛОНОВСКАЯ Елена Анатольевна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеографии ИГ РАН. КОБЯКОВ Константин Николаевич – главный координатор проектов по лесам высокой природоохранной ценности Всемирного фонда природы. КРЕНКЕ Александр Николаевич – кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории биогеографии ИГ РАН. ТИТОВА Светлана Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории биогеографии ИГ РАН.

ного покрова на наиболее значительных по масштабу территориях. При расчленении (фрагментации) природных ландшафтов, например, магистралями и застройкой, отдельные их участки становятся слишком малы для некоторых видов. Поэтому необходимо, чтобы между топографически изолированными участками сохранялась хотя бы экологическая связь, то есть чтобы особи, составляющие в совокупности жизнеспособную популяцию, могли перемещаться между населёнными участками. Тогда функционально связанные между собой территории образуют *природный каркас экологической стабильности* [1], в пределах которого саморегуляция экосистем осуществляется благодаря сохраняющимся экологическим связям между отдельными его частями.

Концепция экологического каркаса состоит в том, что сохранение его способности к саморегуляции может быть достигнуто путём целенаправленного обеспечения его функциональной целостности. В связи с этим особую ценность приобретают очень большие природные массивы, в пределах которых могут обитать жизнеспособные популяции крупных хищных млекопитающих и птиц, а также стадных травоядных млекопитающих. В таких природных массивах сохраняется качественно полноценная биота: на всех пространственно-иерархических уровнях организации экосистем в каждом функциональном блоке присутствуют разнообразные, в том числе экологически близкие виды, экологические ниши которых частично перекрываются, благодаря чему при временных снижениях численности отдельных видов их место занимают другие и общий экологический баланс сохраняется [2, 3]. Именно эти природные массивы наиболее значимы для поддержания экологического баланса на глобальном уровне, выступая в качестве экологических доноров по отношению к связанным с ними менее крупным природным территориям.

В середине 1990-х годов была сопоставлена нарушенность природных экосистем в различных регионах России по сокращению их площади [4, 5] и по уменьшению фитомассы, приходящейся на единицу площади природных экосистем [6], с экологическим благополучием региона в целом [7], а также составлена шкала соотношения между нарушенностью природных экосистем и состоянием природного каркаса [8–10]. Выявлен трансконтинентальный непрерывный ряд минимально нарушенных природных экосистем от Тихого океана на востоке до Фенноскандии на западе, для обозначения которого введён отдельный топоним — Великий Евразийский (Евро-Азиатский) природный массив (ВЕПМ) [8, 9].

Если бытовые, подчас ошибочные, представления о “бескрайних просторах девственной природы” в России существуют давно, то обосно-

вание целостности ВЕПМ и осознание теоретической и практической важности его существования стало географическим открытием, значимым на фоне усиления межрегиональной взаимозависимости, характерной для эпохи антропоцена. В “Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию” отмечено, что в России сохранился крупнейший на планете массив естественных экосистем (8 млн км²), который служит резервом устойчивости биосферы, но его местоположение в данном документе не указано.

При составлении индикативной схемы экологического каркаса России на основе совмещения пространственных данных о местоположении, с одной стороны, природных территорий, обладающих повышенной природоохранной ценностью (ключевых территорий экологического каркаса), и, с другой стороны, различных объектов, затрудняющих экологические связи между природными территориями, выполнено первичное картографирование ВЕПМ [11]. Более подробно Великий Евразийский природный массив исследован, исходя из биомной организации экосистемного покрова [12, 13]: каждый биом (либо его топографически или экологически целостная часть) рассматривается целиком, включая и природные, и коренным образом преобразованные территории, поскольку они фактически взаимодействуют между собой. С учётом этого производится оконтуривание биомов и их частей, где находится сплошной природный массив, в целом сохранивший полноценную биоту и способность к саморегуляции.

Из состава природных территорий при оконтуривании исключаются селитебные зоны, коммуникации с неприродным покрытием, инфраструктура горнодобывающей промышленности, пашня. Вырубки леса и пожарища в глубине ВЕПМ рассматриваются как обратимые изменения, однако если частота таких воздействий превышает время достижения биотой хотя бы ранней стадии восстановления природного сообщества, то такие изменения фактически становятся необратимыми [10]. При оценке надёжности экологических связей между природными территориями отдельно учитывается, что расположение рядом нескольких параллельных транспортных коммуникаций, например, железной дороги и автострады, усиливает барьерный эффект для перемещающихся животных [3].

В 2020 г. проведено уточнение ранее полученных результатов на основе анализа актуальных открытых геопозиционированных данных о развитии промышленной и транспортной инфраструктуры и о распределении селитебных территорий и пахотных угодий [10]. Такие данные верифицированы полевыми наблюдениями методом дальних скоростных маршрутов [15] и на-



Рис. 1. Карта границ ВЕПМ по состоянию на 1 декабря 2020 г.

блюдениями на модельных участках. С учётом результатов предыдущих лет составлена карта конфигурации ВЕПМ по состоянию на конец 2020 г. (рис. 1). Наибольшая доля природных территорий отмечена в тундровых биомах и некоторых горно-таёжных оробิโอмах. Доля природных территорий в преимущественно лесных и лесостепных биомах обычно ниже.

Из-за объектов нефтегазодобывающей промышленности трансформацией природных экосистем на значительной площади в наибольшей степени затронуты следующие биомы: Кольско-Большеземельско-Тазовский, Мезено-Печорский (восточная часть), Западносибирский северный, Прибалтийско-Ветлужский среднетаёжный (восточная часть), Приуральский (восточная часть), Обь-Иртышский, Верхневилуйский (в юго-восточной части), оробиом Енисейского края (в юго-восточной части).

Анализ распределения так называемых “ландшафтных” (вне населённых пунктов) пожаров показывает, что они наиболее вероятны вне лесного фонда и федеральных особо охраняемых

природных территорий, то есть преимущественно на нелесных землях. Малонарушенные лесные территории наименее подвержены пожарам в лесном фонде [15]. В пределах Великого Евразийского природного массива от пожаров больше всего пострадали Амуро-Зейский и Амуро-Уссурийский биомы. Зейско-Буреинский биом и часть Амуро-Уссурийского биома выпали из состава ВЕПМ в результате интенсивного хозяйственного освоения, и именно здесь наиболее часто происходят пожары.

В результате рубки леса наибольшие площади малонарушенных лесных территорий потеряли Мезено-Печорский северотаёжный, Западносибирский северный северотаёжный, Прибалтийско-Ветлужский среднетаёжный, Обь-Иртышский, Верхневилуйский, Центральнаякутский, Ангарский южнотаёжный биомы, а среди оробиемов — Западноуральский, Енисейского края, Бурятский, Шилкинский, Алдано-Майский, Верхнезейский, Южноохотский, Среднесихотэ-Алинский. Заготовка древесины часто смещается даже в зону притундровых лесов, причём принимаются решения о сокращении площади соответ-

Таблица 1. Изменения запасов надземной фитомассы экосистем ВЕПМ с 2000 по 2020 г. по данным дистанционного анализа

Тип биома	Положительные тренды		Отрицательные тренды		Баланс изменений	
	Средние запасы, т/га	Суммарные запасы, т	Средние запасы, т/га	Суммарные запасы, т	Суммарно, т	%
Широколиственные и смешанные леса умеренного пояса	63.8	80773300	-44.6	-69749018.7	11024281.3	1.4
Хвойные леса умеренного пояса	77.3	31630663.8	-46.2	-14936389.3	16694274.5	6
Бореальные темнохвойные леса	57	529693722.3	-47.6	-475227863.7	54465858.6	1.2
Степи умеренного пояса	38.2	26664162.2	-28.3	-48609617.7	-21945455.5	-9.6
Пойменные луга	67	4652751.7	-38.9	-2506679.9	2146071.8	8.1
Горные луга и кустарники	61.8	4117044.7	-20.2	-1458493	2658551.7	9.8
Тундра	9.2	27712651.4	-7.3	-48286324.3	-20573672.9	-6
Опустыненные степи и пустыни	19.3	938543.5	-13.4	-1469811	-531267.4	-11.3

ствующей категории защитных лесов. Антропогенные нарушения, в том числе вырубка леса и создание инфраструктуры, ускоряют процесс таяния вечной мерзлоты.

В Арктической зоне Российской Федерации изъятие значительных участков земель из традиционного природопользования может привести к разрыву целостности угодий, вызвать нарушение мерзлотного и гидрологического режима. На фоне изменений климата происходит увеличение площади экосистем, деградирующих как за счёт накапливаемого эффекта воздействий, так и вследствие медленных процессов восстановления. Сравнительно низкая фрагментация большинства регионов Арктической зоны говорит о том, что очаговый характер антропогенной трансформации экосистем пока ещё не перерастает во фронтальный.

В качестве исходных данных о динамике фитомассы использован набор пространственно интегрированных данных в углеродном эквиваленте [16]. При моделировании взяты два временных ряда: 2000–2003 и 2017–2020 гг. Для каждого ряда использованы данные классификации ландшафтов на основе программы MCD12Q1 и регионализация карты экорегионов мира [17]. Это позволило осуществить моделирование запасов надземной фитомассы в контексте различных типов трансформации энергии для биомов. Для верификации и сравнения привлекались материалы Базы дан-

ных им. Н.И. Базилевич Института географии РАН (рег. № 2017621515).

В таблице 1 приведены сведения о положительных и отрицательных изменениях запасов надземной фитомассы в рассматриваемых типах биомов Северной Евразии. Суммарно отрицательный тренд запасов наблюдается в XXI в. в безлесных тундровых, степных и пустынных биомах. Они имеют более короткое характерное время реакции на климатические сдвиги, чем леса.

В биомах лесостепи, степи и опустыненных земель Северной Евразии значительное влияние на баланс удельных и площадных параметров фитомассы оказывают, помимо климатических факторов (засухи, межсезонные изменения осадков и пр.), ведение сельского хозяйства и другие экономико-географические воздействия. Отмечен фоновый отрицательный тренд запасов фитомассы в Тоболо-Приобском и Даурском биомах. Наблюдается расширение площадей послелесных лугов по южной границе лесных биомов, например в Сихотэ-Алинском южном оробиеме, где из-за частых пожаров формируется саванноидный тип ландшафта.

В тундрах к началу XXI в. запасы фитомассы выросли в среднем на 15–30% [18], но в 2000–2019 гг. отмечались лишь погодичные флуктуации. Снижение запасов надземной фитомассы отмечено в южной полосе, тогда как в типичной и арктической тундре, наоборот, наблюдается сла-



Рис. 2. Потери фитомассы в естественных экологических системах ВЕПМ

бый положительный тренд, в том числе за счёт олуговения и закустаривания. Общий тренд изменений в тундре нарушается ростом запасов фитомассы вдоль долин рек, который распространяется в северном направлении: это отражение продвижения лесов на север по наиболее защищённым участкам ландшафта. На полуостровах Ямал и Таймыр, где отмечен высокий темп потепления ($0.8\text{--}0.9^\circ\text{C}/10$ лет), наземная фитомасса в XXI в. не увеличивается [19]. Ожидавшееся соответствие изменений в продукционном градиенте экосистем зональному климатическому градиенту оказалось необоснованным.

В лесах наблюдается кластеризация отрицательных изменений, что, очевидно, является отражением очаговых трансформаций экосистем (пожары, рубки, очаги вредителей и болезней леса, усыхание лесов при изменении дренажа). Более умеренные изменения показывают сукцессии и естественное развитие экосистем. Рост запасов фитомассы фиксируется в лесных биотомах Центральной и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Наиболее заметно он проявляется в Верхневилуйском среднетаёжном, Центральнокут-

ском среднетаёжном, Амуро-Зейском южнотаёжном, Амуро-Уссурийском подтаёжном биотомах, Алдано-Майском и Янкано-Джагдинском оробитомах. Это связано, по-видимому, с процессами лесовосстановления после массовых рубок и пожаров, что подтверждается кластеризованностью участков при фоновом положительном тренде.

Проведённый анализ показал различные для отдельных типов экосистем, биотомов и регионов ВЕПМ формы и направления динамики запасов наземной фитомассы. Эти изменения в XXI в. сопоставлены с данными по уменьшению фитомассы на единицу площади экосистем к концу XX в. [6]. Таким образом получена оценка удельных потерь фитомассы (деградации) экосистем в различных биотомах к настоящему времени по сравнению с их исходным состоянием (рис. 2).

На основе изложенных выше результатов выполнены оценки экосистемных услуг, связанных с ВЕПМ. Они разделены на две большие группы в соответствии со спецификой пользования ими: поддерживающие и регулирующие услуги; обеспечивающие услуги.

Таблица 2. Удельная величина экосистемных услуг типов ландшафтов ВЕПМ

Экосистемные услуги	Удельная величина экосистемных услуг, руб. на 1 га в год									
	Тундра		Тайга		Болота		Луга		Степи	
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.
Водорегулирующие	90	100	400	600	300	400	150	200	100	120
Климаторегулирующие	250	300	250	350	300	400	50	60	900	1300
Почвозащитные	1000	1500	2000	3000	1500	2000	250	300	2500	3000
Ассимиляционные	120	140	200	300	200	300	80	100	250	350
Биопродукционные	800	1000	4000	5000	1200	1500	2000	2500	3200	4000
Поддержание биоразнообразия	100	120	90	120	50	80	50	80	100	120
Итого (поддерживающие и регулирующие услуги)	2360	3160	6940	9370	3550	4680	2580	3240	7050	8890
Биоресурсные	2000	13300	2300	20000	1750	8350	12850	91100	15600	95300
Оздоровительные	2	5	10	20	2	5	5	10	5	10
Рекреационные (коммерческое использование)	30	50	100	100	20	30	50	70	50	100
Эстетические (некоммерческое использование)	30	50	50	70	30	50	30	50	70	100
Итого (обеспечивающие услуги)	2062	13405	2460	20190	1802	8435	12935	91230	15725	95510
Сумма экосистемных услуг	4422	16565	9400	29560	5352	13115	15515	94470	22775	104400

Для оценки экосистемных услуг уточнены данные о допустимых пастбищных нагрузках на экосистемы и ландшафты, связанные с землями лесного фонда [20]. В соответствии с колебаниями уровня цен определены значения биоресурсных экосистемных услуг по состоянию на декабрь 2020 г. Для этого использован разброс закупочных цен (за вычетом крайних значений) на соответствующие виды биоресурсов по данным международного торгового портала Лесной Ресурс.РФ (<https://woodresource.ru/browse/buy/lesna-kornyu/>), российского агропромышленного сервера АГРОСЕРВЕР.ru (<https://agroservers.ru/>), сети региональных бизнес-порталов RegTorg.Ru (<http://www.regorg.ru/>), торговых порталов Агробазар (<https://agrobazar.ru/>) и ДикоЕд (<https://dikoed.ru/>). Уточнены ранее полученные расчётные значения удельных величин экосистемных услуг основных типов ландшафтов Великого Евразийского природного массива (табл. 2).

Соотношение типов ландшафтов, характерное для групп биомов, косвенно определено по материалам официальной статистики [21, 22] в сопо-

ставлении с ранее собранными материалами и дополнительными литературными сведениями [23]. На этой основе рассчитаны экосистемные услуги, связанные с биомами ВЕПМ, в зависимости от площади природных территорий каждого из биомов, входящих в его состав – от 10079 до 36246 млрд руб./год. Объём ВВП России за 2020 г. составил в ценах на начало 2021 г. 106606.6 млрд руб. [24]. Таким образом, расчётные показатели экосистемных услуг, связанных с природными территориями ВЕПМ, соответствуют примерно 10–35% годового ВВП страны. Определяющие состояние биосферы, включая среду нашего обитания, поддерживающие и регулирующие экосистемные услуги, связанные с природными территориями биомов Великого Евразийского природного массива, составляют от 6384 до 8578 млрд руб./год.

Монетарные оценки средообразующих (поддерживающих и регулирующих) экосистемных услуг позволяют рассматривать Россию как глобального экологического донора. Такие оценки фактически должны соответствовать средствам на компенсацию возможной утраты этих услуг, что следует в том числе из применяемых методик

расчёта. Однако столь большие дополнительные средства на указанные цели никогда не резервируются. Более того, при любых финансовых затратах компенсация средообразующих экосистемных услуг в планетарном масштабе технически неосуществима, по крайней мере в обозримом будущем. В связи с этим наивно говорить об экономии средств, которые можно затем перераспределять. Более реалистично признать, что это непосильные затраты, которых мы избегаем благодаря существованию современной природы, но которые поставят человечество в тупик, если их необходимость перейдёт в практическую плоскость. Отсюда следует, какой объём инвестиций в сохранение природы ВЕПМ был бы экономически эффективен. Это должно учитываться при разработке и применении международных организационно-правовых инструментов стимулирования мер по смягчению глобальных климатических изменений и адаптации к их негативным последствиям в соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата.

Значительные объёмы обеспечивающих экосистемных услуг (от 3732 до 27 668 млрд руб./год) свидетельствуют в пользу поддержки традиционного природопользования, практикуемого народами, населяющими регионы Великого Евразийского природного массива, а также в пользу экологически обоснованных проектов дальнейшего хозяйственного освоения этих регионов для неистощительного природопользования. Туристические фирмы и индивидуальные предприниматели, организующие посещение природных территорий ВЕПМ, делают упор именно на рекреационную деятельность, но не связаны с использованием биоресурсов, то есть экономический интерес к сохранению биоресурсов в данном случае ограничен их рекреационной привлекательностью. В связи с этим уместно более внимательное отношение к воздействию этой деятельности на особо охраняемые и другие природные территории массива.

Для стабильного использования экосистемных услуг ВЕПМ нужно формирование устойчивого рынка товаров и обеспеченных ими услуг. Огромный объём биоресурсных экосистемных услуг открывает потенциальную возможность их использования. В то же время если спрос неожиданно резко возрастёт, то без необходимой маркетинговой подготовки это вызовет обвал цен на продукцию и сделает её производство неэффективным. Нужно активное распространение бренда ВЕПМ как одной из основ глобальной экологической стабильности и как источника экологически чистой продукции, полученной с соблюдением природоохранных нормативов.

Прогнозирование показателей экосистемных услуг в монетарном выражении сталкивается с

необходимостью учитывать труднопредсказуемые колебания стоимости различных их видов, что добавляет неопределённости в расчёты. Удобнее оценить ожидаемые в ближайшем будущем изменения объёмов услуг по трендам биологической продуктивности растительного покрова, являющейся наиболее общей характеристикой динамики наземных экосистем.

Для определения динамики продуктивности использованы открытые данные о чистой первичной продуктивности за 2000–2019 гг., собранные по снимкам спектрорадиометра MODIS с разрешением 500 м [25]. На основании анализа ряда данных с 2000 по 2019 г. вычислен прогнозный показатель чистой первичной продуктивности на 2025 г. Затем для этого же ряда данных для каждой точки было найдено среднее значение чистой первичной продуктивности. После этого рассчитана разница между прогнозным значением на 2025 г. и средним значением за 2000–2019 гг. Она характеризует направление изменений значения продуктивности. Особенность метода заключается в том, что участки без наземной растительности (в том числе обширные болота, где растительность не выявлена методами дистанционного зондирования земли) показаны как участки с отсутствием данных [26]. Результат оценки для участков с наличием наземной растительности приведён на рисунке 3.

Анализ пространственной картины ожидаемой динамики продуктивности показывает сильную кластеризацию наиболее значимых положительных и отрицательных её трендов. Кластеризация отражает очаговую трансформацию экосистем (горные выработки, пожары, рубки, очаги вредителей и болезней леса, усыхание лесов при изменении дренажа). На участках с большим повышением продуктивности идёт активное восстановление растительного покрова, нередко – формирование вторичных сообществ, обладающих низкой способностью к саморегуляции. На площадях с резким снижением продуктивности затруднено восстановление даже вторичного растительного покрова. Более умеренные изменения продуктивности отражают сукцессии и поступательное развитие экосистем.

Ранее мы уже отмечали рост продуктивности арктических и субарктических экосистем Северной Евразии, который проявляется в “озеленении” тундры [18, 19]. Анализ годовых флуктуаций продуктивности наземных экосистем позволил дать краткосрочный прогноз изменений продукции в биомах Великого Евразийского природного массива.

Рост продуктивности предполагается почти на всей территории Российской Арктики за исключением локальных участков, подвергшихся воздействию пожаров. Но величина этого роста име-

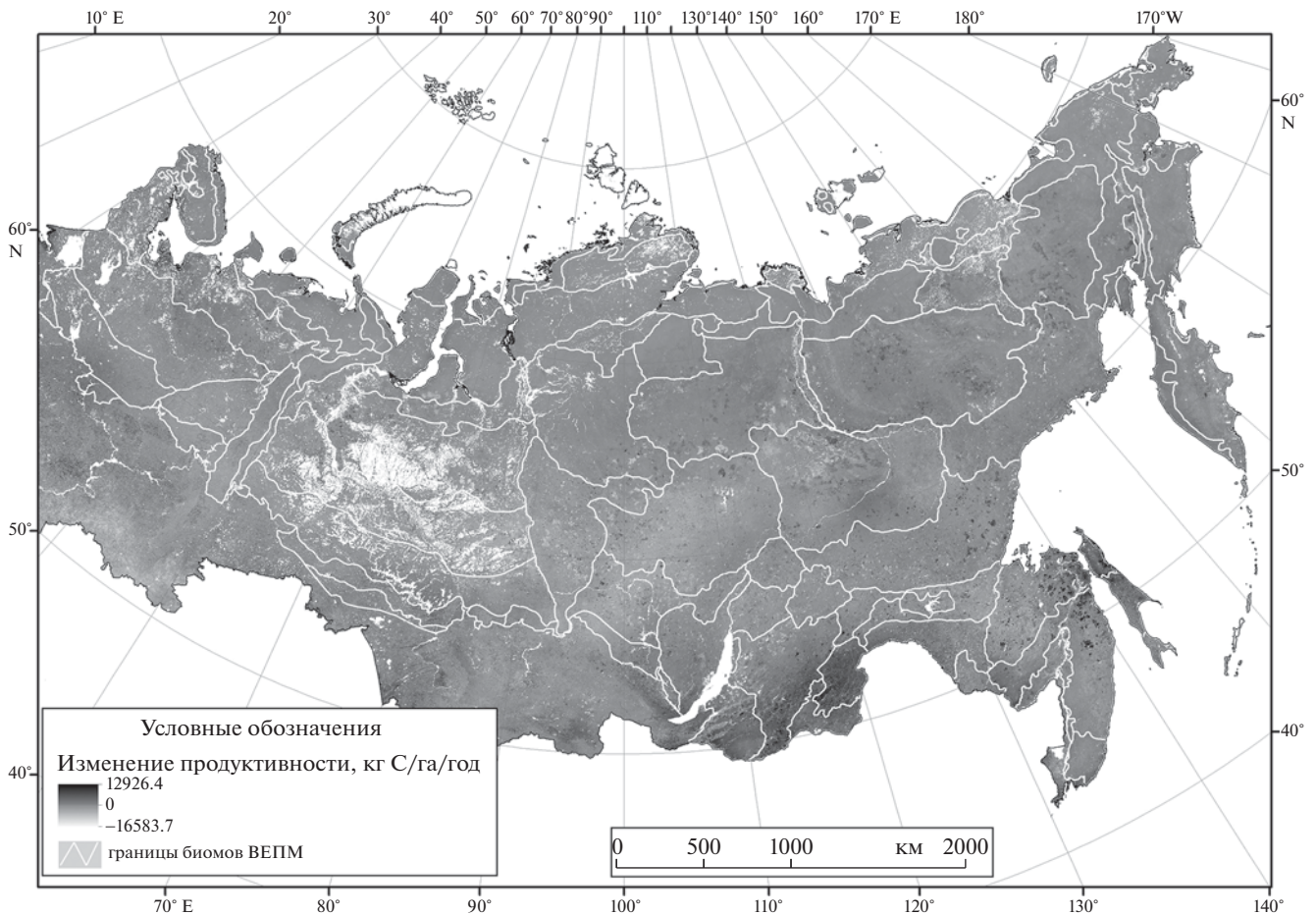


Рис. 3. Прогноз изменения продуктивности экосистем в биоме ВЕПМ и в его окрестностях

ет региональные отличия, определяемые пространственными эффектами влияния изменений климата на растительность (начало и интенсивность потепления и проявления климатических аномалий в целом). Увеличение продуктивности тундр при сопоставлении с данными полевых измерений 1960–1970-х годов в конкретных точках может превышать 50%. При экспансии кустарников запасы фитомассы в тундрах за последние десятилетия могут удвоиться.

Наибольший рост продуктивности экосистем ожидается в Шилкинском, Витимском (кроме его северо-западной части), Амуро-Зейском биоме, в Бурятском оробиеме и на юге западной части Среднесихотэ-Алинского оробиема. Много очагов резкого повышения продуктивности сконцентрировано в северной части Северосахалинского биоме, на севере Среднесихотэ-Алинского и северо-востоке Южноохотского оробиемов.

Положительная динамика продуктивности на значительных площадях при наличии очагов резких разнонаправленных её изменений отмечена в южной части Мезено-Печорского северотаёжно-

го, Котуйско-Ленском северотаёжном, Нижнеколымском северотаёжном, Западнокамчатском, северной части Прибалтийско-Ветлужского среднетаёжного, южной части Прибалтийско-Ветлужского южнотаёжного, южной части Центральноякутского, восточной части Ангарского подтаёжного, восточного фрагмента Смоленско-Приволжского биомов, Западнокорьякского, Верхояно-Яно-Индибирского, Омолонского, Североохотского, Верхнеленского оробиемов. Заметная положительная динамика отмечена для приморских территорий Новоземельско-Гыданско-Ямальского, Кольско-Большеземельско-Тазовского, Кольско-Карельского, Мезено-Печорского, Западнокорьякского оробиемов, на юге Анадырско-Пенжинского биоме и Восточнокорьякского оробиема.

Значительные участки Западносибирского северотаёжного и Обь-Иртышского биомов оказались вне доступа для сбора данных [25, 26], поскольку заняты участками без надземной растительности. Развитая инфраструктура нефтегазодобывающей промышленности покрывает как эти участки, так и долины рек, где растительность обнаружена,

в том числе зафиксирован положительный тренд продуктивности.

Отрицательная динамика выявлена в Приуральском, Обь-Иртышском среднетаёжном, Верхневилуйском биомах, на западе Центральнойкутского биома, в оробииме Енисейского кряжа. Отрицательная динамика с очагами резко положительного тренда характеризует компактную территорию, охватывающую восток Тукурингра-Джагдинского, Верхнезейского и центральную часть Южноохотского оробиимов. Многочисленные участки с резко отрицательной динамикой продуктивности заметны в Таймыро-Среднесибирском, Лено-Колымском, Кольско-Карельском, Мезено-Печорском, Котуйско-Ленском лесотундровом, Нижнеколымском лесотундровом, Прибалтийско-Ветлужском, Приуральском среднетаёжном, Чукотском биомах.

Перечисленные примеры показывают далёкое от идеального состояние Великого Евразийского природного массива, который, оставаясь экологически целостным, отнюдь не является сплошным. Внутри него находятся различные по происхождению и степени опасности очаги экологического неблагополучия. Это стало причиной разработки нескольких стратегических подходов к территориальной охране природы в границах массива, изложенных в публикации [10].

Экологическая доктрина РФ предусматривает формирование природно-заповедного фонда России на основе особо охраняемых природных территорий и других областей с преобладанием естественных процессов в качестве неотъемлемого компонента развития страны. Если экологический каркас обеспечивает защиту экологически взаимосвязанных сообществ биоты, то более широкая “зелёная” инфраструктура должна включать в себя также и экологические терминалы, подсоединяющие к экологическому каркасу экологически дотационные природные, восстановленные и озеленённые территории в сельскохозяйственном и урбанизированном ландшафте и таким образом адресно транслирующие экосистемные услуги для основной части их пользователей.

Формирование экологического каркаса должно стать частью схем территориального планирования всех уровней. Его разработка практикуется большинством квалифицированных специалистов в сфере территориального планирования, но на уровне официально утверждаемых документов сведение отраслевых схем на одной карте часто сопровождается лишь констатацией наличия конфликтных зон. По нашему мнению, причина этого кроется в отсутствии правовой и административной основы формирования экологического каркаса и “зелёной” инфраструктуры. Это проявляется в отраслевой и ведомственной раз-

общённости природо- и землепользования. Как мы неоднократно говорили, все природные территории независимо от их административного статуса и формы использования целесообразно рассматривать как природный фонд – единый иерархически организованный объект государственного управления в сфере территориальной охраны природы [27, 28], источник экосистемных услуг и благоприятной окружающей среды. В связи с этим формирование экологического каркаса должно получить приоритет как деятельность, обеспечивающая конституционное право каждого человека на благоприятную окружающую среду, что следует отразить в “Стратегии развития системы особо охраняемых природных территорий в Российской Федерации на период до 2030 года”.

Экологический каркас актуален в связи с тем, что различные виды природопользования (недропользование, лесопользование, рекреационно-туристический бизнес вместе с сопровождающими их ландшафтными пожарами, интенсификацией таяния многолетней мерзлоты и другими явлениями) вызывают очаговую трансформацию естественных экосистем природного каркаса экологической стабильности даже в пределах Великого Евразийского природного массива (см. рис. 3). Следует установить ответственность правообладателей земельных участков, представляющих собой природные территории – носители естественных экосистем и источники экосистемных услуг, за уменьшение средообразующих свойств экосистем в результате их действий. Особенно высока должна быть ответственность за нарушение экосистем с доказанной повышенной природоохранной ценностью, прежде всего на существующих и проектируемых особо охраняемых природных территориях.

Принятая в России административная схема подразумевает, что функциями, связанными с определением государственной политики в той или иной сфере, наделены соответствующие министерства, контрольными функциями – надзорные органы, а управлением в сфере оказания различных государственных услуг занимаются агентства. В настоящее время государственную политику в сфере природопользования определяет Министерство природных ресурсов и экологии РФ, государственный экологический надзор осуществляет Росприроднадзор. Однако соответствующая структура, ответственная за управление в сфере обеспечения экосистемных услуг, отсутствует. Мы разделяем неоднократно высказывавшееся специалистами Минприроды России, учёными и общественностью мнение о целесообразности учреждения специального агентства, в ведении которого находились бы вопросы территориальной охраны природы.

Территориальная охрана природы как отрасли хозяйства нашей страны [29] должна иметь главной задачей сохранение природных экосистем и ландшафтов, свойства которых используются. Среди таких свойств первое место занимают средообразующая и информационно-эталонная функции, поскольку они обеспечивают возможность осуществления природопользования в целом, контроля и прогнозирования его воздействия на природу. Соответственно, базовым компонентом территориальной охраны природы должны оставаться заповедники — земли, изъятые из хозяйственного и рекреационного использования [30, 31]. Сохранение заповедников вместе с развитием природоподобных технологий на окружающих территориях позволит человечеству развиваться вместе с Природой [32], и именно рассмотрение Великого Евразийского природного массива как единого объекта открывает возможности для такого развития.

Отдавая себе отчёт в строгости критериев отнесения природных объектов к всемирному наследию и в огромной сложности правовых и организационных процедур на пути признания природных территорий объектами всемирного наследия, мы тем не менее констатируем, что ВЕПМ представляет собой и природный феномен, имеющий мировое значение для поддержания биосферы, в том числе среды обитания человека, и наше наследие, которое надлежит передать последующим поколениям. Возможно, статус массива как уникального природного комплекса мирового уровня, имеет смысл закрепить в законодательстве Российской Федерации, как это сделано, например, в отношении озера Байкал. Среди прочего это позволит на единой правовой основе определять экологические условия инвестиций в развитие и дальнейшее освоение территории Великого Евразийского природного массива.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарим за многолетнее чуткое и тактичное научное руководство члена-корреспондента РАН А.А. Тишкова, предложившего нам подготовить данную публикацию, а также академика РАН А.А. Чибилёва за внимательное прочтение рукописи и ценнейшие советы по её доработке.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Картографические разработки поддержаны грантом РФФИ—РГО № 17-05-41204. Теоретические разработки выполнены в рамках темы Государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990093-8 (FMGE-2019-0007).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тишков А.А.* Охраняемые природные территории и формирование каркаса устойчивости // Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование. М.: ИГ РАН, 1995. С. 94–107.
2. *Соболев Н.А.* Концепция биологического разнообразия в приложении к развитию сети природных резерватов Подмосковья // Чтения памяти проф. В.В. Станчинского. Смоленск, 1992. С. 19–21.
3. *Соболев Н.А.* Особо охраняемые природные территории и охрана природы Подмосковья // Научные чтения, посвящённые памяти Н.Ф. Реймерса. Докл. 4-й конф. в связи с 850-летием г. Москвы. М.: Изд-во МНЭПУ. 1998б. С. 26–56.
4. Земельный фонд РСФСР. М.: Республика, 1991.
5. Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий / Под ред. А.С. Мартынова. Гланд, Кембридж, Москва: МСОП, 1996.
6. *Мартынов А.С., Артюхов В.В., Виноградов В.Г., Тишков А.А.* Интегральная оценка нарушенности растительного покрова // Состояние биологических ресурсов и биоразнообразия России и ближнего зарубежья (1988–1993 гг.). М.: ВНИИприрода, 1994. С. 27–29.
7. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Минприроды России, 1992.
8. *Соболев Н.А., Руссо Б.Ю.* Стартовые позиции экологической сети Северной Евразии: рабочая гипотеза // Предпосылки и перспективы формирования экологической сети Северной Евразии. Охрана живой природы. Вып. 1 (9). Нижний Новгород, 1998. С. 22–31.
9. *Sobolev N.A., Rousseau B.Yu.* Start position of the ECONET in Northern Eurasia // Ecological Network in Northern Eurasia. Moscow, Biodiversity Conservation Center of the Socio-Ecological Union. 1998. P. 17–28.
10. *Соболев Н.А., Тишков А.А., Белоновская Е.А. и др.* Применение ГИС для картографирования Великого Евразийского природного массива // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы Международной конференции. 2020. Т. 26. Ч. 4. С. 5–19.
11. *Соболев Н.А.* Экологический каркас России. Индикативная схема / Под ред. проф. А.А. Тишкова. М.: ИГ РАН, 2015.
12. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий / Под ред. Г.Н. Огуревой. Карта 1: 8 000 000. Пояснительный текст и легенда к карте. Москва: Центр Интеграция, 1999.
13. Биомы России. Карта 1: 7 500 000 / Гл. ред. проф. Г.Н. Огуреева. М.: РГО, Географический факультет МГУ, 2015.
14. *Соболев Н.А., Белоновская Е.А.* Транспортные магистрали в регионах нового освоения как возможные барьеры для биоты // Проблемы антропогенной трансформации природной среды. Материалы Международной конференции 14–15 ноября 2019 г. /

- Под ред. С.А. Бузмакова. Пермь: ПГНИУ, 2019. С. 218–220.
15. Аксёнов Д.Е., Добрынин Д.В., Дубинин М.Ю. и др. Атлас малонарушенных лесных территорий России. М.: МСОЭС; Вашингтон: World Resources Inst., 2003.
 16. Spawn S.A., Sullivan C.C., Lark T.J. et al. Global Aboveground and Belowground Biomass Carbon Density // Scientific Data. 2020. № 7. P. 112.
 17. Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D. et al. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth // Bioscience. 2001. V. 51 (11). P. 933–938.
 18. Тишков А.А., Вайсфельд М.А., Глазов П.М. и др. Биотически значимые тренды климата и динамика биоты российской Арктики // Арктика: экология и экономика. 2019б. № 1 (33). С. 71–87.
 19. Тишков А.А., Белоновская Е.А., Глазов П.М. и др. Тундра и лес российской Арктики: вектор взаимодействия в условиях современного потепления климата // Арктика: экология и экономика. 2020а. № 3. С. 48–61.
 20. Косицын В.Н. Использование лесных пастбищ в Российской Федерации // IX Международная научно-техническая конференция “Лес-2008”. 10 мая – 10 июня 2008. Брянск: БГИТУ, 2009. http://www.science-bsea.bgita.ru/2008/les_2008/kositsyn_isp.htm
 21. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2010 году. М.: Росреестр, 2011.
 22. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2018 году. М.: Росреестр, 2019.
 23. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Сальников А.А. и др. Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение. 2011. № 5. С. 3–11.
 24. Федеральная служба государственной статистики. О производстве и использовании валового внутреннего продукта (ВВП) за 2020 год // Срочные информации и справки по актуальным вопросам (по темам). https://gks.ru/bgd/free/B04_03/Iss-WWW.exe/Stg/d02/18.htm
 25. Running S., Zhao M. MOD17A3HGF MODIS/Terra Net Primary Production Gap-Filled Yearly L4 Global 500 m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2019. <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3hgfv006/>
 26. Running S., Zhao M. User’s Guide Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2/A3) Products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm. Version 3.0 For Collection 6. 2015. October 7. http://www.nts.gov/files/modis/MOD17Users-Guide2015_v3.pdf
 27. Соболев Н.А. Предложения к концепции охраны и использования природных территорий // Охрана дикой природы. 1999. № 3 (14). С. 20–24.
 28. Соболев Н.А. От природного каркаса к экологическому // Охрана дикой природы. 2003. № 4 (25). С. 16–19.
 29. Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978.
 30. Чибилёв А.А. История и современное состояние заповедного дела в России // Вестник РАН. 2017. № 3. С. 231–241; Chibilev A.A. History and Current Status of Reserve Management and Study in Russia // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. № 2. P. 181–190.
 31. Чибилёв А.А., Тишков А.А. История заповедной системы России. М.: ППК РГО, 2018.
 32. Чибилёв А.А. Заповедная Россия: истоки, современность, будущее. М., Екатеринбург, Оренбург: ИС УрО РАН, ППК РГО, 2020.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ: ПРИЧИНЫ, НАПРАВЛЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ

© 2022 г. Т. Г. Нефёдова^{a,*}, В. Н. Стрелецкий^{a,**}, А. И. Трейвиш^{a,***}

^aИнститут географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: trene12@igras.ru

**E-mail: vstreletski@mail.ru

***E-mail: trene12@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.01.2022 г.

После доработки 09.02.2022 г.

Принята к публикации 21.02.2022 г.

Задача статьи – выявление важнейших сдвигов в социально-экономическом пространстве России (с акцентом на его поляризацию в постсоветский период), их причин, главных трендов и последствий. Проанализированы природные и исторические корни, главные факторы и линии поляризации. Представлены обзоры экономико-географического расслоения регионов, поляризации расселения и социального пространства, городов и сельской местности, этнокультурных территориальных сдвигов. Установлено, что современные тенденции в развитии России усиливают крайности по вертикали общества и по пространственной горизонтали. Это и есть поляризация, степень которой зависит от свойств самого общества, пространства страны и политики властей. Она по-разному проявляется по линиям (осям) “север–юг”, “запад–восток”, “центр–периферия” и “русское ядро – ареалы этнических меньшинств”. Резкая пространственная поляризация ограничивает потенциал России и несовместима с унификацией подходов к развитию территорий – представителей разных полюсов.

Ключевые слова: социально-экономическое пространство России, поляризация, концентрация, неравномерность, центр, периферия, регион, город, сельская местность.

DOI: 10.31857/S0869587322060093

Россия, будучи крупнейшей страной мира, отличается внутренней неоднородностью. Она проявляется в ландшафтном разнообразии и контрастах освоения территории, неравномерности развития регионов, глубоких этнокультурных различиях. Пространственная трансформация страны в постсоветский период не сгладила этих контрастов, усилила часть из них и породила новые. Географическая дифференциация социально-экономического пространства России (в том числе в постсоветское время) – важная тема работ отечественных географов. Ей посвящено немало статей и монографий обобщающего характера [1–4]. Особое внимание уделялось староосвоен-

ным ареалам Европейской России, где проживает большинство наших соотечественников [5, 6].

В данной статье делается акцент на поляризации социально-экономического пространства страны. Главная задача – выявление факторов, трендов и последствий этого феномена за три последних десятилетия. Информационную базу анализа составляют массив публикаций по проблемам устройства и трансформации российского пространства, материалы Росстата в региональном разрезе, включая данные переписей населения и результаты многолетних полевых экспедиционных исследований отдела социально-экономической географии Института географии РАН.

Уточним соотношение ряда близких по смыслу, но не идентичных понятий, важных для нашего исследования.

НЕФЁДОВА Татьяна Григорьевна – доктор географических наук, главный научный сотрудник ИГ РАН. СТРЕЛЕЦКИЙ Владимир Николаевич – доктор географических наук, главный научный сотрудник ИГ РАН. ТРЕЙВИШ Андрей Ильич – доктор географических наук, главный научный сотрудник ИГ РАН.

Неравномерность распределения социально-экономических явлений вездесуща и влияет на развитие, стимулируя или затрудняя его. Этой ёмкой темой касались Э. Роджерс и Т. Хегерstrand с их схемами инноваций, А. Оукен с идеей обратной связи равенства и эффективности [7–9]. Нам важнее контрасты в пространстве. Экономический рост или спад влияют на них по-разному, то усиливая, то сглаживая исходные различия [10].

Концентрация — сосредоточение явления в некой области пространства, одно из проявлений неравномерности. Если наряду с главными очагами концентрации растут и развиваются, пусть не так быстро, другие (обычно периферийные) участки, то речь идёт именно о процессе концентрации, но не поляризации.

При *поляризации*, присущей отдельным явлениям и пространству в целом, в одних местах налицо рост и развитие, в других — убыль и упадок. В итоге освоенное пространство сжимается и фрагментируется, распадаясь на разнокачественные участки и формируя два полюса. Тем самым поляризация выступает в роли крайнего случая неравномерности. Регионалисты также говорят о близких по смыслу дивергенции, расслоении пространства, но термин “поляризация” используется всё чаще. Недавний обзор методов и трендов её исследований содержит около 100 источников и выделяет 10 тематических направлений [11].

Развитие имеет географическую специфику, роль которой как фактора расслоения общества, вопреки заявлениям об ослаблении этой роли со “смертью расстояний”, возможно, растёт. Так, сербско-американский специалист по доходам и неравенству Б. Миланович [12] утверждает, что если в XIX в. неравенство людей на 50% зависело от их классовой принадлежности, то в XXI в. — на 85% от принадлежности к той или иной стране. Во всяком случае пропасть между “бедняками” среди богатых по средним показателям и бедных по тем же меркам стран в последние столетия углубилась.

Пространственная поляризация тесно связана с экономической и социальной, нарушающей принцип равных возможностей граждан и доходящей до противостояния их групп [13, с. 53]. Примерами могут служить углубление разрыва между городом и деревней, между столицей с её агломерацией (регионом) и другими территориями, между экономическими лидерами и аутсайдерами, между различными в этнокультурном отношении районами. В России представлены все эти варианты.

Природные и исторические предпосылки поляризации социально-экономического пространства современной России. Контрасты нашего пространства тесно связаны с его природными особенностями и со спецификой исторического раз-

вития страны. Одно из её важных свойств составляет *рассредоточенность населения* по сравнению с другими странами-гигантами, обусловленная природными условиями и архетипическими особенностями социума. Об этом ещё в начале прошлого века писал немецкий антропогеограф А. Геттнер [14], считавший обширные равнины Восточной Европы с относительной монотонностью рельефа и ландшафтов типичным “местообитанием” русского народа, сумевшего занять огромное географическое пространство. Это подтверждали и классики русской антропогеографии А.А. Крубер [15] и В.П. Семёнов-Тян-Шанский [16]. По их мнению, отсутствие резких природных рубежей, преград на пути миграций населения и суровые, порой малопригодные для постоянного обитания людей условия предопределяли дисперсность расселения, разрежённость и рассредоточенность социума. Отсюда слабые связи между территориальными сообществами разного типа, культурными, социально-экономическими и хозяйственными комплексами.

Говоря о пространственном развитии, у нас быстро переходят к освоению севера и востока страны, видимо, под влиянием давнего “освоенческого синдрома”. Развитие России долго шло экстенсивным путём исследования новых территорий в условиях избытка населения и расширения государства, хотя и неравномерного. За его крупными актами — колонизацией новгородцами Русского Севера к XIII в., южных и восточных (волжских) степей в XVI в., выходом землепроходцев к Тихому океану в XVII в. — могли следовать фазы сжатия, “сброса” части территорий, но потом следовали новые рывки.

Классики понимали эти процессы неоднозначно. Широко известны прогнозы М.В. Ломоносова о прирастании могущества России Сибирью, Д.И. Менделеева — о движении населения в сторону богатого Юга и обильного землёй Востока, взгляд С.М. Соловьёва и В.О. Ключевского на историю России как историю колонизируемой страны. Были замечены и оборотные стороны. П.П. Семёнов-Тян-Шанский [17], вторя В.О. Ключевскому, писал, что за преждевременное стремление к расширению территории русские земледельцы заплатились свободой, имея в виду их закрепощение в XVI–XVII вв. при запуске ядра страны из-за массового оттока на окраины. Такие разные мыслители, как В.И. Ленин и Н.А. Бердяев, сходились в том, что рост вширь на новой земле замедляет развитие вглубь на старой, что русская душа “ушиблена ширью”, не видит границ, и это скорее порабощает её [18, 19]. Сегодня проблемы этого рода косвенно признаются в официальных документах, например, в “Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года”. Но при

чём тут поляризация? У неё, как минимум, две причины.

Во-первых, на территориальные сдвиги внутри страны влияли глобальная конкуренция и амбиции сверхдержав. Гонка за лидерами диктовала две противоречивые стратегии — расширения и мобилизации пространства. Его растяжение ради ресурсов сопровождало сжатие страны в инновационные “кулаки”, решавшее задачи научно-технической конкуренции её главных центров с центрами соперников, что усугубляло отставание периферии.

Во-вторых, пока мобильных материальных и человеческих ресурсов хватало для решения обеих стратегических задач, дело ограничивалось так называемой рассредоточенной (по растущей “ойкумене”) концентрацией. После людских и других потерь первой половины XX в. выкачивание этих ресурсов стало истощать и оголять всё более обширные ареалы, приводя в конце концов к сокращению освоенного пространства. Такое истощение ограничивает плацдарм развития России. Оно всегда в той или мере неравномерно, поскольку равных для него условий повсеместно нет. Эти условия (ограничения) надо иметь в виду для поиска рецептов, не общих для всей страны, а подходящих для конкретных регионов, городов, сельских местностей или их типов [4, с. 215].

Поляризация пространства связана с размерами страны, контрастами природных ресурсов, условий жизни людей и развития экономики, разнообразием человеческого капитала по количеству и качеству, различиями в уровне урбанизации и влияния крупных городов на окружающие территории, этнокультурными различиями. При этом важной задачей остаётся обеспечение целостности страны и благополучия её граждан, социальной и политической стабильности.

Ключевые линии поляризации пространства России после распада СССР. Свыше 3/4 территории страны расположено в Азии, но почти 3/4 населения живёт в её европейской части. Территориально Россия — крупнейшее государство, а по удобству обживания и аграрного освоения — четвёртое в мировом рейтинге [4, с. 26]. Фактически заселённых земель здесь больше, чем комфортных, так как в советские годы их освоение поддерживали административными и финансовыми мерами. Частичный отказ от них вызвал откат назад. Слабоосвоенные территории составляют около половины площади современной России [20, с. 188–192]. Ещё 22% — зона выборочного очагового и линейного лесо- и горнопромышленного освоения.

За 1989–2021 гг. численность населения России сократилась на 1.1–1.2 млн человек, то есть менее чем на 1% (как с присоединением Крыма в 2014 г., так и без учёта его населения). В то же вре-

мя демографически потери зауральских регионов превысили 3 млн чел. (11%), а северных — близки к 1.5 млн (17%). Состав этих групп частично совпадает. Главным исключением в обоих случаях стали нефтегазодобывающие округа Сибири. Таким образом, поляризация пространства шла по осям “север—юг” в пользу юга и “запад—восток” в пользу запада.

Иные корни у поляризации по оси “центр—периферия”. Центро-периферийная модель широко используется в мировой науке, что неудивительно, ибо контрасты по данной линии заметны в любом обществе. Но в нашей стране это не просто одно из их измерений, а ключевая ось поляризации пространства, связанной с исторически унаследованной *гиперцентрализацией*, характерной и для общества, и для российского пространства. В отличие от ряда других стран, его вертикально-иерархическое, “статусное” расслоение выражено резче горизонтального, межрегионального. Крупные города и глубинка (внутренняя периферия) в России — это по многим признакам разные миры, что близко к схеме “четырёх Россий” Н.В. Зубаревич: главные центры, промышленные (в том числе монопрофильные) города, сельская периферия с малыми городскими поселениями, наиболее своеобразные республики в составе России [21].

Вертикальные “статусные” контрасты, не только экономические, демографические или экистические (поселенческие), носят и *социокультурный характер* [22]. Поэтому при описании любого места в российском пространстве важна даже не столько его принадлежность к тому или иному району, сколько собственный статус и близость к крупному центру.

Главная особенность более освоенной трети территории России — резкие контрасты между крупными городами с их агломерациями и окраинами регионов. Пригороды и переходные зоны от них к окраинам занимают около 15% территории, концентрируя половину сельского населения. Это результат поляризации пространства именно по оси “центр—периферия”. Так, население столичных регионов, возглавляемых Москвой и Санкт-Петербургом, с 1989 г. выросло на 5.3 млн человек, или на 24%. А регионы Центра вокруг Московской области потеряли 2.8 млн человек.

Ещё одна важная ось различий проходит между “русскими” регионами и теми, где больше представителей других этносов. В пространстве России особое место занимает *русское этническое мегаядро* [23], которое превосходит так называемые иноэтнические территории по площади и населению. Их этнокультурную неоднородность вообще-то не вполне отражает нарратив поляризации. Различия между этническими территориями не сводятся к их сравнению по уровню развития,

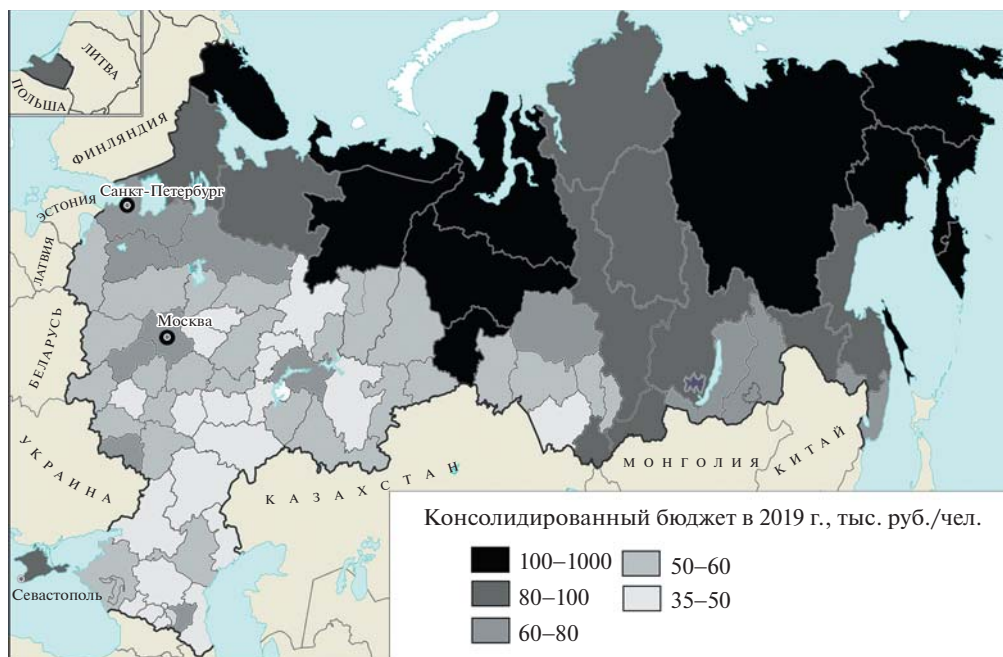


Рис. 1. Доходы консолидированных бюджетов субъектов РФ на душу населения в 2019 г.

Источник: Выборка из форм отчётности на 01.01.2020 г.; Бюджеты субъектов РФ в цифрах // Бюджет.ру. 10 января 2020. <https://bujet.ru/article/396309.php>

выделению передовых, успешных, отсталых или бедных – этнические культуры просто разные. Однако русское мегадро и иноэтнические общества – непохожие миры, полярные в качественном смысле. Этнокультурная поляризация российского пространства рассматривается ниже.

Экономико-географическая поляризация регионов, городов и сельской местности в постсоветский период. Экономическое и социальное пространство тесно взаимосвязаны, и разделить их сложно. Оба подвержены поляризации с изменением структуры экономики и занятости населения, его доходов и т.д. По валовому продукту на душу населения в сырьевой стране, какой стала Россия из-за кризиса обрабатывающей промышленности в 1990-е годы, выделяются добывающие районы. Это прежде всего северные нефтегазовые округа, Сахалин, Чукотка и Магаданская область с их ценными металлами при минимуме населения, а также Москва. Похожая ситуация сложилась с доходами консолидированных бюджетов регионов (рис. 1). Это не останавливает отток населения с востока и севера.

Уровень заработной платы в целом соответствует экономическому потенциалу регионов. Доказательство тому – сырьевые регионы, а также Москва, Московская область и Санкт-Петербург (рис. 2). Если для северных регионов повышенные зарплаты отчасти оправданы ценами и транспортными издержками, то в поясе регионов с наиболее бедными жителями, окаймляющем

центральный район, эту их специфику трудно объяснить. Понижен уровень официальных зарплат и в республиках Северного Кавказа, правда, там значительную роль играет неформальная экономика. Эти контрасты отражают поляризацию пространства не только по уровню, но и по качеству жизни: доступу к образованию, медицине и деловым услугам. Их пространственная ограниченность затрудняет экономический рост и структурные преобразования в стране.

Усиление роли третичного сектора (услуги), особенно в составе занятого населения, за счёт вторичного индустриального – глобальное явление, но в полной мере оно коснулось не всех территорий России. На периферии многих её регионов, в малых городах и сельской местности спад производства вызвал кризисный квазирост доли бюджетной сферы, а при её “оптимизации” – рост безработицы.

Сдвиги в сельском хозяйстве с 1990-х годов тоже по-разному сказались на регионах, вызвав в одних глубокий кризис, а в других – подъём агробизнеса. С отказом от типичных для советской эпохи крупных дотаций сельскому хозяйству и политики самообеспечения регионов производство аграрной продукции, особенно зерна (рис. 3), сместилось в зоны с лучшими природными условиями в силу выгод концентрации производства там, где оно наиболее прибыльно. То же самое происходило во второй половине XX в. на Западе. Так, в США за это время постепенно вышли из



Рис. 2. Отношение зарплаты в регионах к зарплате в среднем по России в 2019 г., %

Источник: данные Росстата.



Рис. 3. Динамика производства зерна в среднем за 2013–2017 гг. по отношению к 1986–1990 гг., %

Источник: данные Росстата.

оборота 350 тыс. км² сельскохозяйственных земель [24], немногим меньше, чем в постсоветской России, вставшей на этот путь позже и с большими потерями для хозяйства лесной зоны.

Концентрация аграрного производства и рынка сопровождала индустриализацию отрасли [25]. До 50% продукции её организаций дают агропромышленные холдинги-гиганты, в торговле продук-

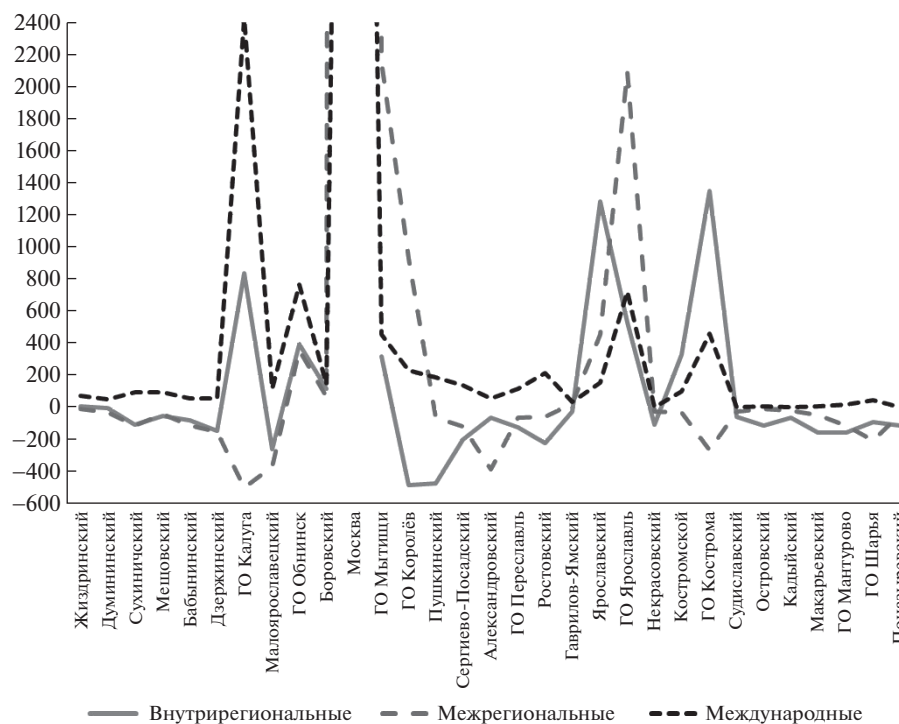


Рис. 4. Миграционный прирост (убыль) населения в разрезе муниципалитетов в среднем за 2012–2017 гг., человек
Профиль по линии юг Калужской области – Калуга – Москва – Ярославль – Кострома – восток Костромской области
Источник: данные Росстата.

тами питания доминируют крупные сети. В ряде регионов один-два холдинга обеспечивают 80–90% мясной продукции, 15 регионов-лидеров производят 55% мяса в стране, почти пятую часть поголовья свиней концентрирует Белгородская область – “мясная столица России”. При этом у нас, в отличие от стран Запада, малые фермы реже встроены в работу крупных агропроизводств [26]. Кризис агросектора ударил по многим поселениям лесной зоны, усилив сокращение занятости, отток жителей в города и в целом депопуляцию сельской местности.

Поляризация расселения и социального пространства. Население страны тянется к крупным городам. После недолгой кризисной паузы 1990-х годов урбанизационный тренд восстановился, дополняя отток населения с севера, северо-востока на юго-запад, в “солнечный пояс” России.

Поляризация пространства особенно заметна в центре страны. Отклик населения на социально-экономические контрасты пространства в пользу Москвы отражают миграции (рис. 4). В 2012–2017 гг. они ежегодно добавляли столице в среднем 95 тыс. жителей. Немногим меньшей (65 тыс. в год) была миграционная прибавка в Санкт-Петербурге. Москве с пригородами отдают население даже региональные центры (Калуга, Тула, Тверь и др.), взамен собирая выходцев из стран

СНГ и с периферии своих регионов. Исключение составляет лишь Ярославль, играющий роль межрегионального центра к северо-востоку от Москвы [27]. Население прочих городских округов пополняют международные мигранты.

Роль городов в организации пространства России очень велика, хотя ни по числу, ни по размещению (крайне неравномерному) их не хватает даже на обжитой территории страны. В 2020 г. в 85% городов было менее 100 тыс. постоянных жителей. Городов более значительного размера всего 170, но они концентрируют 74% всех горожан (10 лет назад – только 68%). Убывает число средних городов с 50–100 тыс. жителей. Их намного меньше, чем больших, впятеро меньше, чем малых, а в каждом третьем регионе нет вообще.

Почти 800 малых городов пока поддерживают освоенность территории. Больше всего их в Центре России, местами они составляют 90% общего числа городов (рис. 5). Исключением является Московская область с плотностью городов, близкой к таковой в зарубежной Европе (16 на 10 тыс. км²), где около 30% – большие города. Город-центр часто определяет качество среды в районе, плотность его населения, характер развития, инфраструктурное обустройство. При этом возрастает роль центров регионов, особенно после паузы 1990-х годов. За последние 30 лет прибави-

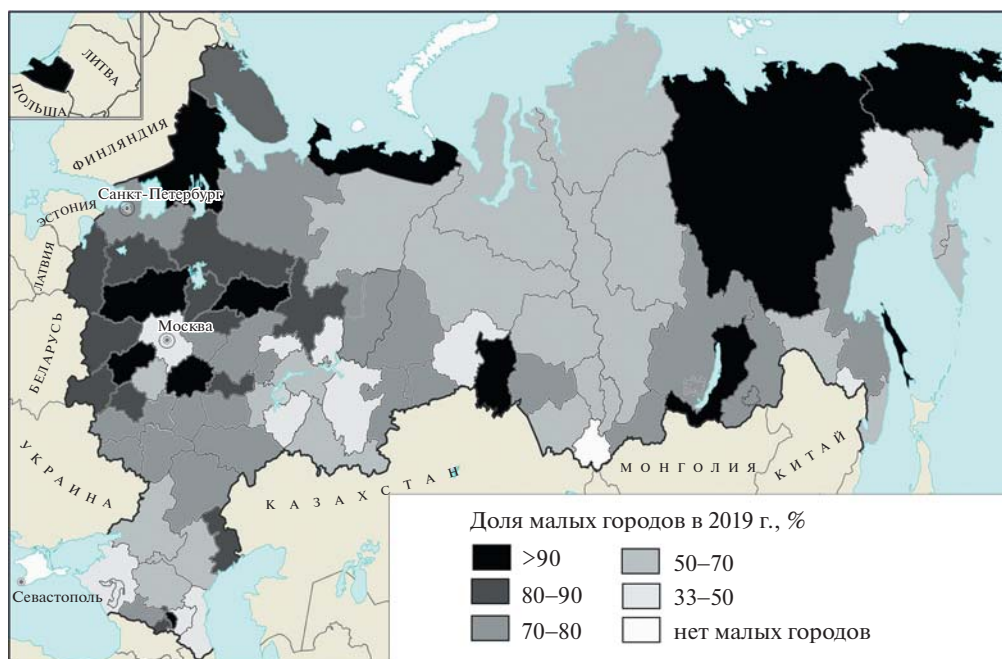


Рис. 5. Доля малых городов (с населением до 50 тыс. человек) в общем числе городов по регионам России на 1 января 2019 г., %

Рассчитано по данным Росстата.

лось регионов, где центр является абсолютным лидером, превышая второй по размерам город в 6 и более раз, что также говорит о поляризации городского развития [28].

Состояние городов, их привлекательность для населения и бизнеса зависят от размера и статуса. Основные аттракторы – города с числом жителей более 250 тыс. человек, особенно полумиллионные и более крупные (таких только 37). Они поглощают 55% всего городского миграционного прироста, причем 1/3 – Москва и Санкт-Петербург. Временные возвратные миграции (трудовые, учебные) тоже нацелены на крупные центры. Именно они формируют городские агломерации, основные ареалы концентрации экономического, демографического, научно-образовательного потенциала страны. Но этот процесс имеет теневую сторону, опустошая территории за пределами агломераций. А муниципальные реформы в виде укрупнения поселений, школ, больниц в глубинных зонах лишь усилили отток населения в крупные центры [6, с. 68–78].

По сути, в России с 2000-х годов начался новый виток урбанизации [29] в связи не только с постсоветской институциональной и экономической централизацией [30], но и с устройством самого российского пространства. На фоне его социальной разреженности крупные города и их сгустки выделяются очень резко. Их дополняет массовая культура дач, не требующая для совмещения достоинств городского и сельского образа

жизни выезда из города на постоянное жительство.

В сельской местности, на 9/10 российской “ойкумены”, поляризация выражена ещё ярче. Переселение оттуда в города шло в течение почти всего XX в. Многие области потеряли до 66% сельского населения, а их периферийные части – до 90%. Самые большие потери в постсоветские годы понесли северные и восточные регионы. Продолжали терять сельских жителей и староосвоенные регионы Центра, а на Юге, особенно в республиках, сельское население росло. Поляризация сельской местности Нечерноземья выражается в сокращении малых и средних пунктов и стягивании жителей в крупные. Пример такой динамики приведён на рисунке 6 [31].

Мелкоселённость повышает затраты на строительство дорог, услуги транспорта и связи, образование, здравоохранение. Этим объясняется кампания по объединению муниципалитетов ради бюджетной экономии, негативно влияющая на сохранение освоенности территорий. Пониженная плотность сельского населения и его отрицательная динамика характерны для самых обжитых в прошлом земель нечернозёмной России, особенно на периферии регионов (рис. 7). Исключение – ареалы компактного проживания этносов, у которых сельские сообщества разрушены меньше, чем в ареалах расселения русских.

Различия в динамике населения, его расселении и возрастной структуре при отъезде молодё-

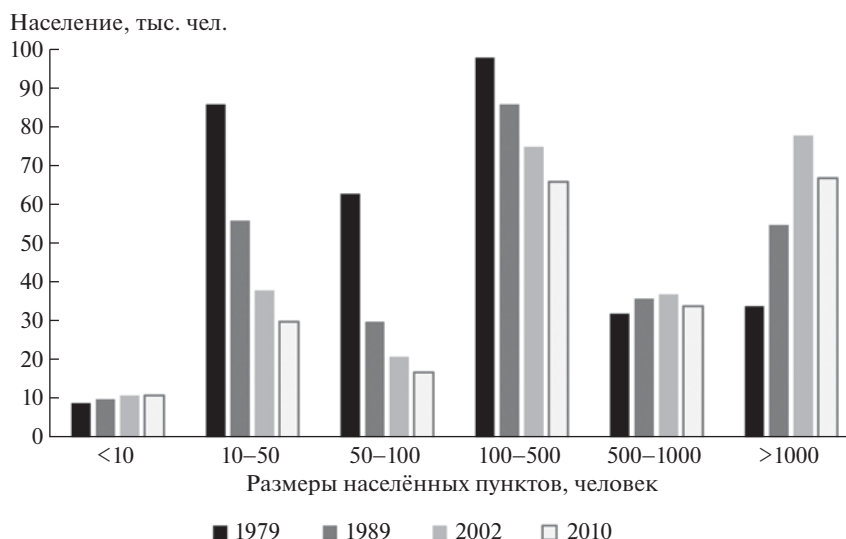


Рис. 6. Изменение численности населения, проживающего в сельских населённых пунктах Ярославской области различного размера, с 1979 по 2010 г., тыс. человек
Рассчитано по данным Росстата.

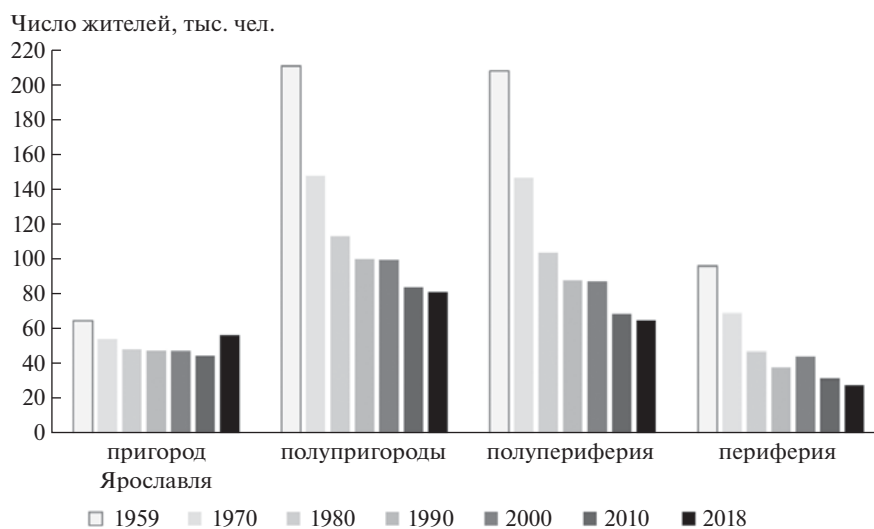


Рис. 7. Численность сельского населения в Ярославской области с 1959 по 2018 г. по муниципалитетам разных зон удалённости от центра, тыс. человек
Рассчитано по данным Росстата.

жи из районов депопуляции [32] не могут не сказываться на их человеческом капитале и уровне жизни. Хотя население во многих районах убывает, их экономическая депрессия повышает даже официальный уровень безработицы, хотя фактический ещё выше, особенно на селе. При низких доходах сельская местность отстаёт по объёму потребления. Разрыв между городом и деревней в этом отношении растёт.

Поляризацию отчасти сглаживает типичное для России передвижение населения между центрами и периферией в виде маятниковой миграции, отходничества и дачной рекреации, создающих особые формы расселения и социальных связей [33, 34]. При всей устойчивости центр-периферийной структуры социального пространства, эти движения делают его пульсирующим по часам суток, дням недели и сезонам года. Население обширных ареалов, потерявших значитель-

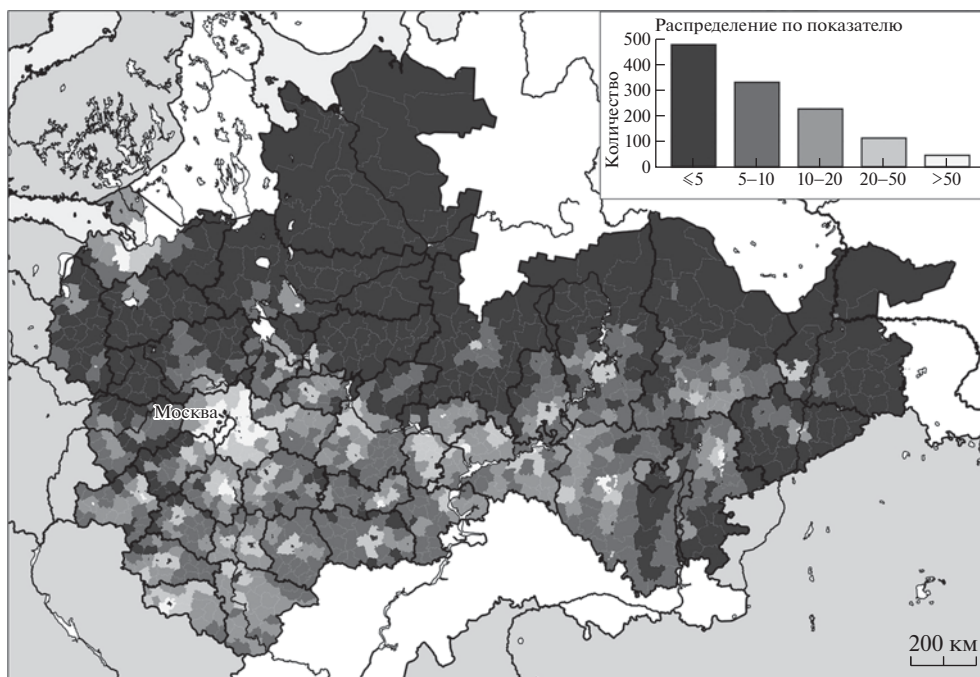


Рис. 8. Плотность населения за пределами административного центра региона, чел./км² (2021 г.) [6, с. 335]
Составлено по данным Росстата.

ную часть постоянных жителей, летом пополняют горожане-дачники, число которых не поддается полному учёту¹. В Псковской, Новгородской, Тверской областях дачные зоны москвичей и петербуржцев сомкнулись [35, с. 188–205]. Дачные места формируют своё социальное пространство с сезонным населением и экономикой, которая поддерживает часть трудоспособных местных жителей. Дачное население пригородов и дальних экологически привлекательных и транспортно доступных зон часто превышает условно постоянное местное [33, с. 364]. Но их обустройство рассчитано на местных или (иногда) на организованных курортников и туристов.

Анализ организации пространства России с учётом его освоённости, сети городов и сёл указывает на усиление поляризации в разных географических масштабах. На уровне страны ясно видна её внешняя периферия за рамками главной полосы расселения (до 70% всей территории). Для неё типичны удалённость, суровые природные условия, редкое заселение, слабая связь с «материком». Связанность пространства у нас вообще невысока, как физическая (дорожная сеть), так и экономическая (по транспортным тарифам и до-

ходам), что побуждает к отъезду населения с окраин.

Внутренняя периферия (глубинка) на староосвоенной территории занимает около 15% площади страны, часто в 1–3-часовой доступности от больших городов у границ между субъектами РФ. Но эти земли всё больше выпадают из использования, особенно в Нечерноземье. Масштабы внутренней периферии хорошо видны по плотности населения в треугольнике Санкт-Петербург–Белгород–Тюмень (рис. 8). Наиболее обширны периферийные зоны к северу от Московской области [6, с. 323–347].

Современные этнокультурные сдвиги в пространстве России. Россия – страна полиэтничная и поликонфессиональная. По данным Всероссийской переписи населения 2010 г.², в ней жили представители 160 этнических общностей, и их число неуклонно росло. По России в современных границах оно существенно выше, чем в переписях XX в. по всему бывшему СССР (кроме переписи 1926 г.). Этнокультурное многоцветье страны определяет и специфику общероссийской гражданской идентичности, и вызовы последней, на которые в ходе национально-государственного строительства приходится искать адекватные ответы.

¹ Учёт владельцев сельских домов с местом постоянной регистрации в городах местные администрации вели до муниципальной реформы 2000-х годов. В последние годы численность временного населения не интересует ни местные, ни федеральные власти.

² Сведения о национальном составе населения дают его переписи, однако итоги последней (осень 2021 г.) к моменту написания статьи не публиковались.



Рис. 9. Русское этническое мегаядро в 2010 г., по данным переписи населения

Постсоветские миграции усилили этнокультурный плюрализм России. Наряду с переселением этнических русских (они преобладали среди иммигрантов в 1990-е годы) отмечен приток в страну народов – носителей других культур, особенно из стран Центральной Азии и Южного Кавказа. При этом полиэтнизм сочетался с наличием крупнейшего этноса, но за последние полвека его преобладание стало менее выраженным. Доля русских в населении РСФСР–РФ сократилась с 83.3% в 1959 г. до 81.5% в 1989 г. и 77.7% в 2010 г.

Контур *русского мегаядра* страны не всегда соответствуют административным рубежам территориального массива “русских” областей и краёв, хотя республики в составе России в мегаядро обычно не входят. Статус субъекта РФ – не единственный критерий его принадлежности к мегаядру: к нему отнесены те регионы, где доля русских превышает 80% [22]. В “русских” регионах она зачастую ещё выше, а почти в двух десятках областей превышает 90% (рис. 9). За период между Всесоюзной переписью населения 1989 г. и Всероссийской переписью 2010 г. контуры русского мегаядра почти не изменились. Однако число регионов с долей русского населения более 90% уменьшилось в центре и на северо-западе Европейской России из-за массового притока мигрантов в Московскую и Петербургскую агломерацию и в ближайшие к ним регионы.

Тем не менее сдвиги в этническом расселении за постсоветский период довольно значительны. Важнейшей тенденцией конца XX – начала XXI в. стала концентрация основных нерусских народов в своих национально-государственных образова-

ниях (рис. 10), то есть стягивание “титულных” народов республик в составе Российской Федерации к этим этническим территориям. Данный процесс усилил этнокультурную поляризацию (асимметрию) российского пространства. Важно и то, что многие этнорегионы расположены компактно, образуя обширные сгустки или кластеры. Таковы Горский Северный Кавказ, Урало-Поволжская мультикультурная область, Южно-Сибирский тюрко-монгольский пояс. У местных этносов своя историческая память, культурные традиции, социальные институты, религиозная специфика, их образ жизни во многом отличается от образа жизни русского населения.

Важен и этнодемографический аспект. У разных этносов в разных регионах страны демографическая динамика неодинакова. В республиках Северного Кавказа и соседней Калмыкии в постсоветский период шёл процесс коренизации населения: удельный вес титульных этносов рос, а доля русских снижалась в ходе как естественных прироста/убыли, так и миграционного оттока. С 1989 по 2010 г. доля русских в Карачаево-Черкесии упала с 42 до 31%, в Калмыкии – с 38 до 30%, в Кабардино-Балкарии – с 32 до 22%, в Северной Осетии – с 30 до 21%. На востоке Северо-Кавказского округа показатели ещё ниже: в Дагестане к 2010 г. она упала до 3.6%, в Чечне – до 1.9%, в Ингушетии – до 0.8% (абсолютный минимум среди субъектов РФ). Те же тенденции, но несколько слабее выражены в сибирских республиках, Татарстане, Башкортостане. Демографическая динамика угро-финских народов была иной: у них рождаемость обычно уступала смертности и удельный вес “своих” в населении республик со-

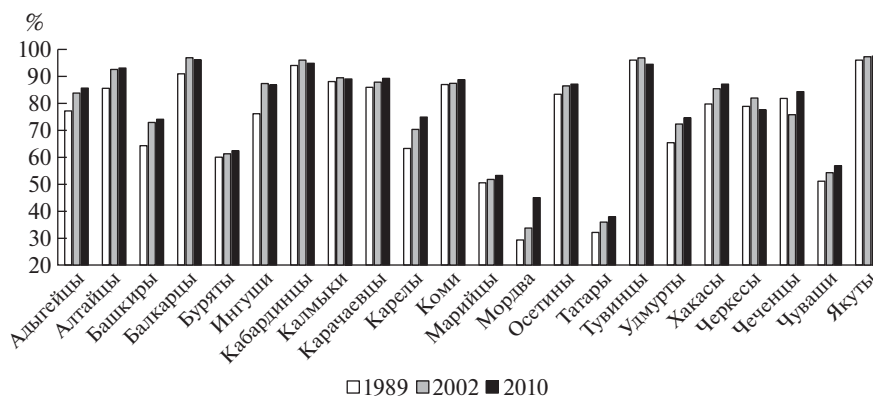


Рис. 10. Концентрация “титulyных” народов национальных республик России в “своих” национально-государственных образованиях, % к их населению (кроме народов Дагестана)

Рассчитано и составлено по материалам Всесоюзной переписи населения 1989 г., всероссийских переписей населения 2002 и 2010 гг.

кращался, как в Урало-Приволжье (за исключением Мордовии в 2002–2010 гг.), так и на севере Европейской России (в Карелии, Коми). Демографическое поведение этнических групп — во многом социокультурный феномен, сильно дифференцированный географически.

Возрождение религиозной жизни, затронув все российские конфессии, от мировых религий до языческих культов народов Сибири, Урало-Поволжья, также стало фактором культурной поляризации пространства России. И мусульманский “ренессанс”, и быстрый подъём буддизма при сравнительной широте их географии затронули в первую очередь те регионы, для народов которых ислам и буддизм традиционны. Если взаимодействие христианства и ислама (двух авраамических религий, восходящих к единому корню и имеющих сходные черты) происходило в России на протяжении веков и было значимо для многих территорий, то с буддизмом всё иначе. Буддистские регионы всегда занимали и отчасти сохранили сравнительно обособленное положение в российском пространстве. Это очень характерно для Тувы, сохранившей (при её исторически небольшом сроке пребывания в составе России) яркую социокультурную специфику. Бурятия и Калмыкия испытали большее российское культурное влияние. При этом регионы ислама (особенно северокавказские) и буддизма, будучи неотъемлемыми частями России как государства, в культурно-географическом отношении выступают частями обширных контактных зон, соединяющих нашу страну с сопредельными, относящимися к иным цивилизационным пространствам.

Современные тенденции в развитии России ведут к ослаблению всякого рода средних позиций, усиливая крайности как по вертикали — в иерархии общества, так и по горизонтали — в пространстве страны. Это и есть его поляризация, наиболее характерная для экономического и социального пространства по осям “север–юг”, “запад–восток” и “большой город — пригород — периферия”, а в известном смысле и для этнокультурного слоя этого пространства. Степень поляризации во многом зависит от политики властей всех уровней. На окраинах регионов наблюдается потеря социального контроля освоенных земель: уход с них многих видов деятельности, истощение человеческого потенциала, разрушение инфраструктуры. А ведь это ещё и транзитные территории. Их опустошение осложняет связи между разрозненными центрами, делая небезопасным сам транзит. Пуск скоростных поездов, создание новых магистралей улучшают связи между центрами, но часто отрывают от них периферию, нанося урон местным сообщениям.

Источником экономической жизнеспособности периферии остаются региональные и муниципальные бюджеты. Но их скудость и зависимость от вышестоящих, слабая организационная и финансовая поддержка местных инициатив тормозят развитие глубинки, а с ней — регионов и страны в целом. Немногие очаги развития в периферийных районах страны, затухая, выталкивают остатки активного населения в крупные центры. В итоге, по сути, теряются огромные пространства сердцевинной России с их историко-культурным наследием. Центры в свою очередь страдают от экономической, демографической и экологической перегрузки.

Вряд ли в ближайшие годы можно ожидать возвращения постоянного населения в депрессивную глубинку. Поддержание там очагов жизнедеятельности требует внешних импульсов: инвестиций столичного и другого капитала в локальные точки экономической активности, поддержки, в том числе финансовой, местных инициатив, притока дачников и мигрантов. К сожалению, невнимание к местной инфраструктуре и разрушение сложившейся низовой сети расселения при формировании городских и муниципальных округов этому не способствуют.

Резкая пространственная поляризация несовместима с унификацией подходов к развитию территорий и мест – представителей разных полюсов. Разработанные в Москве планы, программы и стратегии не могут учесть всё многообразие природных, социально-экономических условий, определить задачи развития конкретных районов и поселений. Проблемы и реальные пути их решения виднее на месте, чем в столичных кабинетах.

Инерционность расселения и сложившихся структур социального пространства позволяет с достаточной степенью вероятности экстраполировать тенденции на обозримую перспективу. Без радикальных мер по поддержанию сети населённых мест, усилению связанности зачастую “рвущихся” участков пространства (в том числе с помощью таких непривычных инструментов и контингентов, как, например, мощные стихийные волны дачной “реконкисты” пустеющих глубинных территорий) не удастся остановить негативные тенденции поляризации социально-экономического пространства России.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в Институте географии РАН по теме Государственного задания ИГ РАН АААА-А19-119022190170-1 (FMGE-2019-0008).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Трейвиш А.И.* Город, район, страна и мир. Развитие России глазами страноведа. М.: Новый хронограф, 2009.
2. Региональное развитие и региональная политика России в переходный период / Под общ. ред. С.С. Артоболевского, О.Б. Глезер. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
3. Проблемы регионального развития России // Вопросы географии. Сб. 141 / Отв. ред. В.М. Котляков, В.Н. Стрелецкий, О.Б. Глезер, С.Г. Сафронов. М.: Кодекс, 2016.
4. Вызовы и политика пространственного развития России в XXI веке / Под ред. В.М. Котлякова, О.Б. Глезер. М.: КМК, 2020.
5. Город и деревня в Европейской России: сто лет перемены / Под ред. Т. Нефёдовой, П. Поляна, А. Трейвиша. М.: ОГИ, 2001.
6. Староосвоенные районы в пространстве России: история и современность / Сост. и науч. ред. Т.Г. Нефёдова, ред. А.В. Старикова. М.: КМК, 2021.
7. *Rogers E.M.* Diffusion of Innovations. N.Y.: Macmillan, 1962.
8. *Hägerstrand T.* What about People in Regional Science // Papers of the Regional Science Association. 1970. V. 24. № 1. P. 6–21.
9. *Okun A.M.* Equality and Efficiency: The Big Tradeoff. Washington, D.C.: Brookings Institution, 1975.
10. *Massey D.* Spatial Division of Labour: Social Structures and the Geography of Production. London: Macmillan, 1984.
11. *Анохин А.А., Кузин В.Ю.* Трансформация современной методологии и трендов исследования поляризации // Известия РГО. 2021. № 5. С. 3–20.
12. *Миланович Б.* Глобальное неравенство: от классовой принадлежности к стране проживания, от пролетариев к мигрантам // Экономическая политика. 2016. № 1. С. 14–26.
13. *Шкаратан О.И.* Социология неравенства. Теория и реальность. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2012.
14. *Геттнер А.* Европейская Россия: Антропогеографический этюд / Пер. с нем. Л.Д. Синицкого. М.: Изд-во журнала “Землеведение”, 1907.
15. *Крубер А.А.* Опыты разделения Европейской России на районы // Землеведение. 1899. Кн. 3/4. С. 175–184.
16. *Семёнов-Тян-Шанский В.П.* Город и деревня в Европейской России: очерк по экономической географии // Записки ИРГО по отд. статистики. Т. 10. Вып. 2. СПб.: Типография Киришбаума, 1910.
17. *Семёнов-Тян-Шанский П.П.* Значение России в колониационном движении европейских народов // Известия ИРГО. 1892. Т. 28. С. 349–369.
18. *Ленин В.И.* (под псевд. Ильин В.). Развитие капитализма в России. Процесс образования внутреннего рынка для крупной промышленности. СПб.: Изд-во М.И. Водовозовой, 1899.
19. *Бердяев Н.* Судьба России: опыты по психологии войны и национальности. М.: Изд-во Г.А. Лемана и С.И. Сахарова, 1918.
20. *Нефёдова Т.Г.* Десять актуальных вопросов о сельской России. Ответы географа. М.: URSS, 2013.
21. *Зубаревич Н.* Четыре России // Ведомости. 2011. 30 декабря. https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2011/12/30/chetyre_rossii
22. *Стрелецкий В.Н.* Этнокультурные проблемы развития и пространственной трансформации российской Системы // Российская социально-экономическая Система: реалии и векторы развития. Монография / Отв. ред. Р.С. Гринберг, П.В. Савченко. М.: Инфра-М, 2020. С. 84–134.
23. *Стрелецкий В.Н.* Этнические общности в геокультурном пространстве России (историческая дина-

- мика и региональная структура) // Вестник исторической географии. 1999. № 1. С. 31–53.
24. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А. и др.* Динамика сельскохозяйственных земель в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010.
25. *Шагайда Н.И., Узун В.Я.* Драйверы роста и структурных сдвигов в сельском хозяйстве России // Научные доклады РАНХиГС. 2019. № 4 (19).
26. *Наумов А.С.* Региональное развитие сельского хозяйства в европейских странах и в России в условиях глобальной продовольственной взаимозависимости и дефицита земельных ресурсов // Вестник РУДН. Серия “Экономика”. 2014. № 3. С. 63–74.
27. *Нефёдова Т.Г.* Контрасты социально-экономического пространства в центре России и их эволюция: два “разреза”-профиля // Региональные исследования. 2020. № 2 (68). С. 18–38.
28. *Трейвиш А.И., Нефёдова Т.Г.* Столичность, центральность, размеры и соперничество городов в мире и в России // Геоурбанистика и градостроительство: теоретические и прикладные аспекты / Отв. ред. А.Г. Махрова. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2021. С. 49–72.
29. *Нефёдова Т.Г., Трейвиш А.И.* Перестройка расселения в современной России: урбанизация или дезурбанизация? // Региональные исследования. 2017. № 2 (56). С. 12–23.
30. *Зубаревич Н.В.* Рента столичного статуса // Pro et Contra. Москва как физическое и социальное пространство. № 6 (57). 2012. С. 6–19.
31. *Аверкиева К.В., Нефёдова Т.Г., Кондакова Т.Ю.* Поляризация социально-экономического пространства в регионах староосвоенного Центра России: пример Ярославской области // Мир России. 2021. № 1. С. 49–66.
32. *Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В.* Роль миграции в усилении контрастов расселения на муниципальном уровне в России // Известия РАН. Серия географическая. 2016. № 5. С. 46–59.
33. Между домом и... домом. Возвратная пространственная мобильность населения России / Под ред. Т.Г. Нефёдовой, К.В. Аверкиевой, А.Г. Махровой. М.: Новый хронограф, 2016.
34. *Плюснин Ю.М., Заусаева Я.Д., Жидкевич Н.Н., Позаненко А.А.* Отходники. М.: Новый хронограф, 2013.
35. Путешествие из Петербурга в Москву: 222 года спустя. Кн. 1. Два столетия российской истории между Москвой и Санкт-Петербургом / Сост. и науч. ред. Т.Г. Нефёдова, А.И. Трейвиш. 2015. М.: Леланд, 2015.

ГЕОГРАФИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОЧВ И ПОЧВОПОДОБНЫХ СИСТЕМ

© 2022 г. С. В. Горячкин

Институт географии РАН, Москва, Россия

E-mail: goryachkin@igras.ru

Поступила в редакцию 31.01.2022 г.

После доработки 06.02.2022 г.

Принята к публикации 20.02.2022 г.

Экстремальные условия среды в высокогорьях, на поверхности ледников, в пустынях, в Арктике и Антарктиде, а также связанные с мелководьями, токсичными или бедными по содержанию питательных элементов субстратами, интенсивными антропогенными воздействиями, специфической атмосферой или её отсутствием во взвешенных системах, приводят к формированию почв и почвоподобных систем (солоидов), которые не соответствуют традиционным канонам современного почвоведения и географии почв. Предлагается новое научное направление — география и генезис почв экстремальных условий со своей теорией, понятийным аппаратом и методологической основой. Общая площадь, занятая экстремальными почвами и солоидами, оценивается как ~20% почвенного покрова Земли.

Ключевые слова: пустыни, полярные области, высокогорья, пещерные солоиды, эндолиты, супрагляциальные системы, взвешенные почвоподобные тела, антропогенные почвы.

DOI: 10.31857/S0869587322060056

“Экстремальный”, “экстремальность” — слова, которые обозначают чрезвычайность, необычность, предельность, сложность, крайность, — пронизывают жизнь в XXI в. Встречаются эти термины и в фундаментальных науках, от математики до биологии.

Вместе с тем генезис и география почв, формирующихся в неблагоприятных для почвообразования условиях, в настоящее время не представляют собой единое научное направление. Почвы полярных областей, экстрааридных пустынь, ультраконтинентальных условий изучаются разными коллективами и классифицируются наряду с обычными почвами, причём, как правило, в качестве слаборазвитых. Такие биокосные (по В.И. Вернадскому) образования, как “пустынные загары”, “почвоплёнки”, несмотря на фундаментальные труды классиков почвоведения и географии почв Б.Б. Полынова [1] и М.А. Глазвской [2], теперь вообще изучаются не почвоведом, а биогеохимиками и геобиологами [3]. С другой стороны, многометровые толщи кор выветривания и рыхлых отложений, про которые

Б.Б. Полынов писал, что “почвоведение... ближе, чем другие науки подходит к процессам, протекающим в этой оболочке” [4, с. 5], теперь исследуются специалистами по экологии суши (terrestrial ecology), которые занимаются так называемыми критическими зонами. В стороне от мейнстрима географии почв оказались и почвы, формирующиеся в экстремальных условиях, созданных человеком, — на фоне катастрофической эрозии, в сельбах на многометровых культурных слоях, а также при интенсивных техногенных воздействиях. Между тем познание таких почвенных образований имеет важное фундаментальное значение для наук о Земле в целом, выходящее за рамки географии и почвоведения.

На протяжении большей части геологической истории в несколько миллиардов лет на Земле могли существовать почвы только в экстремальных по отношению к сегодняшнему дню условиях. Лишь около 400 млн лет назад появляется растительность с корневыми системами. Поэтому современные почвы высоких широт, высокогорий, некоторых пустынь с криптогамным (цианобактерии, водоросли, лишайники, мхи) растительным покровом, а также почвы каменных гор и есть аналоги почв далёкого прошлого.

ГОРЯЧКИН Сергей Викторович — доктор географических наук, заведующий отделом Института географии РАН.

Познавая их, мы подходим к тайнам органо-минеральных взаимодействий древних эпох [5]. Подобные тела в почвенном покрове Земли возникли и много позже — во время плейстоценовых оледенений, возникают они и сейчас. Иными словами, развитие почв шло от экстремальных к сочетанию экстремальных и оптимальных почв, причём соотношение их в почвенном покрове менялось и продолжает меняться [6]. Изучение генезиса и географии экстремальных почв Земли позволит в будущем адекватно познавать внеземные почвоподобные тела, формирующиеся на Марсе, других планетах и их спутниках [7, 8].

Помимо фундаментально-научного значения, осознание существования экстремальных почв и их географического разнообразия, а также их изучение имеет и большое социально-экономическое значение, в частности на современном этапе освоения Арктики и Антарктиды. А в отдалённой перспективе, как прогнозировали такие выдающиеся умы, как К.Э. Циолковский, С. Хокинг, К. Саган, человечество будет вынуждено покинуть Землю, и учёные должны будут обеспечивать землян информацией об окружающей среде колонизируемых планет, в том числе и о почвах и почвоподобных телах. Для решения этих перспективных задач фундамент нужно закладывать уже сегодня.

НАУЧНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОЯВЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ГЕОГРАФИИ ПОЧВ

Судя по народным классификациям почв разных стран и континентов [9], люди издревле разделяли продуктивные при земледельческом использовании почвы и разнообразные неудобья, часть которых мы могли бы сегодня отнести к экстремальным. Основположник генетического почвоведения В.В. Докучаев выделял нормальные (растительно-наземные) и аномальные (наносные) почвы, а также переходные между ними типы [10]. При дальнейшем развитии почвоведения менялись приоритеты классификаций (подробно это изложено в работе [9]), названия классов почв, увеличивалось их число, но до сих пор, например, в отечественной классификации сохранилось разделение на большой ствол постлитогенных почв и малый ствол органогенных почв, в который, собственно, и входят все “нормальные”, по Докучаеву, почвы, а также меньшие стволы синлитогенных и слаборазвитых почв [9], к которым относится большая часть почв, которые сегодня можно причислить к экстремальным.

В последней четверти прошлого века появилась серия работ, в которых предпринималась попытка определить понятие “почва”, объекты почвоведения и классифицировать почвы. В.М. Фридланд предложил включить в классификацию почв “парапочвы (почвоподобные тела)”, то есть тела на

поверхности Земли, “способные обеспечивать развитие зелёных растений” [11]. К ним были отнесены рыхлые горные породы, переотложенные и сконструированные почвогрунты, а также “подводные донные образования, находящиеся на небольшой глубине”. Параллельно с В.М. Фридландом тему классификации почв и объектов почвоведения развивал И.А. Соколов [12]. В качестве объектов почвоведения он предлагал выделять: почвы — “самостоятельные субаэральные естественно-исторические тела, образующиеся на месте в результате преобразования под влиянием биоты и климата исходных почвообразующих минеральных пород”; “полупочвы — тела, формирующиеся под влиянием процессов почвообразования и иных процессов и исполняющие основную экологическую функцию почв” (сюда отнесены аллювиальные, вулканические, органогенные, примитивные и другие почвы); “парапочвы — тела, образующие экзосферу Земли (геодерму) и выполняющие экологическую функцию почв, но почвами не являющиеся (полупочвы и обладающие плодородием непочвенные образования)”; “экопочвы — тела, выполняющие биосферную экологическую роль почв (почвы и парапочвы)”.

В.О. Таргульян [13] также предложил расширить теоретическую базу почвоведения, включая внеземные тела, в которых происходит взаимодействие в системе “среда—субстрат”. Вместе с аналогичными телами они представляют собой “экзоны”, которые подразделяются на “ситоны, трансоны и трансситоны”, обозначающие: тела, в которых продукты взаимодействия остаются на месте; тела, в которых они переносятся; переходный вариант.

Ю.С. Толчельников предложил весь массив почв и близких к ним тел, обладающих способностью поддерживать жизнь растений, разделить на экологически скореллированные (целинные и подводные почвы) и на экологически нескореллированные (“молодые, агротехнически и мелиоративно преобразованные, органо-минеральные массы отдельных почвенных горизонтов, перемещённые на другие участки, в том числе в закрытые помещения”, “искусственные вещества, используемые для выращивания растений” и т.д.) [14, с. 57].

Е.А. Дмитриев на основе работ В.О. Таргульяна предложил в понятие экзона включать почвы и почвоподобные тела, среди которых могут быть введены классы “организационно” (абиотические экзоны с горизонтным строением), “функционально” (обладающие плодородием) и “хорологически” (занимающие место почв, например, каменистые россыпи) почвоподобных тел. При этом “границы между почвами и непочвами... всегда будут иметь договорной характер” [15, с. 310].



Рис. 1. Шкала глубин взаимодействия в системе “среда–субстрат” на земных и внеземных объектах

К почвоподобным телам он отнёс также коры выветривания и донные отложения.

В XXI в. объём информации о почвах и почвоподобных телах значительно расширился. Активно велись работы по почвам Антарктиды, развивались исследования органо-минерального взаимодействия на поверхности и внутри плотных пород – эпилитного и эндолитного выветривания [5, 16]. Существенным образом продвинулось изучение подводных и маршевых почв, в том числе и российскими учёными [17], а также почв, сформированных на субстратах со своеобразным химико-минералогическим составом [18]. Появились обобщения по почвам жарких пустынь [19], лавинообразно увеличивается количество данных по техногенным почвам и субстратам [20]. Кроме того, кардинальным образом изменились инструментальные возможности изучения детальных свойств вещества на микро- и наноуровне [21].

На основании обобщения изложенного выше теоретического и эмпирического материала была сформулирована концепция *почвоведения и географии почв экстремальных условий* [21, 22], которая развивается в данной работе.

ОБЪЕКТЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ГЕОГРАФИИ ПОЧВ

Определяя критерии, по которым те или иные почвенные тела могут быть отнесены к почвам экстремальных условий, мы основываемся на *недоцентристическом подходе*, то есть оцениваем существующую и потенциальную степень развития признака, а также, в качестве дополнительного признака, напряжённость потоков вещества и энергии данной почвы. Предлагается выделять почвы экстремальных условий среды, которые в дальнейшем будем называть экстремальными

почвами (отдавая себе отчёт в том, что это жаргонизм).

В последние десятилетия получен значительный материал по минералогии и геохимии поверхностных тел атмосферных (в основном Марс) и безвоздушных (Луна, астероиды, кометы) космических объектов [7, 8]. Для них в англоязычной литературе активно используется термин “soil” (Martian soil, Lunar soil), под которым понимается просто рыхлый неконсолидированный субстрат – реголит. Он возникает под действием таких факторов, как огромная амплитуда температур, метеоритная бомбардировка, солнечный ветер, космическое излучение [8]. Однако, как представляется, научное докучаевское определение почвы нельзя расширять до полностью абиогенных объектов, поэтому нами предложен термин “солюид” в качестве аналога термина “почвоподобное тело” [7]. На основе данных, изложенных в предыдущем разделе, а также информации о продуктах взаимодействия среды и породы в космическом пространстве была составлена шкала глубин взаимодействия в системе “среда–субстрат” на земных и внеземных объектах и определено место почв на ней (рис. 1). Как видим, взаимодействия осуществляются в весьма широком диапазоне – от десятков нанометров до первых десятков метров. Однако мы считаем, что самостоятельные, то есть расположенные на границе “среда–субстрат”, а не внутри других объектов природные результаты взаимодействия с глубиной менее 1 мм и невидимые невооружённым глазом, не являются объектами почвоведения, даже имеющего дело с экстремальными условиями. Поэтому к объектам нашей науки мы предлагаем относить тела с определёнными ограничениями.

Для почвы, в том числе экстремальной, необходимо наличие следующих признаков: рыхлый дисперсный (размер частиц <2 мм) минеральный



Рис. 2. Доступность ресурсов и степень экстремальности объектов почвоведения

и/или органический материал, мощностью $> n$ см; горизонтная стратификация *in situ*, хотя бы на микроуровне и хотя бы на фоне седиментационной слоистости на глубину n см; наличие (микро)биоты; наличие органического вещества, хотя бы в следовых количествах; преимущественно субаэральный или субаквальный режим под слоем воды ≤ 2 м.

Солоиды отличаются такими признаками: рыхлый дисперсный (размер частиц < 2 мм) минеральный и/или органический материал, хотя бы в следовых количествах; (микро)горизонтная стратификация *in situ*, хотя бы и на фоне седиментационной слоистости на глубину $> n$ мм; контакт со средой, представляющей собой вакуум, газообразную или жидкую фазу. При этом наличие биоты и органического вещества не обязательно.

Критерии отнесения объектов почвоведения к экстремальным предусматривают развитие почв и солоидов в экстремальных условиях Земли и землеподобных планет как при недостатке ресурсов (вещества и энергии), так и при его избытке (рис. 2). Экстремальность, связанная с дефицитом или избытком ресурсов, определяется по отношению к “докучаевским” почвам нормальных/оптимальных условий, то есть природным телам, для которых разработаны методология исследования и классификационные системы современного почвоведения. Экстремальность, обусловленная дефицитом ресурсов, традиционна для экологии и биологии. Однако анализ показал, что для генезиса и географии почв имеет смысл выделять и экстремальные объекты почвоведения при избытке ресурсов, так как и в этом случае образуются тела, например, коры выветривания и формирующиеся на них ферралитные почвы, сильно отличающиеся от основных объектов почвоведения. Они требуют особых подходов, например, в силу низкой поглощающей активности глин, очень высокой доли обменного алюминия и сильнокислой в связи с этим реакцией среды.

В экстремальных условиях образуются ортоэкстремальные почвы, то есть “правильные”, настоящие экстремальные, и параэкстремальные почвы (почти экстремальные). Последние представляют переходную форму от экстремальных к нормальным или оптимальным почвам. В ультраэкстремальных условиях образуются солоиды, которые при недостатке ресурсов формируются на микроуровне (например, в эндолитных системах [5]) – минисолоиды, а при их избытке – на макроуровне (метры и десятки метров) – максисолоиды, например, многометровые культурные слои, или урбоседименты [23], а также мощные коры выветривания и гигантские подзолы с элювиальным горизонтом в пять и более метров в условиях жаркого и влажного климата, действующего на субстраты в течение сотен тысяч лет.

Критериями *ортоэкстремальных почв* являются неразвитость профилей и/или стрессовое состояние биоценозов почв, а также, в качестве дополнительного признака, крайне малые напочвенные потоки углерод- и азотсодержащих газов. К ортоэкстремальным мы причисляем почвы с неразвитым гумусовым и подстильным горизонтом, относящиеся по российской классификации к псаммозёмам, петрозёмам, пелозёмам, некоторым солончакам. В эту же группу мы включаем техногенно “отравленные” почвы, в которых морфоструктурные профили сохранены, а биофункциональное сильно редуцировано и не соответствует морфологическому облику. К *параэкстремальным почвам* могут быть отнесены, например, почвы ультраконтинентальных областей, в которых профиль полноразвитый, но про которые мы также знаем, что зимой их поверхность охлаждается до -50°C , но приводит ли это к каким-то отличиям от классических почв и требуют ли эти почвы особых подходов к их исследованию, пока неизвестно. Некоторые почвы, например, песчаные подзолы южной тайги, когда-то находились под селитьбами или пережили периоды распашки и до сих пор не могут восстановить исходные профили, несмотря на то, что на

протяжении уже нескольких сотен или даже тысяч лет они пребывают под лесной растительностью [24]. В отличие от большинства почв, которые практически полностью восстанавливают свои профили при выводе из сельскохозяйственного оборота, эти изменённые почвы тоже следует отнести к параэкстремальным.

КЛАССЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ПОЧВ

Пространственно-временной синтез полученных знаний о почвах экстремальных условий позволил выделить следующие классы экстремальности почв и солоидов.

I. *Факторная экстремальность почв.* Моно- и мультифакторная экстремальность, связанная с особенностями одного или нескольких факторов почвообразования (см. ниже).

II. *Надземная экстремальность почв и солоидов.* В некоторых случаях почвы и солоиды развиваются на древесном ярусе экосистем при участии эпифитов, задерживающих органические остатки и эоловый мелкозём, — это подвешенные (suspended) почвы [25]. Сюда же можно отнести и ещё не исследованные органо-минеральные образования, формирующиеся на месте заброшенных древесных колоний животных — термитов, птиц.

III. *Экстремальность супрагляциальных почв и солоидов.* Речь идёт о специфических органо-минеральных образованиях на поверхности ледников и снежников [26]. Эоловое накопление мелкозёма и появление растительности, начиная от водорослей и заканчивая лесом, обуславливают процессы, приводящие к появлению целой серии солоидов и почв: светопоглощающих примесей, криоконитов, “ледовых” почв (накопление разложенных остатков водорослей на поверхности льда, мощностью n см), полноразвитых почв под высшей растительностью, формирующихся на силикатном материале, подстилаемом глыбами мёртвого льда [26, 27].

IV. *Режимно-функциональная экстремальность почв* связана с формированием в какой-то период (сезон, год) экстремальных для конкретной территории условий, прежде всего погодных. Как правило, это связано с отсутствием или избытком осадков, крайне высокими или крайне низкими для региона температурами, ледяным дождём и т.д. Например, экстремально жаркое и сухое лето 2003 г. в Западной Европе и 2010 г. в России оказало сильное влияние на потоки парниковых газов из почв [28]. Этот класс экстремальности далеко не всегда или даже редко связан с генезисом и географией почв и появлением собственно экстремальных почв.

V. *Хорологическая (внеареальная) экстремальность* типа почвообразования связана с появлением почв, которые обычно характерны для дру-

гих территорий с иным климатом. Например, немецкими почвоведом на побережье Восточной Антарктиды были найдены почвы, по всем критериям международной системы WRB соответствующие подзолам (Podzols) [29], которые типичны для лесов и тундр. Другой пример был обнаружен с нашим участием для вертисолов (Vertisols по WRB). Вертисолы в большинстве своём относятся к глинистым почвам тропиков и субтропиков с чередованием сухого и влажного периодов. Однако недавно вертисолы были найдены и описаны в мерзлотной области Центральной Бурятии [30].

VI. *Возрастная экстремальность почв* стоит особняком по отношению к предыдущим классам. Сюда относятся очень молодые или, наоборот, очень древние почвы нормальных условий почвообразования. Первые через сотни или тысячи лет превратятся в нормальные оптимальные почвы, а вторые были таковыми миллионы лет назад. Однако подходы к исследованию первичных [31] и очень древних почв [32] во многом близки к экстремальной географии почв (электронная микроскопия, томография и др.), так как рутинные методы почвоведения оказываются недостаточно аккуратными по отношению к этим хрупким объектам.

Отдельно рассмотрим наиболее распространённую факторную экстремальность почв. Можно выделить следующие её разновидности.

Климатически экстремальные почвы (клима-экстремальные) — недостаточно обеспеченные теплом (регионы высоких широт) или влагой (засушливые регионы), территории с резкими колебаниями климатических условий [16, 19].

Почвы, экстремальные в связи с рельефом (топо-экстремальные), неполноразвитость которых связана с местными условиями рельефа (пещеры, отвесные скалы и т.д.) [33 и др.].

Почвы, лимитированные по биоте (биоэкстремальные), например, почвоподобные тела пещер, где полностью отсутствуют фотосинтезирующие организмы, или почвы под бескорневой растительностью [33, 16].

Почвы, экстремальные в связи с субстратом (литоэкстремальные), например, развивающиеся в токсичной среде или на крайне бедной основе, что не обеспечивает в должной мере благоприятные свойства и запас питательных веществ для развития биоты [18], а также экстремальные в связи с крайне неблагоприятными физическими свойствами, например, высокой каменистостью и практическим отсутствием мелкозёма.

Почвы, развитие которых лимитировано современным формированием отложений (седименто- или седиекстремальные) — эоловым, флювиальным, вулканическим и т.д., что было известно ещё в додокучаевский период.

Почвы, сформировавшиеся под активным влиянием современных или прошлых эндогенных процессов (эндогенно экстремальные) [34], а также биокосные образования в гидротермальных условиях.

Почвы, сильно подверженные действию поверхностных вод на днищах мелких водоёмов, которые, согласно Мировой реферативной базе почвенных ресурсов [29], относятся к почвам и классифицируются как почвы (субаквоэкстремальные) [17].

Почвы, подверженные сильному воздействию грунтовых, в том числе засоленных, вод (гидроэкстремальные).

Почвы, сильно изменённые или сформированные в связи с деятельностью человека (антропогенно-экстремальные), — почвы на культурных слоях, токсичных отходах и т.д.

Весьма часто приходится иметь дело с мультифакторной экстремальностью. Как правило, климаэкстремальные почвы одновременно являются литоэкстремальными из-за выноса мелкозёма сильными ветрами или седиэкстремальными в связи с эоловым привносом. Топоэкстремальность часто сочетается с литоэкстремальностью почв.

ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

Исходя из изложенных выше сведений о разнообразии экстремальных почв и солоидов, может создаться впечатление, что такие почвы преобладают на поверхности Земли. Но это не совсем так. Оценить общую площадь экстремальных почв для всего мира можно по подсчётам, сделанным в Таксономии почв США [35] на основании прилагаемой к ней карты “Global Soil Regions”, в свою очередь созданной по данным Почвенной карты мира Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО). Использовать единицы Таксономии почв для интерпретации их потенциальной экстремальности оказалось эффективнее, чем элементы легенды Почвенной карты ФАО–ЮНЕСКО. К возможным ареалам солоидов следует отнести скалисто-каменистые выходы (~10% свободной ото льда суши) и с большой степенью условности движущиеся пески (~4%). К ареалам экстремальных почв — площади, занимаемые практически всеми энтисолями — слаборазвитыми почвами (~16%). В совокупности они составляют 30% внеледниковой площади суши. Но если добавить к ним ещё около пятой части от 7% площади, занимаемой оксисолями (недифференцированными тропическими почвами на корях выветривания), а также некоторую часть гелисолей (мерзлотных почв), то общую долю экстремальных почв и солоидов в покрове Земли, по расчётам, основан-

ным на американской Таксономии почв, можно оценить в 35–40%.

Однако это очень приблизительная и, на наш взгляд, сильно завышенная оценка, так как на карте “Global Soil Regions” к выходам скал отнесён весь пояс гор Северо-Восточной и Южной Сибири, Тибет, Среднесибирское плоскогорье. Видимо, более точный подсчёт площадей экстремальных почв на Земле ещё только предстоит произвести, но сегодня оценка в 20–25% общей площади внеледниковой суши представляется наиболее вероятной.

Основные ареалы экстремальных почв — это аридные пустыни: Сахара, Аравийская, Большая Австралийская, Калахари, а также наиболее сухие и холодные горные массивы в Азии, Арктике. Наибольшие ареалы экстремальных почв с избытком ресурсов расположены в бассейнах экваториальных рек Амазонки и Конго. Самые крупные ареалы относятся к клима-, седи- и литоэкстремальным почвам.

В отдельных макрорегионах распространения экстремальных почв, например, в полярных областях Земли, законы глобальной географии почв, прежде всего их широтная зональность, нарушаются из-за воздействия ледников. Почвенный покров приобретает островное строение (острова почв среди морского и наземного льда), а его характер зависит в большей мере от локальных причин (близость к леднику и его размеры, наветренное или подветренное положение, экспозиция, наличие или отсутствие птичьих базаров и стоков с них и т.д.), чем от широты местности. В связи с этим близкие к полюсам почвы могут быть более плодородными — это явление можно назвать *гляциогенной инверсией зональности почвенных свойств и процессов*. В целом же географические закономерности высокоширотных областей предлагается назвать *мозаично-островным* географическим распространением почв.

* * *

В настоящее время многие географы-почвоведы осознают, что объектами их науки являются не только нормальные почвы, для которых разработан методологический и методический аппарат исследований и классификация, но и природные тела, которые занимают место этих почв в почвенном покрове, но иногда довольно сильно от них отличаются. В основном это связано с особенностями факторов почвообразования. Однако в качестве некоего единства эти специфические объекты ранее не рассматривались. Именно поэтому представляется важным оформить новое научное направление — *генезис и география почв экстремальных условий*. Его объектами являются почвы и солоиды (почвоподобные тела), которые

развиваются в экстремальных (крайних, необычных для нормальных почв) условиях, как при недостатке, так и при избытке ресурсов.

Предлагается выделять различные классы экстремальности почв и солоидов – факторный, надземный, супрагляциальный, режимно-функциональный, хронологический (внеареальный) и возрастной. Среди класса факторной экстремальности определены клима-, топо-, био-, лито-, эндогенно-, седименто-, субакво-, гидро- и антропогенноэкстремальные почвы и солоиды.

Почвы, которые можно отнести к экстремальным, по нашей оценке, составляют ~20–25% площади внеледниковой суши. Это области наиболее аридных пустынь, гор с холодным и/или очень сухим климатом, а также некоторые почвы в тропическом поясе. В областях Высокой Арктики и в Антарктике для почвенного покрова характерна не широтная зональность, а мозаично-островное географическое распространение почв.

Осознание экстремальности значительного числа объектов географии почв и их дальнейшее адекватное изучение будет способствовать развитию теоретического и методического направлений нашей науки, что положительно скажется и на изучении основных, неэкстремальных, почв Земли.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-27-00133 – концептуальное обобщение; проект 20-17-00212 – супрагляциальный класс экстремальности почв и солоидов; усовершенствование концепции).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Полынов Б.Б.* Первые стадии почвообразования на массивно-кристаллических породах // Почвоведение. 1945. № 7. С. 327–339.
2. *Глазовская М.А.* Влияние микроорганизмов на процессы выветривания первичных минералов // Изв. Ак. наук Казах. ССР. Серия почвоведение. 1950. Вып. 6. С. 79–100.
3. *Weber V., Büdel B., Belnap J. (eds.)* Biological soil crusts: an organizing principle in drylands. Springer International Publishing, 2016. P. 3–13.
4. *Полынов Б.Б.* Кора выветривания. Л.: Изд-во АН СССР, 1934.
5. *Mergelov N., Mueller C.W., Prater I. et al.* Alteration of rocks by endolithic organisms is one of the pathways for the beginning of soils on Earth // Scientific Reports. 2018. V. 8. P. 1–15.
6. *Сычёва С.А., Седов С.Н., Погосян Л.А., Соллейро-Риболledo Э.* Этапы экстремального и оптимального развития ландшафтов центральной Мексики за последние 40 000 лет. М.: Медиа-пресс, 2016.
7. *Таргульян В.О., Мергелов Н.С., Горячкин С.В.* Почвоподобные тела на Марсе // Почвоведение. 2017. № 2. С. 205–218.
8. *Pieters C.M., Noble S.* Space weathering on airless bodies // J. Geophysical Research: Planets. 2016. V. 121. № 10. P. 1865–1884.
9. *Krasilnikov P., Ibañez Marti J.-J., Arnold R., Shoba S. (eds.)*. Handbook of soil terminology, correlation and classification. London: EARTHSCAN, 2009.
10. *Докучаев В.В.* Главные моменты в истории оценок земель Европейской России, с классификацией русских почв // Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. Естественно-историческая часть. СПб., 1886. Вып. 1.
11. *Фридланд В.М.* Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986.
12. *Соколов И.А.* Что такое почва и что такое почвоведение? // Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Гуманитарные технологии, 2004. С. 9–22.
13. *Таргульян В.О.* Экзогенез и педогенез: расширение теоретической базы почвоведения // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1983. № 3. С. 33–43.
14. *Толчельников Ю.С.* О сущности понятия “почва” // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1985. № 3. С. 52–58.
15. *Дмитриев Е.А.* Почва и почвоподобные тела // Почвоведение. 1996. № 3. С. 310–319.
16. *Vockheim J.G. (ed.)*. The soils of Antarctica. Springer, 2015.
17. *Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н. и др.* Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М.: АПР, 2016.
18. *Семиколенных А.А., Спиридонова И.А., Туюкина Т.Ю. и др.* Экстремальные экосистемы и почвы открытых гипсово-карстовых ландшафтов тайги европейского севера. М.: Медиа-Пресс, 2015.
19. *Khormali F., Monger C.* Hot desert soils – Global distribution and unique characteristics // Geoderma Regional. 2020. V. 23. e00330.
20. *Артамонова В.С., Бортникова С.Б.* Почвоподобные образования техногенных ландшафтов: история изучения, терминология, современные аспекты (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 4–13.
21. *Горячкин С.В., Мергелов Н.С., Таргульян В.О.* Генезис и география почв экстремальных условий: элементы теории и методические подходы // Почвоведение. 2019. № 1. С. 5–19.
22. *Горячкин С.В.* Почвоведение и география почв экстремальных условий – проблемы и перспективы развития // Комплексные научные исследования и сотрудничество в Арктике: взаимодействие вузов с академическими и отраслевыми научными организациями. Материалы Всерос. конф. с международным участием. Архангельск: САФУ, 2015. С. 79–82.
23. *Долгих А.В., Александровский А.Л.* Почвы и культурный слой Великого Новгорода // Почвоведение. 2010. № 5. С. 515–526.

24. Гольева А.А., Бондарева Ю.А. Почвы археологических памятников в лесной зоне как почвы катастроф // Лесоведение. 2017. № 3. С. 205–211.
25. Еськов А.К., Абакумов Е.В., Тиунов А.В. и др. Аэотропные воздушные корни – улавливатели гнездовых эпифитов и их роль в формировании подвешенных почв // Журнал общей биологии. 2017. № 3. С. 54–68.
26. Мергелов Н.С., Горячкин С.В., Зазовская Э.П. и др. Ледники и почвообразование: супрагляциальные и перигляциальные органоминеральные системы // Почвоведение. 2022 (в печати).
27. Зазовская Э.П., Мергелов Н.С., Шишков В.А. и др. Криокониты как факторы развития почв в условиях быстрого отступления ледника Альдегонда, Западный Шпицберген // Почвоведение. 2022. № 3. С. 281–295.
28. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Гитарский М.Л., Блинов В.Г. (ред.). Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Саратов: Амирит. 2017.
29. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106. 2014. FAO, Rome.
30. Kovda I., Goryachkin S., Lebedeva M. et al. Vertic soils and vertisols in cryogenic environments of southern Siberia, Russia // Geoderma. 2017. V. 288. P. 184–195.
31. Abakumov E.V., Koptseva E.M. Ecogenesis and primary soil formation on the East European Plain. A review // Folia Oecologia. 2022. V. 49 (1). P. 51–60.
32. Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Губин С.В. Палеопочвенный комплекс в кровле михайловского горизонта (визейский ярус нижнего карбона) на территории южного крыла Московской синеклизы // Палеонтологический журнал. 2016. № 4. С. 5–20.
33. Семиколенных А.А., Таргульян В.О. Почвоподобные тела автохемолитотрофных экосистем пещер хребта Кугитангтау (Восточный Туркменистан) // Почвоведение. 2010. № 6. С. 658–672.
34. Геннадиев А.Н., Генпнер А.Р., Жидкин А.П. и др. Экзотемпературные и эндотемпературные почвы Исландии // Почвоведение. 2007. № 6. С. 661–675.
35. Soil Survey Staff. Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2-nd edition. Agricultural Handbook 436. Natural Resources Conservation, 1999.

ЛЁССОНАКОПЛЕНИЕ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ В КОНЦЕ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПЕРИОДА

© 2022 г. Е. А. Константинов^{a,*}, А. Л. Захаров^{a,**}, Н. В. Сычёв^{a,***}, Е. А. Мазнева^{a,****},
Р. Н. Курбанов^{a,b,*****}, П. А. Морозова^{a,*****}

^aИнститут географии РАН, Москва, Россия

^bГеографический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: eakonst@igras.ru

**E-mail: alzakharov@igras.ru

***E-mail: nvsychev25@igras.ru

****E-mail: elena.mazneva@igras.ru

*****E-mail: kurbanov@igras.ru

*****E-mail: morozova_polina@igras.ru

Поступила в редакцию 31.01.2022 г.

После доработки 06.02.2022 г.

Принята к публикации 20.02.2022 г.

Происхождение лёссовых отложений Предкавказья, образующих практически сплошной покров на равнинах от Азовского моря до Прикаспийской низменности, остаётся одним из дискуссионных вопросов палеогеографии юга Европейской России. Феноменально высокая мощность лёссово-палеопочвенных серий (ЛПС) на востоке региона (до 140 м) и протяжённые береговые обнажения на западе вызывают особый интерес геологов и географов, рассматривающих эти толщи как своеобразную летопись природных условий четвертичного периода.

В статье анализируются данные по строению, механическому составу и возрасту ЛПС верхнего плейстоцена и голоцена, полученные на основе изучения 25 скважин и разрезов, распределённых по территории Предкавказья. Рассчитаны средние темпы осадконакопления и средние содержания песчаной фракции для стратиграфических единиц, соотносимых с глобальными климатостратиграфическими подразделениями – морскими изотопными стадиями (МИС). Установлено, что источниками (областями дефляции) минеральной пыли, которая и формирует лёссовый покров, являются долины и приустьевые аллювиальные равнины крупных рек – Терека, Кумы, Волги, Кубани и Дона. Доминирующим на протяжении всего позднего плейстоцена и голоцена источником является Прикаспийская низменность. Крупные массивы слабозакреплённых песков и супесей западного Прикаспия в сочетании с высокой засушливостью климата и сильными восточными ветрами создали предпосылки для переноса огромных масс минеральной пыли на запад вплоть до Азовского моря.

Ключевые слова: лёсс, Предкавказье, поздний плейстоцен, голоцен, эоловые процессы, дефляция, питающие провинции, осадконакопление, палеоклимат.

DOI: 10.31857/S0869587322060068

Содержание минерального аэрозоля (пыли) в атмосфере тесно связано с климатическими

КОНСТАНТИНОВ Евгений Александрович – кандидат географических наук, старший научный сотрудник ИГ РАН. ЗАХАРОВ Андрей Леонидович – кандидат географических наук, научный сотрудник ИГ РАН. СЫЧЁВ Никита Владиславович – инженер-исследователь ИГ РАН. МАЗНЕВА Елена Андреевна – младший научный сотрудник ИГ РАН. КУРБАНОВ Реджеп Нурмурадович – кандидат географических наук, старший научный сотрудник ИГ РАН, старший научный сотрудник МГУ им. М.В. Ломоносова. МОРОЗОВА Полина Анатольевна – младший научный сотрудник ИГ РАН.

условиями на Земле в целом и в отдельных её регионах. Объёмы пыли, переносимой в воздушной среде, контролируются прежде всего степенью засушливости климата, площадью источников пыли и ветровым режимом [1, 2]. Изменение этих факторов в геологическом прошлом можно проследить через интенсивность пыленакопления в седиментационных палеоархивах – природных осадочных летописях – ледниковых, морских, озёрно-болотных, лёссовых и др.

На континентах в зонах устойчивого накопления минеральной пыли сформированы массивы лёссовых отложений. Они занимают огромные

площади в умеренных широтах обоих полушарий – суммарно около 6% земной суши [3]. Лёссы представляют собой слабосцементированную карбонатами неслоистую обломочную горную породу, сложенную преимущественно алевритом с примесью глины и тонкого песка. Они распространены в основном на равнинах и имеют покровное залегание. В строении лёссового чехла, как правило, наблюдается чередование светлых и тёмных горизонтов – так называемых чистых лёссов, отвечающих засушливым и холодным условиям, и палеопочв, приуроченных к более влажным и тёплым условиям. В совокупности этот “слоёный пирог” называют лёссово-палеопочвенными сериями (ЛПС). ЛПС отличаются от других континентальных палеоархивов четвертичного периода своей широкой распространённостью в засушливых областях умеренного пояса и большим временным охватом геологической летописи – до 2–3 млн лет. Эти особенности позволяют проводить широкие площадные реконструкции ландшафтов, гидротермального режима атмосферы и направления приземных ветров для семиаридных континентальных регионов в интервале всего четвертичного периода. Благодаря этому ЛПС привлекают огромное внимание геологов и палеогеографов уже более 150 лет.

Один из крупнейших по площади лёссовых ареалов на Земле расположен на юге Восточно-Европейской равнины. Наше внимание привлекла особенная область этого ареала, расположенная между Азовским морем и Прикаспийской низменностью, – Предкавказская. Лёссовые отложения в Предкавказье покрывают почти сплошным чехлом междуречья и высокие речные террасы [4–6]. Возраст их подошвы может достигать 700–800 тыс. лет [7], мощность (толщина) чехла колеблется от 10–30 м на западе – у берегов Азовского моря, до 100–140 м на востоке – в Терско-Кумской низменности [8]. У верхнечетвертичной ЛПС, сформировавшейся за последние 130 тыс. лет, этот показатель может превышать 35 метров на востоке региона [4]. Столь высокие мощности являются феноменальными для Восточно-Европейской равнины, да и для всей Европы.

Несмотря на многолетнюю историю изучения ЛПС Предкавказья, до сих пор нет исчерпывающего объяснения природы необычайно высокой мощности отложений. До конца не решены вопросы об источниках поступления и механизмах накопления пылеватого материала [9–12], нет надёжных моделей пространственной и временной изменчивости скоростей накопления лёссов. В основном указанные проблемы связаны с недостатком достоверных данных о строении, возрасте и составе ЛПС. За последние 10 лет благодаря изучению новых разрезов и скважин, внедрению методов люминесцентного датирования и массово-

го вещественного анализа отложений удалось создать предпосылки для решения указанных проблем.

В данной статье обобщаются результаты исследований строения, состава и стратиграфии верхнечетвертичных лёссов Предкавказья, которые были частично получены авторским коллективом, а частично заимствованы из литературных источников. Предметом работы стал анализ собранных данных, а целью – определение факторов накопления, источников и направления переноса минеральной пыли в Предкавказье за последние 130 тыс. лет.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование опирается на анализ пространственной и временной изменчивости скоростей осадконакопления и содержания песчаной фракции в ЛПС. Этот подход был неоднократно апробирован при изучении палеогеографии Китайского лёссового плато, лёссовых областей Северной Америки и Центральной Европы [2, 13–15] и зарекомендовал себя как надёжный метод определения источников минеральной пыли, выявления этапов аридизации и увлажнения, а также реконструкции атмосферной циркуляции. Подход опирается на теоретические представления о факторах, определяющих мощность и механический состав лёссов [16, 9].

Хорошо известно, что в воздушном потоке происходит сортировка материала. Далеко от источника, на десятки и сотни километров, улетают преимущественно мелкие частицы алеврита (0.005–0.05 мм) и глины (<0.005 мм), которые поднимаются высоко в воздух во время пылевых бурь. Относительно крупные песчаные частицы (размером от 0.05 до 2 мм) редко отрываются высоко от поверхности. Как правило, они перемещаются на относительно небольшие расстояния путём сальтации (скачкообразно) или волочения по поверхности [1]. Таким образом, доля песка в лёссе, при прочих равных условиях, убывает по мере удаления участка аккумуляции от источника минеральной пыли – песчаного массива, подвергаемого дефляции. Большое влияние на содержание песка оказывают скорость и направление приземных ветров [16], которые в свою очередь определяются рельефом и климатическими условиями.

Средние темпы аккумуляции лёсса также связаны с расстоянием до источника пыли. По мере приближения к области дефляции скорость осадконакопления возрастает нелинейно, быстро увеличиваясь вблизи источника [2]. Скорость аккумуляции сильно зависит от коэффициента увлажнения климата, который влияет на устойчивость

поверхности к дефляции через влажность грунта и густоту растительного покрова [1]. Аридизация климата способствует расширению областей дефляции, что провоцирует рост объёмов транспорта минеральной пыли и, как следствие, её накопления в областях аккумуляции. На интенсивность пылеобразования влияет и состав субстрата в области дефляции [1]. Например, аллювиальные пески представляют собой податливый субстрат для ветровой эрозии, при которой в воздух поднимаются огромные пылевые массы. А вот глинистая или соляная корка, наоборот, блокируют дефляцию, снижая интенсивность пылеобразования. Состояние поверхности в области аккумуляции — не менее значимый фактор, так как эоловый материал должен закрепиться, чтобы превратиться в стабильный осадок. Здесь важное значение имеет плотность растительного покрова, который задерживает минеральную пыль и препятствует дефляции [1]. Колебания уровня морских бассейнов — один из специфических региональных факторов, который существенно влияет на площади источников минеральной пыли и, как следствие, на объёмы её продукции.

В нашем исследовании темпы осадконакопления для отдельных хроностратиграфических интервалов определялись нахождением отношения вертикальной мощности слоя к его возрасту. Для этого необходимо с достаточно высокой точностью определить возрастные границы стратиграфических подразделений в осадке. Теоретическая возможность корректного решения такой задачи применительно к верхнечетвертичным лёссам Предкавказья возникла относительно недавно. Во-первых, для плакорных ЛПС Предкавказья показана высокая стратиграфическая и морфологическая выдержанность [17, 18]. Во-вторых, в начале XXI столетия группой А.А. Величко была создана надёжная стратиграфическая схема ЛПС юга Европейской России, которая увязана с глобальными климатостратиграфическими шкалами [19]. В-третьих, в последние несколько лет появилась серия подробно датированных люминесцентными методами разрезов верхнечетвертичных лёссов, которые могут считаться опорными, — Беглица, Чумбур-Коса, Воронцовка, Отказное [20–23]. Последнее обстоятельство позволило детализировать схему А.А. Величко и открыло широкие возможности для прямой возрастной корреляции удалённых разрезов по литологическим маркерам в осадке — узнаваемым вариациям состава.

Во всех проанализированных нами лёссовых колонках и разрезах производилось стратиграфическое членение на основе схемы А.А. Величко, увязанной с морскими изотопными стадиями (МИС) [24]: голоценовая почва — МИС 1 (0–14 тыс. л.н.), алтыново-деснинский лёсс — МИС 2 (14–29 тыс. л.н.), брянская почва — МИС 3 (29–57 тыс. л.н.), хоты-

лёвский лёсс — МИС 4 (57–71 тыс. л.н.), мезинский педокомплекс — МИС 5 (71–130 тыс. л.н.), салынская почва мезинского педокомплекса — МИС 5e (115–130 тыс. л.н.). Такое членение стало основой для расчёта средних темпов аккумуляции для каждой МИС и среднего содержания песка внутри заданного интервала.

Значимыми ограничениями данной методики расчёта являются ошибки в определении границ стратиграфических подразделений и возможные перерывы в осадконакоплении. Первое ограничение особенно актуально для колонок, заимствованных из старых литературных источников. Здесь отсутствуют люминесцентные даты, обеспеченность литологическими анализами низкая: шаг отбора образцов составляет 30–50 см. В таких колонках нами производилась поправка границ стратиграфических подразделений на основе корреляции с более надёжными колонками, однако достоверность расчётных параметров остаётся не очень высокой. В полученных нами колонках определение границ стратиграфических подразделений также может содержать ошибки. Поэтому погрешность расчёта оценивается нами в среднем в 30–40% для колонок без люминесцентных дат.

Весьма существенным представляется второе ограничение, связанное с возможной эрозией части лёссовой толщи. Для минимизации роли линейной эрозии и плоскостного смыва нами выбирались только колонки и разрезы, расположенные на участках плоских междуречий, лишённых следов водной эрозии. Однако и здесь не исключены перерывы, обусловленные возможной ветровой эрозией (дефляцией). Часто на наличие перерывов указывают резкие границы в осадке; такие ЛПС нами не рассматривались. Косвенный признак наличия перерывов — аномально низкие значения темпов аккумуляции при сравнении с соседними точками. Так как влияние фактора эрозии весьма вероятно для всех ЛПС [25], нашу расчётную оценку темпов аккумуляции можно считать минимальной.

В таблице 1 приведены все колонки и разрезы, учтённые в нашем исследовании (всего 25). Приведён их краткий индекс, название, местоположение, указан источник данных. Девять точек расположены в северо-восточном Приазовье: Ys, Bg, V4, V8, C3, M1, Sm, Nk, Chk. Это объясняется наличием протяжённых береговых обрывов Азовского моря, облегчающих изучение разрезов, и давней историей исследований. Вторая по численности группа точек, представленная буровыми скважинами, принадлежит Азово-Кубанской равнине (An, Pt, Np, Sb, Pm). На правобережье среднего течения Кубани находятся три точки — две скважины и один разрез (UL, Kz, Tm). На востоке региона, в Терско-Кумской низменно-

Таблица 1. Горные выработки, по которым рассчитаны средние темпы лёссонакопления и средние содержания песчаной фракции в лёссе для отдельных климатостратиграфических подразделений

Индекс	Название	Тип горной выработки	Источник данных	Широта, N°	Долгота, E°
Ys	Ясенская	скважина	материалы коллектива авторов	46.37894	38.1376
An	Андрюшенко	скважина	материалы коллектива авторов	46.21666	39.44257
Sb	Сладкая балка	скважина	[22]	45.53076	41.45168
Pm	Первомайская	скважина	материалы коллектива авторов	46.08998	42.2663
Ot	Отказное	скважина	[22, 23]	44.34696	43.87704
Bg	Беглица	разрез	[22]	47.12711	38.51572
V4	Воронцовка-4	разрез	[22]	46.65879	38.08044
V8	Воронцовка-8	разрез	[22]	46.63989	38.03467
C3	Червоная падь	скважина	[25]	46.63303	37.94581
UL	Усть-Лабинск	скважина	[8]	45.18426	39.53535
Nk	Никольская	скважина	материалы коллектива авторов	47.22577	38.72967
Chk	Чумбур-Коса	разрез	[21]	46.9693	38.96485
MI	Мелекино	разрез	[7]	46.99178	37.4395
Sm	Семибалки-1	разрез	[27]	47.0099	39.0397
VI	Волгодонск	скважина	[8]	47.48997	42.24067
Np	Новопокровское	скважина	[8]	45.96554	40.81781
Bd	Будённовск	скважина	[8]	44.80022	44.11223
Dv	Дивное	скважина	[4]	45.88782	43.28588
St	Степное	скважина	[8]	44.21464	44.57899
Pt	Петровка	скважина	материалы коллектива авторов	46.7375	40.8196
P	Пятилетка	скважина	материалы коллектива авторов	47.11321	43.28445
Kz	Казанская	скважина	материалы коллектива авторов	45.40754	40.35823
Mh	Михайловское	скважина	материалы коллектива авторов	47.67952	40.95896
Tm	Темижбекская	скважина	материалы коллектива авторов	45.43177	40.84136
SA	Средняя Ахтуба	разрез	[28]	48.700278	44.893611

сти, расположены три скважины (Bd, Ot, St), по одной скважине – в пределах Сальско-Манычского междуречья (P) и бассейна нижнего Калауса (Dv), две буровые скважины – в бассейне нижнего Дона (Mh, VI). Разрез Средняя Ахтуба (SA) в Нижнем Поволжье вскрывает строение ЛПС, погребённой под морскими хвалынскими отложениями конца верхнего плейстоцена.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛЁССОВЫХ И ПЕСЧАНЫХ ПОРОД

С целью выявления потенциальных источников и направлений потоков минеральной пыли проведён анализ распространения лёссовых и песчаных пород. На основе открытых карт четвертичных отложений составлена сводная карта приповерхностного залегания этих литологиче-

Таблица 2. Среднее содержание песчаной фракции (%) в лёссовых и палеопочвенных горизонтах, соответствующих основным климатостратиграфическим подразделениям верхнего плейстоцена и голоцена

Индекс горной выработки	Голоценовая почва/МИС 1	Алтыново-деснинский лёсс/МИС 2	Брянская палеопочва/МИС 3	Хотылёвский лёсс/МИС 4	Мезинский педокомплекс/МИС 5	Салынская палеопочва/МИС 5e
Ys	2.9	4.1	4.3	4.1	3.6	4.0
An	5.1	7.0	5.0	7.0	8.3	4.4
Sb	8.0	16.5	13.0	12.9	12.8	13.4
Pm	6.7	9.7	10.1	11.2	11.6	9.2
Ot	18.9	29.6	24.9	25.3	16.0	13.0
Bg	13.4	14.0	9.8	10.4	20.7	9.7
V4	2.3	2.3	2.3	2.3	1.6	1.5
V8	1.6	3.4	0.9	1.3	1.1	1.1
C3	4.5	2.5	2.3	2.4	3.9	4.0
UL	22.8	28.3	18.7	30.4	20.3	17.6
Nk	14.0	18.2	19.3	18.6	21.5	22.8
Chk	3.0	2.3	3.6	2.5	6.5	7.5
MI	10.0	13.0	6.0	5.0	8.0	6.0
Sm	3.0	5.0	2.0	1.0	2.5	3.0
VI	7.0	23.0	18.0	20.0	19.0	15.0
Np	7.0	15.0	13.0	15.0	14.0	8.0
Bd	25.0	45.0	37.0	45.0	40.0	30.0
Dv	18.6	18.7	16.5	22.6	24.2	20.9
St	36.9	45.8	39.4	44.0	—	—
Pt	4.8	4.8	6.2	5.4	5.4	4.0
P	6.3	7.3	8.7	10.0	8.6	7.8
Kz	15.8	16.0	7.6	11.9	12.6	12.5
Mh	16.7	27.0	24.5	29.5	15.4	5.6
Tm	32.1	28.8	8.0	—	6.8	—
SA	—	—	—	25.0	10.0	5.0

покрыты чехлом из маломощных лёссовидных суглинков.

Для значительной доли закреплённых и погребённых песков и супесей нет прямых свидетельств их эоловой переработки в прошлом. Без дополнительных исследований нельзя утверждать, что все эти отложения были вовлечены в эоловый транспорт. Однако общая площадь распространения приповерхностных песчаных пород в регионе наглядно свидетельствует об огромном потенциале быстрого расширения источников минеральной пыли в позднем плейстоцене при условии аридизации климата и падения уровня морских бассейнов.

Содержание песка в лёссах. Среднее содержание песка по всем хроносрезам во всех точках составляет 13.0%, медиана – 10.0%, минимум – 0.9%, максимум – 45.8%, стандартное отклонение – 10.6%, коэффициент вариации – 81.6%. Пиковое содержание песка приурочено к этапу МИС 2 в точке St, минимальная доля песка – к этапу МИС 3 в точке V8. Высокая вариация доли песка в лёссах говорит о выраженной неоднородности их состава, а значит, и условий их формирования. Проследим закономерности этой неоднородности в пространственном и временном отношениях (табл. 2).

В пространственном отношении наименьшая средняя доля песка приходится на восточное Приазовье (V4, V8, C3, YS, Sm, Chk) – от 1.5 до 4.2%. Затем по мере возрастания следуют: Сальско-Маньчское междуречье (P) – 8.1%, Азово-Кубанская равнина (An, Pt, Np, Sb, Pm) – от 5.1 до 12.8%, северное Приазовье (M1, Bg, Nk) – от 8 до 19.1%, Нижнее Поволжье (SA) – 13.3%, террасы нижнего Дона (Mh, VI) – от 17.0 до 19.8%, бассейн нижнего Калуса (Dv) – 20.3%, Прикубанье (UL, Kz, Tm) – от 12.7 до 23.0%, Терско-Кумская низменность (Bd, Ot, St) – от 21.3 до 41.5%.

Представленные данные показывают, что высокая доля песка приурочена к колонкам, которые расположены в относительной близости от песчаных массивов. Верхние 10 позиций в рейтинге колонок с наибольшей средней долей песка занимают точки вблизи крупных речных долин, где и сосредоточены основные массивы песка. Чемпионом по содержанию песка является Терско-Кумская низменность. Далее следует Прикубанье, Нижний Дон и Нижняя Волга. Минимальное содержание песка в лёссах обнаруживается в колонках, удалённых от крупных речных долин, – на Азово-Кубанской низменности и в восточном Приазовье.

Во временном отношении минимальные значения средней доли песка приходится на МИС 5e (9.8%). Далее по возрастанию следуют МИС 1 (11.9%), МИС 5 (12.3%), МИС 3 (12.5%), МИС 4 (15.1%). Максимальные значения средней доли песка приходится на МИС 2 (16.1%). Таким образом, наблюдается связь содержания песка с климатическими вариациями. Максимальные значения этого показателя наблюдаются в криохроны, минимальные – в термохроны. Причём доля песка в целом соответствует суровости климатических условий.

Вариации доли песка намного сильнее проявляются в пространственном отношении, чем во временном. Коэффициент вариации по пространственной оси составляет 76.2%, а по временной – 17.7%, то есть на состав лёсса в среднем существенно больше влияет географическое положение (близость к песчаному источнику), чем изменчивость условий во времени.

Максимальная пространственная неоднородность по доле песка отмечена в МИС 2 и МИС 4. Стандартное отклонение составляет 12.4 и 12.7% соответственно. Минимальная неоднородность наблюдается в МИС 5e (стандартное отклонение 7.4%). Для сравнения: в голоцене этот показатель составляет 9.7%. Из этого следует, что в криохроны пространственный контраст по содержанию песка возрастал по сравнению с термохронами.

Средние темпы осадконакопления. Средние темпы аккумуляции по всем точкам и хроносредам составляют 11.1 см/1000 лет, медиана –

7.6 см/1000 лет, минимум – 2.1 см/1000 лет, максимум – 83.3 см/1000 лет, стандартное отклонение 12.1 см/1000 лет, коэффициент вариации – 109.1%. Пиковые скорости аккумуляции приходятся на этап МИС 2 в точке St, минимальные значения соответствуют этапу МИС 4 в точке Chk. В пространственном отношении наименьшие средние темпы аккумуляции приходятся на восточное Приазовье (V4, V8, C3, YS, Sm, Chk) – 4.4–5.3 см/1000 лет (таблица 3). Затем по мере возрастания следуют: северное Приазовье (M1, Bg, Nk) – от 5.4 до 7.1 см/1000 лет, Азово-Кубанская равнина (An, Pt, Np, Sb, Pm) – от 5.3 до 11.8 см/1000 лет, бассейн нижнего Калуса (Dv) – 11.6 см/1000 лет, Сальско-Маньчское междуречье (P) – 12.9 см/1000 лет, Прикубанье (UL, Kz, Tm) – от 8.4 до 15.3 см/1000 лет, Нижнее Поволжье (SA) – 13.6 см/1000 лет, террасы Нижнего Дона (Mh, VI) – от 13.6 до 15.3 см/1000 лет, Терско-Кумская низменность (Bd, Ot, St) – от 20.8 до 50.3 см/1000 лет.

Представленные данные показывают, что высокие темпы аккумуляции тяготеют к песчаным массивам большой площади. С заметным отрывом по этому показателю лидирует Терско-Кумская низменность. Минимальные значения наблюдаются на территории восточного Приазовья. Однако распределение остальных мест в рейтинге темпов аккумуляции несколько отличается от распределения мест по доле песка. Так, при очень высоких значениях доли песка в Прикубанье средние темпы аккумуляции находятся на относительно невысоком уровне (четвёртое место). При этом нижнедонские лёссы, занимающие второе место, очень близки по этому показателю к прикубанским. Впечатляют темпы лёссонакопления на Терско-Кумской низменности, которые в 3 раза превышают средние темпы аккумуляции на территории, занимающей второе место (Нижний Дон).

Во временном отношении минимальные значения средних темпов аккумуляции приходится на МИС 5 (6.5 см/1000 лет). Далее по возрастанию следуют МИС 5e (7.6 см/1000 лет), МИС 3 (8.7 см/1000 лет), МИС 1 (8.9 см/1000 лет), МИС 4 (13.0 см/1000 лет), МИС 2 (21.1 см/1000 лет). То есть максимальные значения средних темпов аккумуляции приходится на криохроны, а минимальные – на термохроны.

Вариации темпов осадконакопления сильнее проявляются в пространственном отношении, чем во временном. Коэффициент вариации этого параметра по пространственной оси составляет 85.3%, а по временной – 50.3%. Иначе говоря, скорость накопления минеральной пыли больше зависит от географического положения территории (близость к источнику), чем от изменчивости климатических условий во времени. Однако вли-

Таблица 3. Средние темпы осадконакопления (в см/1000 лет) для лёссовых и палеопочвенных горизонтов, соответствующих основным климатостратиграфическим подразделениям верхнего плейстоцена и голоцена

Индекс горной выработки	Голоценовая почва/МИС 1	Алтыново-деснинский лёсс/МИС 2	Брянская палеопочва/МИС 3	Хотылёвский лёсс/МИС 4	Мезинский педокомплекс/МИС 5	Салынская палеопочва/МИС 5e
Ys	5.7	6.7	3.0	4.1	3.5	6.7
An	5.7	7.7	5.0	4.3	4.6	4.7
Sb	8.6	10.7	3.6	10.0	7.6	11.3
Pm	5.7	26.7	8.6	14.3	7.8	8.0
Ot	11.4	53.3	10.0	23.6	11.9	14.7
Bg	7.5	9.7	7.1	7.9	5.3	5.3
V4	5.7	10.0	2.3	6.4	2.2	5.3
V8	6.4	6.7	3.2	3.6	4.0	4.7
C3	6.4	6.7	3.2	2.9	3.2	4.0
UL	10.7	18.0	10.7	6.4	6.1	10.7
Nk	6.4	9.3	5.7	6.4	4.4	6.0
Chk	6.4	5.3	3.9	2.1	3.1	4.7
MI	5.0	7.3	5.0	6.4	3.2	5.3
Sm	7.1	8.0	4.6	3.6	3.4	4.7
VI	14.3	26.7	12.5	10.7	14.4	13.3
Np	10.7	16.7	8.9	7.1	8.5	10.0
Bd	14.3	73.3	21.4	35.7	15.3	—
Dv	10.7	23.3	8.9	10.7	7.6	8.3
St	17.9	83.3	28.6	71.4	—	—
Pt	9.3	11.3	7.9	11.4	7.1	6.7
P	10.0	28.0	8.6	10.7	8.8	11.3
Kz	5.7	14.7	11.4	5.0	6.1	7.3
Mh	9.3	23.3	17.9	14.3	6.8	10.0
Tm	13.6	26.7	5.7	—	—	—
SA	—	—	—	32.1	5.3	3.3

яние изменчивости климатических условий на темпы осадконакопления заметно выше, чем влияние этого фактора на содержание песка. Таким образом, темпы осадконакопления, вероятно, лучше отражают климатическую изменчивость, чем песчаный индикатор.

Максимальная пространственная неоднородность (контраст) по скорости осадконакопления достигался в МИС 2 и МИС 4 – стандартные отклонения составляют 20.7 и 15.2 см/1000 лет соответственно. Минимальная неоднородность про-

слеживается в МИС 5e (стандартное отклонение – 3.2 см/1000 лет) и МИС 1 (3.5 см/1000 лет). Таким образом, в криохроны значительно возрастал пространственный контраст темпов осадконакопления по сравнению с термохронами.

ФАКТОРЫ, ИСТОЧНИКИ И НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА МИНЕРАЛЬНОЙ ПЫЛИ

Проведённый анализ показывает, что главным фактором вариации содержания песка и темпов

осадконакопления в ЛПС Предкавказья на протяжении всего позднего плейстоцена и голоцена оставалось географическое положение. Области распространения песчаных и супесчаных отложений, привязаны к долинам крупнейших рек региона (Терек, Кума, Волга, Дон, Кубань). Участки лёссового покрова, расположенные вблизи этих областей, отличаются повышенным содержанием песчаной фракции и повышенными скоростями лёссонакопления. Всё это указывает на то, что нижние звенья крупных флювиальных систем являются основными источниками минеральной пыли в регионе, то есть областями сноса или питающими провинциями.

Среди всех источников резко выделяется Прикаспийская низменность с огромными по площади массивами аллювиальных песков и супесей Терека, Кумы и Волги. Древние дельты и палеоруслу этих рек стали территориями развития эолового рельефа — дюнных полей и грядовых песков [9]. Лёссы Терско-Кумской низменности, примыкающие непосредственно к юго-западной окраине Прикаспийской низменности, отличаются экстремально высокими показателями мощности и содержания песка. Причём эти показатели убывают в западном направлении, по мере удаления от источника [36]. Этот главный тренд в лёссах Предкавказья, направленный с востока на запад, отчётливо прослеживается для всех хроносрезов (табл. 3). Наблюдения за современными пылевыми бурями показывают, что Прикаспийская низменность и сегодня остаётся основным источником минеральной пыли в Предкавказье [9, 22].

Лёссовые ареалы, примыкающие к долинам Дона и Кубани, выделяются на общем фоне высоким содержанием песка и несколько повышенными мощностями. Заметное влияние этих рек на состав и мощность лёссового покрова распространяется на первые десятки километров от речных долин, не превышая 50 км. Эти особенности указывают на то, что донская и кубанская питающие провинции имеют важное, но второстепенное для региона значение с точки зрения объёмов продуцируемой минеральной пыли. Их влияние лишь немного искажает главный региональный тренд — перенос с востока на запад. Относительно небольшой вклад этих источников показывает, что объёмы сноса минеральной пыли тесно связаны с площадями слабозакреплённых песчаных и супесчаных грунтов, содержащих мобилизованный для дефляции материал.

Важными факторами, влияющими на объём и состав аккумулируемой минеральной пыли, являются направление и сила приземного ветра. В современных климатических условиях для западного Прикаспия характерно преобладание ветров восточных румбов, особенно в холодный

сезон. Сочетаясь с осенними и весенними засухами, сильные восточные ветры провоцируют мощные пылевые бури, переносящие минеральную пыль далеко на запад вплоть до Азовского моря [9, 22]. Как показывают результаты численного моделирования, общая схема атмосферной циркуляции в регионе принципиально не менялась на протяжении последних 130 тыс. лет. Однако скорость ветров восточных румбов в эпоху последнего ледникового максимума (ПЛМ, ~21 тыс. л.н.) была, согласно модели INM-CM48, несколько выше современной. Это согласуется с наблюдаемым экстремумом содержания песка в лёссах Терско-Кумской низменности, относимых к МИС 2.

По данным эксперимента на модели INM-CM48, в эпоху последнего ледникового максимума в Прикаспии и Средней Азии нарастали засушливость климата и площадь источников минеральной пыли. Наши результаты свидетельствуют, что максимальные темпы осадконакопления практически во всех колонках приходились как раз на МИС 2. Особенно ярко это проявилось в лёссах Терско-Кумской низменности, где темпы осадконакопления выросли в 3–6 раз по сравнению с предыдущей эпохой. Для МИС 2 характерен также наивысший контраст условий между востоком и западом Предкавказья среди всех рассматриваемых этапов. Минимальные темпы осадконакопления, по нашим данным, пришлись на межледниковые этапы (МИС 1 и МИС 5), которым отвечают относительно тёплые и влажные климатические условия [18, 37]. Содержание песка хотя и согласуется с общим ходом изменений темпов осадконакопления, но значительно слабее реагирует на изменчивость условий во времени. Таким образом, усиление засушливости климата можно принять в качестве главного фактора, определяющего изменение средних темпов аккумуляции пыли во времени. Засушливость прямо влияет на изменение площадей активных источников, а, следовательно, на общие объёмы транспорта и аккумуляции минеральной пыли.

Изменение уровня морских бассейнов могло сильно влиять на площади источников минеральной пыли в Предкавказье. Так глубокая ательская регрессия в МИС 3–4 [38], вероятно, привела к существенному увеличению площади источников в Прикаспии. Возможно, что именно наложение двух факторов (засушливого климата и низкого уровня моря) в конце МИС 3 — начале МИС 2 привело к экстремально высоким скоростям накопления минеральной пыли в Терско-Кумской низменности. А крупнейшая хвалынская трансгрессия в конце МИС 2 — начале МИС 1 [28], наоборот, могла существенно сократить площади источников, снизив продукцию пыли. Колебания уровня Черноморского бассейна также, вероятно, сказались на площади источников. Так, высо-

кое содержание песка в лёссах Нижнего Прикубанья (точка UL) в МИС 4 и МИС 2 может быть связано с чередой глубоких регрессий Чёрного моря – посткарантагской и новоэвксинской [39]. В результате регрессии моря в низовьях Кубани была осушена обширная аллювиальная равнина и сформированы молодые террасы, что резко увеличило площадь локальных источников минеральной пыли.

* * *

Подводя итоги анализа процессов лёссонакопления на юге Европейской России, можно сформулировать следующие выводы.

1. Доминирующим источником минеральной пыли для территории Предкавказья на протяжении последних 130 тыс. лет была и остаётся Прикаспийская низменность. Массивы песчаных и супесчаных отложений, сформированные аллювием Терека, Кумы и Волги, в условиях аридного климата развеиваются сильными восточными ветрами, и массы минеральной пыли переносятся далеко на запад вплоть до Азовского моря. Содержание песчаной фракции в лёссах и средние скорости лёссонакопления закономерно уменьшаются с востока на запад – от Терско-Кумской низменности до Приазовья.

2. Террасы и аллювиальные приустьевые равнины Дона и Кубани являются второстепенными источниками минеральной пыли, увеличивая содержание песчаной фракции в лёссах и темпы лёссонакопления на прилегающих к долинам территориях.

3. Засушливость климата – главный фактор, изменявший темпы лёссонакопления в Предкавказье на протяжении позднего плейстоцена и голоцена. Рост аридизации в криохроны провоцировал расширение площади источников пыли за счёт деградации растительного покрова и иссушения субстрата. Увеличение объёмов продукции минеральной пыли в областях дефляции влекло за собой повышение темпов осадконакопления в областях аккумуляции. В криохроны МИС 4 и МИС 2 средние темпы лёссонакопления в 1.5 и 2.5 раза соответственно превышали средние темпы, установленные для термохронов (МИС 5, МИС 3 и МИС 1).

4. В лёссовых горизонтах, отвечающих криохронам (МИС 4 и МИС 2), содержание песка в среднем в 1.3 раза выше, чем в почвах термохронов (МИС 5, МИС 3 и МИС 1). Увеличение доли песчаной фракции в криохроны объясняется расширением площади источников минеральной пыли и небольшим ростом скоростей приземного ветра. Согласно модельным расчётам, общая схема атмосферной циркуляции в криохроны не изменялась.

5. Колебание уровня Каспийского и Азово-Черноморского морских бассейнов в позднем плейстоцене и голоцене оказывало существенное влияние на изменение площади источников минеральной пыли и, как следствие, на темпы лёссонакопления в областях аккумуляции.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование строения, состава и возраста лёссовых отложений Предкавказья выполнено при поддержке проекта РНФ 21-77-10104. Исследование распространения эоловых песков выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990092-1 (FMWS-2019-0008).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Pye K.* The nature, origin and accumulation of loess // *Quaternary Science Reviews*. 1995. V. 14 (7–8). P. 653–667.
2. *Muhs D.R.* The geologic records of dust in the Quaternary // *Aeolian Research*. 2013. V. 9. P. 3–48.
3. *Li Y., Shi W., Aydin A. et al.* Loess genesis and worldwide distribution // *Earth-Science Reviews*. 2020. V. 201. P. 102947.
4. *Балаев Л.Г., Царёв П.В.* Лёссовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. М.: Наука, 1964.
5. *Haase D., Fink J., Haase G. et al.* Loess in Europe – its spatial distribution based on a European Loess Map, scale 1:2.500.000 // *Quaternary Science Review*. 2007. V. 26 (9–10). P. 1301–1312.
6. *Astakhov V., Pestova L., Shkatova V.* Loessoids of Russia: Varieties and distribution // *Quaternary International*. 2021 (In Press). <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.01.005>
7. *Velichko A.A., Morozova T.D., Borisova O.K. et al.* Development of the steppe zone in southern Russia based on the reconstruction from the loess-soil formation in the Don-Azov Region // *Doklady Earth Sciences*. 2012. V. 445 (2). P. 999–1002.
8. Опорные инженерно-геологические разрезы лёссовых пород Северной Евразии: монография / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Книжный дом “Университет”, 2008.
9. *Федорович Б.А.* Вопросы происхождения лёсса в связи с условиями его распространения в Евразии // *Труды Ин-та геогр. АН СССР*. 1960. Т. 80. С. 96–117.
10. *Rozyski S.Z.* Loess and Loess-Like Deposits. Wrocław: Ossolineum: Polish Academy of Sciences, 1991.
11. *Költringer C., Stevens T., Lindner M. et al.* Quaternary sediment sources and loess transport pathways in the Black Sea – Caspian Sea region identified by detrital zircon U-Pb geochronology // *Global and Planetary Change*. 2022. V. 209. 103736. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2022.103736>
12. *Болховская Н.С.* Эволюция лёссово-почвенной формации Северной Евразии. М.: Изд-во МГУ, 1995.

13. Porter C. Chinese loess record of monsoon climate during the last glacial-interglacial cycle // *Earth-Science Review*. 2001. V. 54 (1–3). P. 115–128.
14. Smith G.D. Illinois loess – Variations in its properties and distribution // *Illinois Agricultural Experiment Station Bulletin*. 1942. V. 490. P. 139–184.
15. Frechen M., Oches E.A., Kohfeld K.E. Loess in Europe – mass accumulation rates during the Last Glacial Period // *Quaternary Science Review*. 2003. V. 22 (18–19). P. 1835–1857.
16. Pye K. *Aeolian Dust and Dust Deposit*. London: Academic Press, 1987.
17. Konstantinov E.A., Velichko A.A., Kurbanov R.N. et al. Middle to Late Pleistocene topography evolution of the North-Eastern Azov region // *Quaternary International*. 2018. V. 465. P. 72–84.
18. Величко А.А., Борисова О.К., Захаров А.Л. и др. Смена ландшафтных обстановок на юге Русской равнины в позднем плейстоцене по результатам исследования лёссово-почвенной серии Приазовья // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2017а. №1. С. 74–83.
19. Величко А.А., Янг Т., Алексеев А.О. и др. Сравнительный анализ изменений условий осадконакопления за последний межледниково-ледниковый макроцикл в лёссовых областях юга Восточно-Европейской равнины (Приазовье) и центрального Китая (Лёссовое плато) // *Геоморфология*. 2017б. № 1. С. 3–18.
20. Chen J., Yang T., Matishov G.G. et al. A luminescence dating study of loess deposits from the Beglitsa section in the Sea of Azov, Russia // *Quaternary International*. 2018а. V. 478. P. 27–37.
21. Chen J., Yang T., Matishov G.G. et al. Luminescence chronology and age model application for the upper part of the Chumbur-Kosa loess sequence in the Sea of Azov, Russia // *Journal of Mountain Science*. 2018b. V. 15. P. 504–518.
22. Mazneva E., Konstantinov E., Zakharov A. et al. Middle and Late Pleistocene loess of the Western Ciscaucasia: Stratigraphy, lithology and composition // *Quaternary International*. 2021. V. 590. P. 146–163.
23. Сычёв Н.В., Константинов Е.А., Захаров А.Л. и др. Новые данные по геохронологии верхнечетвертичных лёссов Терско-Кумской низменности // *Литология и полезные ископаемые*. 2022 (в печати).
24. Lisiecki L.E., Raymo M.E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // *Paleoceanography*. 2005. V. 20 (2). PA1003.
25. Stevens T., Buylaert J.P., Thiel C. et al. Ice-volume-forced erosion of the Chinese Loess Plateau global Quaternary stratotype site // *Nature communications*. 2018. V. 9 (1). P. 1–12.
26. Захаров А.Л., Константинов Е.А. Строение крупных западин лёссовых междуречий восточного Приазовья (на примере Червоной Пади) // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2019. № 4. С. 85–96.
27. Константинов Е.А. Эволюция рельефа Северо-Восточного Приазовья в плейстоцене: по материалам изучения лёссово-почвенной формации. Автореф. дис. канд. геогр. наук. М., 2013.
28. Kurbanov R., Murray A., Thompson W. et al. First reliable chronology for the Early Khvalynian Caspian Sea transgression in the Lower Volga River valley // *Boreas*. 2021. V. 50 (1). P. 134–146.
29. Карта четвертичных образований. Масштаб 1:1000000. Первое издание. Лист L (3637). “ВСЕГЕИ”, “Госгеолкарта СССР”. 1986.
30. Карта четвертичных образований. Масштаб 1: 1000000. Первое издание. Лист L (3738). М.: ВСЕГЕИ, МПР РФ, Аэрогеология, 2000.
31. Карта четвертичных образований. Масштаб 1: 1000000. Первое издание. Лист L (3839). М.: ВСЕГЕИ, Роскомнедра, Аэрогеология, 1993.
32. Карта четвертичных образований. Масштаб 1: 1000000. Первое издание. Лист М (38)39. М.: ВСЕГЕИ, Госгеолкарта, 1988.
33. Карта четвертичных образований. Масштаб 1: 1000000. Первое издание. Лист М (37)38. М.: ВСЕГЕИ, МПР РФ, Аэрогеология, 2001.
34. Сафронов И.Н. *Геоморфология Северного Кавказа и Нижнего Дона*. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1987.
35. Svitoch A.A., Makshaev R.R. Incompleteness of the geological record in Middle-Upper Pleistocene key sections of the Northern Caspian Lowland // *Quaternary International*. 2020. V. 540. P. 78–96.
36. Константинов Е.А., Мазнева Е.А., Сычёв Н.В. и др. Закономерности пространственной изменчивости позднеплейстоценовых и голоценовых лёссов Предкавказья // *География и природные ресурсы*. 2020. № 3. С. 98–107.
37. Velichko A.A., Catto N.R., Kononov M.Y. et al. Progressively cooler, drier interglacials in southern Russia through the Quaternary: Evidence from the Sea of Azov region // *Quaternary International*. 2009. V. 198 (1–2). P. 204–219.
38. Yanina T., Bolikhovskaya N., Sorokin V. et al. Paleogeography of the Atelian regression in the Caspian Sea (based on drilling data) // *Quaternary International*. 2021. V. 590. P. 73–84.
39. Yanina T.A. The Ponto-Caspian region: environmental consequences of climate change during the Late Pleistocene // *Quaternary International*. 2014. V. 345. P. 88–99.

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ИНСТИТУТА ГЕОГРАФИИ РАН

© 2022 г. Н. И. Коронкевич^{a,*}, Е. А. Барабанова^{a,**}, А. Г. Георгиади^{a,***}, С. В. Долгов^{a,****},
И. С. Зайцева^{a,*****}, Е. А. Кашутина^{a,*****}, И. П. Милюкова^{a,*****},
Т. С. Фролова^{a,*****}, С. И. Шапоренко^{a,*****}

^aИнститут географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: koronkevich@igras.ru

**E-mail: barabanova@igras.ru

***E-mail: georgiadi@igras.ru

****E-mail: dolgov@igras.ru

*****E-mail: zaitseva@igras.ru

*****E-mail: kashutina@igras.ru

*****E-mail: milukova@igras.ru

*****E-mail: bibikova.t@igras.ru

*****E-mail: shaporenko@igras.ru

Поступила в редакцию 26.01.2022 г.

После доработки 04.02.2022 г.

Принята к публикации 07.02.2022 г.

В статье рассматривается сущность географического направления как одного из основных в научной гидрологии на протяжении более трёх веков её развития. Отмечается, что достигнутый уровень знаний в этой области — плод усилий многих поколений отечественных и зарубежных гидрологов, подчеркнут особый вклад члена-корреспондента АН СССР В.Г. Глушкова, которому принадлежит сама идея географо-гидрологического метода, и его ученика доктора географических наук М.И. Львовича — основателя научной школы в Институте географии АН СССР. Особое внимание уделено современному состоянию работ по данному направлению в Институте географии РАН, представлены результаты исследований последних лет.

Ключевые слова: гидрология, географическое направление, Институт географии, ландшафтные исследования, южная часть Русской равнины, поверхностный склоновый сток, диффузное загрязнение, ансамблевые сценарии, Волга, Дон, БРИКС, водопотребление, качество вод, Водный кодекс, понятийный аппарат.

DOI: 10.31857/S086958732206007X

Географическое направление в гидрологических исследованиях предполагает прежде всего выявление особенностей и закономерностей пространственного и пространственно-временного

распределения гидрологических характеристик. Рассмотрению его сути посвящено немало публикаций, например [1, 2]. Отмечается, что это направление объединяет большое количество част-

КОРОНКЕВИЧ Николай Иванович — доктор географических наук, главный научный сотрудник ИГ РАН. БАРАБАНОВА Елена Алексеевна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. ГЕОРГИАДИ Александр Георгиевич — кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. ДОЛГОВ Сергей Владимирович — кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. ЗАЙЦЕВА Ирина Сергеевна — кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. КАШУТИНА Екатерина Александровна — кандидат географических наук, и.о. зав. лабораторией, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. МИЛЮКОВА Ирина Павловна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. ФРОЛОВА Татьяна Сергеевна — кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. ШАПОРЕНКО Сергей Иванович — кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН.

ных областей гидрологии — ландшафтную, антропогенную, глобальную и др. Как и географии в целом, географическому направлению в гидрологии присуща комплексность, предполагающая рассмотрение связей гидросферы с другими компонентами природной среды — атмосферой, рельефом, геологическим строением, биотой, а также с деятельностью человека.

Один из основных методов исследования — сравнительно-географический, при этом широко используются балансовые подходы. Учитывая неравномерную изученность различных территорий и временных периодов с позиций гидрологии, приходится прибегать и к косвенным географическим показателям, методу аналогий. Всё активней применяются методы математической статистики, геофизические, физико-математическое моделирование.

Выдающийся вклад в развитие географического направления в гидрологии внёс член-корреспондент АН СССР, академик ВАСХНИЛ В.Г. Глушков. С 1922 по 1936 г. он руководил Государственным (до 1926 г. Российским) гидрологическим институтом (ГГИ). В 1930-х годах В.Г. Глушковым была разработана идея географо-гидрологического метода, который позволяет на основе географической аналогии рассчитывать гидрологические характеристики территорий даже при отсутствии исходных данных.

В последние десятилетия географическое направление в гидрологии развивалось усилиями научных коллективов Государственного гидрологического института, входящего в структуру Росгидромета, институтов Российской академии наук: Института водных проблем, Института географии (Москва), Института озераведения (Санкт-Петербург), Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (Иркутск), Института водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул), кафедр гидрологии Московского, Воронежского, Пермского и ряда других государственных университетов. За рубежом в числе продуктивно работавших в этой области исследователей упомянем М. Парде (Франция) и Г. Уайта (США).

В Институте географии АН СССР географо-гидрологическое направление получило импульс к развитию с назначением в 1960 г. руководителем отдела гидрологии доктора географических наук М.И. Львовича. Большую известность получили его книги [3, 4], а также написанные совместно с учениками [5, 6]. Ряд публикаций был подготовлен учениками М.И. Львовича — А.М. Грином, А.В. Беляевым, А.Г. Георгиади, Н.Н. Дрейер, Г.М. Карасик, Н.И. Коронкевичем, Г.М. Николаевой, И.Д. Цигельной, Г.М. Черногаевой, Е.П. Чернышовым. Значительный вклад в развитие географического направления в гидрологии внесли и работавшие в Институте геогра-

фии С.Л. Вендров, П.Ф. Идзон, В.Е. Иогансон, Н.Т. Кузнецов, Л.К. Малик и ряд других исследователей.

Идеи географического направления в гидрологии, заложенные в 1960–1980 годах, легли в основу последующих работ, результаты которых нашли отражение в сборниках и монографиях не только сотрудников Института географии (ИГ) РАН, но и других научных организаций [1, 2, 7–11]. Большое число статей в академических журналах (“Вестник РАН”, “Водные ресурсы”, “Известия РАН” и др.) подготовлено сотрудниками лаборатории гидрологии ИГ РАН. Из работ, выполненных в других подразделениях института, в первую очередь следует назвать удостоенный в 2001 г. Государственной премии РФ в области науки и техники “Атлас снежных и ледовых ресурсов мира” [12] под редакцией академика РАН В.М. Котлякова, в котором значительное внимание уделено ледниковому стоку.

Самые последние работы, выполненные в лаборатории гидрологии ИГ РАН, представлены ниже¹.

Ландшафтно-гидрологические исследования в южной части Русской равнины. В их основу положены идеи о полиструктуре водного баланса территории [13, 14], опирающиеся на данные о речном стоке, собранные Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, результаты наблюдений на воднобалансовых станциях (в этих наблюдениях, наряду с Росгидрометом, Институтом географии РАН, Волгоградским федеральным научным центром агроэкологии РАН, участвовали сотрудники других организаций), статистические сведения о динамике структуры сельскохозяйственных угодий, а также результаты выполненных сотрудниками ИГ РАН полевых исследований диффузного загрязнения водных объектов в последние годы.

Ландшафтно-гидрологические изменения в бассейне Дона. Анализ структуры сельскохозяйственных угодий и стока с них (по данным воднобалансовых станций) показал, что в бассейне Дона, занимающего значительную часть южной половины Русской равнины, с течением времени происходили существенные изменения в условиях

¹ Введение и заключение данной статьи подготовлено Е.А. Кашутиной, Н.И. Коронкевичем, Е.А. Барабановой; раздел “Ландшафтно-гидрологические исследования в южной части Русской равнины” — С.В. Долговым, Н.И. Коронкевичем; “Ансамблевые сценарии изменений речного стока, обусловленные глобальным потеплением и социально-экономическими изменениями” — А.Г. Георгиади, И.П. Милуковой, Н.И. Коронкевичем, Е.А. Барабановой; “Антропогенные воздействия на речной сток и качество вод в странах БРИКС в сравнении с мировыми показателями” — Т.С. Фроловой, Н.И. Коронкевичем, Е.А. Барабановой, И.С. Зайцевой; “География в понятийной основе водного законодательства и некоторых нормативных актах” — С.И. Шапоренко.

формирования стока. Вначале они были связаны в основном с заменой весенней вспашки под яровые культуры зяблевой (осенней) пахотой, которая из-за того, что почва к началу весеннего половодья оказывалась разрыхлённой, заметно снижала поверхностный склоновый сток, что приводило и к уменьшению полного речного стока, правда, в меньших масштабах. К 1980-м годам площадь зяблевой пахоты составляла до 50% всей площади бассейна Дона. Поверхностный сток на участках, распаханых под зябь, снижался в 1.5 и более раз в лесостепной зоне, в 4–5 раз – в степной по сравнению с полями, не распаханными с осени (озимые, стерня, залежь, пастбища), что привело к общему уменьшению годового стока Дона на 10–12%. Затем площадь зяби стала сокращаться, в основном в связи с заменой яровых культур более урожайными озимыми и составила в последние годы в среднем 36.5%. При этом площадь угодий с уплотнённой к весне почвой возросла до 40.9%. Территория урбанизированных участков составила 3.6%. Мало изменилась площадь лесов на склонах (3.1%). На гидрографическую сеть, относительно мало затронутую хозяйственной деятельностью, приходится 16% всей территории водосбора.

Современная антропогенная трансформация ландшафтов должна была бы вызвать увеличение поверхностного склонового стока, однако этого не произошло. Возобладала другая тенденция – снижение стока вследствие роста температуры воздуха. Вклад климатической составляющей в произошедшие суммарные изменения стока (он варьируется от 75 до 85%) значительно выше антропогенной составляющей. Главным фактором сокращения стока стал рост температуры воздуха в холодный период года, что привело к уменьшению глубины промерзания почвогрунтов, учащению оттепелей, росту инфильтрации и сокращению поверхностного склонового стока, вплоть до его отсутствия в отдельные годы.

В последние годы весенний сток со склонов, участвующий в речном стоке, составлял для бассейна Дона в среднем 8.6 мм, в том числе с полей, не распаханых с осени, 4.4, с зяби – 1.7, с урбанизированных площадей – 2.5 мм. Под лесом сток практически отсутствует.

В рассчитанной за период 1978–2013 гг. величине стока половодья в бассейне Дона (27.6 мм) на суммарный с разных угодий поверхностный склоновый сток (8.6 мм) приходилось 31.2%, с площади гидрографической сети (11.9 мм) – 43.1%, на подземный сток (7.1 мм) – 25.7%. По сравнению с предшествующими годами существенно возросла доля стока с гидрографической сети и подземного стока.

Весьма заметные изменения произошли не только в весеннем стоке с речных водосборов, но

и в годовом стоке. Оценка его изменений выполнена на примере водосбора реки Девицы (площадь 1490 км²), репрезентативного для большей части донского бассейна. Характерной особенностью формирования годового речного стока здесь стало значительное сокращение его поверхностной составляющей (на 75% по сравнению с нормой, исчисляемой на начало 1960-х годов) и увеличение подземной составляющей (на 30%). Годовой сток р. Девицы сократился почти на 35%. Доля подземного стока в полном годовом стоке возросла с 39 до 77%.

Диффузный сток биогенных веществ на территории Курской области. Расчёты показали, что антропогенное поступление биогенных веществ на водосбор является основным. В среднем для Курской области суммарное поступление минерального азота составило 4686 кг/км², а минерального фосфора – 2188 кг/км². Из этого количества на минеральные удобрения приходится соответственно 3021 и 1510 кг/км², на животноводство – 1300 и 530, органические удобрения (солома, пожнивные остатки, навоз, сидераты и др.) – 263 и 132 кг/км². Суммарное природное поступление минерального азота достигает 2166, а минерального фосфора – 111 кг/км², то есть 31 и 5% общего. Больше всего азота поступает на водосбор за счёт его биофиксации на посевной площади (700 кг/км²), атмосферных осадков (641 кг/км²), лесного растительного опада (443 кг/км²), опада на лугах, пастбищах и заброшенных сельскохозяйственных полях (243 кг/км²). В притоке фосфора преобладает лесной растительный опад (67 кг/км²), опад на лугах, пастбищах и заброшенных полях (27 кг/км²), атмосферные осадки дают 13 кг/км².

Годовой вынос азота с речных водосборов составляет в среднем для территории Курской области 124 кг/км², фосфора – 13 кг/км². Доля подземной составляющей в выносе азота с суммарным годовым стоком преобладает, достигая 60% (фосфора – 50%). Вынос биогенных веществ с поверхностной составляющей стока максимален в половодье, когда азота выносятся более 80%, а фосфора 65% годовой величины. Важно, что диффузный вынос биогенных веществ в водные объекты в 2008–2016 гг. составил 75–95% их общего выноса со сточными водами.

Для более детальной оценки гидрологической и гидрохимической роли изменений климата, а также хозяйственной деятельности чрезвычайно важно реанимировать сеть воднобалансовых станций с учётом обновлённой методической основы.

Ансамблевые сценарии изменений речного стока, обусловленные глобальным потеплением и социально-экономическими процессами. Происходя-



Рис. 1. Принципиальная схема ансамблевой оценки сценарных изменений речного стока

щие в последние десятилетия значительные сдвиги климатических условий и трансформация хозяйственного комплекса привели к заметным, зачастую негативным, изменениям речного стока в крупнейших речных бассейнах России. Именно поэтому всё больше внимания уделяется исследованию закономерностей наблюдавшейся динамики стока и её предположительной оценке в среднесрочной перспективе.

Разработанный нами подход к ансамблевому долгосрочному сценарному прогнозированию изменений ресурсов стока в крупных речных бассейнах России схематично представлен на рисунке 1. В его основе:

- модель месячного водного баланса, разработанная в Институте географии РАН специально для оценки гидрологических последствий ожидаемых глобальных климатических изменений в крупных речных бассейнах [15 и др.];
- метод сценарных оценок будущей трансформации водохозяйственного комплекса, который включает в себя несколько блоков [4, 13];
- имеющийся опыт сценарных оценок на среднесрочную перспективу.

Выполненные нами сценарные оценки, в том числе по Волге и Дону, представлены в работах [9, 10, 16]. Уточнённые сценарии возможного в будущем изменения стока этих рек рассмотрим ниже (рис. 2).

Сценарные климатические изменения речного стока Волги и Дона. Если судить по результатам сравнения сценариев изменения средней глобальной годовой температуры воздуха [17], полученным Межправительственной группой экспертов по изменению климата в рамках программ СМIPs (Coupled Model Intercomparison Projects – проекты по сопоставлению сценариев, полученных на глобальных климатических моделях) – СМIP3 [18] и СМIP5 (СМIP5), то можно говорить о схожести сценариев для первой трети текущего столетия. Это проявляется и на региональном уровне, в том числе в бассейнах Волги и Дона. В каждой из этих программ для расчётов использованы те из четырёх семейств сценариев, которые характеризуются наиболее (A2 из программы СМIP3 и RCP 8.5 из программы СМIP5) и наименее (B1 – СМIP3, RCP 2.6 – СМIP5) интенсивным ростом средней глобальной годовой температуры воздуха для 2010–2039 гг., условно отнесённым к 2025 г. Такой подход на основе учёта наиболее широкого диапазона возможных климатических изменений обусловлен отсутствием критериев выбора какого-либо одного из четырёх возможных семейств (групп) имеющихся климатических сценариев.

Полученные на основе модели месячного водного баланса и ансамблевых климатических сценариев результаты расчётов показали (см. рис. 2): в первой трети текущего столетия наиболее вероятно, что средний многолетний годовой сток

Дона, независимо от используемого ансамбля контрастных сценариев изменения климата, практически не будет отличаться от его современного условно естественного значения. Оценки максимально возможных изменений среднего многолетнего годового стока Волги в первой трети XXI в. для указанных ансамблей сценариев в целом близки. Возможный рост годового стока этой реки не должен превысить 10% от современного значения, а при реализации сценария В1 его увеличение может составить всего несколько процентов (СМIP3). Вариативность внутригодовой структуры речного стока в ответ на сценарные климатические изменения также весьма различна для бассейнов Волги и Дона. Если на Дону можно ожидать “распластывания” волны половодья (для каждого из рассмотренных сценариев), то на Волге, напротив, в месяц наибольшего стока во время половодья он может возрасти, тогда как сток следующего за ним месяца может снизиться. При этом вероятно, что зимний сток увеличится и на Волге, и на Дону, тогда как летне-осенний сток на Волге может оказаться ниже современного, а на Дону – выше. Сравнение полученных оценок сценарных изменений годового стока Волги с результатами некоторых других расчётов [19] показывает их неплохую сходимость.

Возможные изменения речного стока Волги и Дона под влиянием экономических изменений. Сопоставление сценариев социально-экономического развития и изменения удельного водопотребления даёт следующий диапазон наиболее вероятных изменений стока в сравнении с современным положением (см. рис. 2). Наиболее предпочтителен с водохозяйственной и гидроэкологической точки зрения сценарий умеренного экономического развития и максимальной реализации мер экономии воды, который позволит сохранить состояние водных ресурсов, близкое к современному, при резком улучшении качества воды (если будут предприняты радикальные меры по очистке загрязнённых сточных вод). Улучшению водохозяйственной ситуации на Волге будет способствовать и ожидаемое увеличение её водности под влиянием климатических факторов.

Направления возможного развития подходов к сценарным оценкам изменения речного стока:

- в рамках парадигмы глобального антропогенного потепления речь может идти прежде всего о дальнейшем обосновании диапазона вероятных в будущем наиболее контрастных изменений климатических и социально-экономических условий;
- весьма перспективно развитие подходов к оценке речного стока в геологических условиях – аналогах возможного глобального потепления [10, 20];

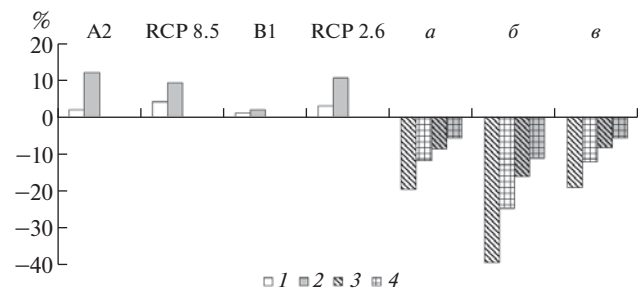


Рис. 2. Современные и возможные в будущем (2025–2030 гг.) водозабор и безвозвратный расход воды в бассейне Волги и Дона, изменение их среднегодового стока при наиболее контрастных сценариях глобального потепления климата, % от современного среднего многолетнего стока

a – современная ситуация; *б* – наиболее благоприятный сценарий экономического развития и сохранения современного удельного водопотребления; *в* – умеренное экономическое развитие при снижении удельного водопотребления;

1 – бассейн Дона; 2 – бассейн Волги; 3 – водозабор; 4 – безвозвратный расход.

• представляется крайне необходимым развитие подходов, основанных на выявленных для периода инструментальных наблюдений долговременных (длительностью 10–15 и более лет) фаз повышенных/пониженных значений стока воды, а также других составляющих геостока, и их использование для сценарных оценок возможных изменений в среднесрочной перспективе [10, 21].

Антропогенные воздействия на речной сток и качество вод в странах БРИКС в сравнении с мировыми показателями. БРИКС – одно из наиболее авторитетных современных международных объединений группы стран – Бразилии, России, Индии, Китая, ЮАР. На эти страны приходится 29% суши земного шара и 42% мирового населения. Экономический успех стран объединения во многом определяется состоянием их водных ресурсов, водного хозяйства.

В таблице 1 представлена природная водообеспеченность стран БРИКС. Величина местного, формируемого на собственной территории, и суммарного (с учётом притока с соседних территорий) стока взята из работы [19]. Подземный сток определён по его соотношению с местным речным стоком (по М.И. Львовичу) [4]. Суммарный сток стран БРИКС не подсчитывался в связи с водообменом между Россией и Китаем и в меньшей степени Китаем и Индией. Как следует из таблицы 1, на местный сток стран БРИКС приходится почти 34% мирового речного стока и 40% подземного, то есть обеспеченность территории стран БРИКС в слое стока в целом выше среднемировой. Фактически же водные ресурсы альянса ещё больше за счёт притока из соседних государств.

Таблица 1. Природная водообеспеченность территории и населения

Страна, регион	Площадь, млн км ²	Население, млн человек	Сток, км ³			Слой стока, мм		Водообеспеченность населения, тыс. м ³ /чел.		
			местный сток	суммарный	подземный	местный	подземный	местный	суммарный	подземный
Бразилия	8.51	209	6220	8128	2057	731	242	29.8	38.9	9.8
Индия	3.28	1353	1436	2037	340	438	104	1.1	1.5	0.3
Китай	9.6	1459	2700	2700	900	281	94	1.9	1.9	0.6
Россия	17.1	146	4053	4275	903	237	53	27.8	29.3	6.2
ЮАР	1.2	58	52	54.5	15	42.6	12	0.9	0.9	0.3
БРИКС	39.7	3225	14461	нет данных	4215	364	106	4.5	нет данных	1.3
Мир в целом	134.74	7597	42780	42780	13094	318	97	5.6	5.6	1.7

Наибольшими водными ресурсами располагают Россия и Бразилия, наименьшими – ЮАР. Вместе с тем по слою местного стока не только ЮАР, но и Китай с Россией уступают среднемировому показателю. Особенно это относится к подземному стоку, который ценен тем, что практически не требует регулирования. В России слой подземного стока почти в 2 раза ниже, чем в мире в целом. Водообеспеченность населения, как следует из той же таблицы, в среднем для стран БРИКС уступает среднемировым значениям за счёт, главным образом, густонаселённых Индии и Китая, тогда как Россия и Бразилия значительно превосходят мировые показатели.

Мы не располагаем самыми последними точными сведениями по полезной ёмкости водохранилищ, но если судить по данным на начало XXI в. [19], они составляли в Бразилии – 272, Индии и Китае – по 223, России – 416, ЮАР – 9.1, стран БРИКС в целом – 1143 км³, то есть почти 30% мирового полезного объёма (3940 км³). Сопоставление полезного объёма с величиной подземного стока свидетельствует о том, что ресурсы наиболее устойчивой составляющей местного стока существенно возросли – в Бразилии на 13%, Китае на 25%, России на 46%, а в Индии и ЮАР более чем на 70%, в среднем для БРИКС на 27%, а в мире в целом на 30%. Для самого последнего времени эти величины требуют уточнения.

Показатели водопотребления представлены в таблице 2. Водозабор в ней дан по базе данных [22] на уровне 2018 г. Безвозвратный расход рассчитан по его доле в водозаборе [19]. Эта доля составляет для Бразилии 0.46, Индии 0.66, Китая 0.52, России 0.24 и ЮАР 0.58, для стран БРИКС в целом 0.58 при 0.52 для всего мира. Без учёта по-

терь воды на дополнительное испарение с акватории водохранилищ на долю стран БРИКС приходится 52% мирового водопотребления. Индия и Китай сосредоточивают 90% водозабора в БРИКС и почти 94% безвозвратного расхода воды.

Из сопоставления водозабора и безвозвратного расхода воды с имеющимися водными ресурсами видно, что водозабор в целом в странах БРИКС составляет сравнительно малую часть ресурсов местного стока, лишь незначительно превышающую мировую. Однако по странам этот показатель существенно различается: эта доля заметно больше в Индии – как по отношению к суммарному, так и особенно к местному стоку. Велика она в Китае и ЮАР. А вот в Бразилии и России используется незначительная часть речного стока. Похожая ситуация складывается и в отношении безвозвратного изъятия воды, только его доля ещё меньше, чем водозабора. Правда, она в целом для стран БРИКС (6%) в 1.5 раза выше мировой (4%).

Объём сточных и возвратных вод в странах БРИКС составляет 32% мирового (см. табл. 2), что существенно меньше доли водозабора из-за более высокого безвозвратного изъятия воды. Здесь, как и по величине водозабора и безвозвратного расхода, лидируют Индия и Китай, но их доля в суммарных показателях стран БРИКС несколько ниже этих показателей – 85%.

Сточные и возвратные воды представляют собой основную угрозу для водных ресурсов, поскольку значительная их часть загрязнена и ухудшает ситуацию в реках и водоёмах. Ориентировочным показателем степени загрязнения водных объектов служит кратность разбавления сточных и возвратных вод речными (табл. 2). Причём мы

Таблица 2. Водозабор, безвозвратный расход и их доля в речном стоке, объём сточных и возвратных вод и кратность их разбавления остаточным речным стоком

Страна, регион	Водозабор, км ³ /год	Безвозвратный расход воды, км ³ /год	Доля водозабора от общего речного стока, %		Доля безвозвратного расхода от общего речного стока, %		Объём сточных и возвратных вод, км ³ /год	Кратность разбавления сточных и возвратных вод остаточным речным стоком	
			местного	суммарного	местного	суммарного		местным	суммарным
Бразилия	64.6	29.7	1	0.8	0.5	0.4	34.9	177	232
Индия	761	502	53	37.4	35	24.6	259	4	6
Китай	598	311	22.1	22.1	11.5	11.5	287	8	8
Россия	64.8	15.6	1.6	1.5	0.4	0.4	49.2	82	87
ЮАР	19.8	11.5	38.1	36.3	22.1	21.1	8.3	5	5
БРИКС	1508	869	10.4	нет данных	6	нет данных	639	21	нет данных
Мир в целом	4026	2094	9.4	9.4	4.9	4.9	1932	21	21

сочли более правильным учитывать это разбавление остаточным стоком, после вычета безвозвратного расхода. Как видно, для стран БРИКС кратность в целом невелика и равна, если иметь в виду местный сток, мировой. Крайне мала кратность разбавления сточных и возвратных вод в Индии, Китае и ЮАР, что косвенно свидетельствует о высоком уровне загрязнения их водных объектов. Вместе с тем в России и особенно в Бразилии эта кратность значительно выше, что, однако, не гарантирует высокого качества воды в реках и водоёмах, о чём свидетельствуют данные непосредственного его определения, например, в России [23]. Конечно, кратность разбавления – весьма ориентировочный показатель степени загрязнения водных объектов, потому что существует ещё и диффузное загрязнение, а также поступление загрязняющих веществ непосредственно на водную поверхность из атмосферы. Важно знать, какая часть сточных и возвратных вод особо загрязнена, какова степень очистки сбрасываемых вод, но это требует специального исследования. В целом же угроза качественного истощения водных ресурсов достаточно очевидна.

Водохозяйственная ситуация очень различается по регионам. Наиболее остра она в самых густонаселённых районах, а в малоосвоенных сравнительно благополучна. Достаточно сравнить горные и равнинные районы Китая и Индии, европейскую и азиатскую части России. На европейскую часть нашей страны, занимающую 23% общей площади РФ и располагающую таким же ресурсом речного стока, приходится 77% водозабора и объёма сточных вод. Кратность их разбав-

ления в азиатской части страны на порядок выше, чем в европейской, и составляет соответственно более 300 и 30 раз.

География в понятийной основе водного законодательства и некоторых нормативных актах. Географо-гидрологические стандарты терминов и понятий служат основаниями для формулировки основных положений Водного кодекса РФ (далее – ВК), последняя редакция которого была принята в 2007 г. Статья 1 этого важнейшего правового документа вводит в водное законодательство такие относящиеся к гидрологии понятия, как акватория, водные ресурсы, водный объект, водный режим, водный фонд, дренажные воды, истощение вод, негативное воздействие вод, охрана водных объектов, речной бассейн (пп. 1, 3–6, 13, 15–18). Остальные пункты статьи образуют понятийную основу водного хозяйства, в научном обосновании развития которого участвует и экономическая география.

Однако набор указанных в ст. 1 ВК понятий недостаточен для обеспечения закона твёрдой понятийной базой. Например, водный объект определяется как водоём, “...постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима” (п. 4, ст. 1). Если учитывать, что под водным режимом понимается “изменение во времени уровня, расхода и объёма воды в водном объекте” (п. 5, ст. 1), определение фактически не распространяется на типичные озёра аридных территорий, которые регулярно пересыхают и упомянутые “характерные формы и признаки” в них отсутствуют.

Развитие гидрологии географического направления и особенно ландшафтной гидрологии может опережать принятие соответствующих новых нормативных документов. Например, до сих пор в законодательно-нормативный оборот робко вводится понятие экосистемных услуг водных объектов, хотя научный подход к их определению начал разрабатываться относительно давно, установлены ориентировочные количественные показатели для их оценки [24, 25]. Акватории получили в науке статус особого типа ландшафтов, имеющих существенное эстетическое значение [26]. Игнорирование этого понятия со стороны законодателей тормозит разработку и внедрение в практику назревших водоохранных ограничений [27].

В статье 5 ВК “подземные” воды законодатели отнесли к области системы законов о недрах, что отодвинуло этот водный объект от географических наук в сторону геологии, привело к неоправданному делению единой водной оболочки Земли, для которой характерно тесное взаимодействие поверхностных и подземных вод, на две сферы с позиций законодательного регулирования водопользования. Из докладов, представленных на Всероссийском водном конгрессе 2019 г., видно, что законодательство по использованию подземных вод движется в сомнительную сторону отмены ограничений не только водопотребления, но и контроля за качеством подземных вод с надуманной мотивацией невозможности его организации из-за недостаточности технических средств [27].

Роль гидрологии географического направления очень важна в решении и более частных нормативных проблем. Укажем некоторые из них.

Вопросы о границах водных объектов (понятие важнейшее в правоустановлении земельных отношений) остаются до конца не решёнными для многочисленной группы уже упоминавшихся пересыхающих водоёмов в областях с засушливым климатом [28]. Использование в качестве границы водного объекта береговой линии, которая определяется “... по среднегодовому уровню вод в период, когда они не покрыты льдом” (п. 4, ст. 5 ВК), теряет смысл, когда от водоёма в жаркое время года остаётся только его чаша. Здесь выходом могло бы стать определение границы таких водоёмов по контурам рельефа – верхней бровке борта чаши (требование учёта морфологических особенностей водного объекта записано в приложении к постановлению Правительства РФ от 29 апреля 2016 г. № 377). Известны случаи распашки и нивелировки самых верхних участков речных русел вблизи истоков при кольматации родников, чему способствуют картографические погрешности при изображении гидрографической сети и игнорирование плохо выраженных в

рельефе речных русел при выделении земельных наделов членам сельскохозяйственных кооперативов, в пределах которых оказались истоки малых рек. При решении задач восстановления природного облика водных объектов гидрография должна опираться на ландшафтно-гидрологические архивные материалы. С маркировкой границ водных объектов перекликаются вопросы установления на местности границ водоохранных и прибрежных защитных полос, прибрежной полосы общего пользования.

Вопросы нормирования антропогенного воздействия на водные объекты не могут быть решены без предварительной географо-гидрологической оценки их водного и гидрохимического режимов, выбора адекватных критериев, учитывающих природные параметры и способность таких объектов к самоочищению. На необходимость перехода водоохранного законодательства от единой для всей страны системы предельно допустимых концентраций к учёту региональных природных фоновых концентраций специалисты обратили внимание сразу после принятия последней редакции ВК [29]. В последнее время принцип нормирования качества вод в водных объектах меняется на более гибкие оценки с ориентацией на наилучшие доступные технологии, косвенным образом учитывающие природные характеристики. Для их выбора ключевое значение имеет ландшафтное окружение с предпочтением мест, удалённых от источников антропогенного загрязнения, где концентрация определяется глобальными и региональными естественно происходящими процессами, а химический режим отвечает гидрологическому длительному времени [30].

Методологическая база ландшафтной гидрологии может служить основой при разработке требований к научному описанию объектов, включаемых в Государственный водный реестр. При этом набор сведений для всех их типов не должен быть единым. В качестве примера можно привести отмеченную выше ситуацию с пересыхающими водоёмами засушливых ландшафтов [28].

С введением платы за водопользование возникли и сохраняются до сих пор большие сложности с внедрением экономического стимулирования охраны водных объектов, прописанного в ВК (п. 15, ст. 3), например, в отношении требуемого перехода предприятий тепловой электроэнергетики на оборотные системы охлаждения теплообменников. Переход недостаточно продуман и подчас приводит к чрезмерным экономическим затратам, сомнителен и его экологический эффект. В частности, недостаточно учитываются, как показывает опыт, например Конаковской ГРЭС, положительные аспекты сброса нагретых сточных вод.

Из приведённого краткого обзора возможностей применения методологии гидрологии географического направления к вопросам водного законодательства следует, что для решения практических задач водопользования и разработки нормативно-правовых документов, регулирующих охрану водных объектов, требуется привлечение не только чиновников и экономистов, но и в первую очередь учёных.

* * *

Перечень последних разработок лаборатории гидрологии Института географии РАН в географо-гидрологической области не исчерпывается представленными в статье. В числе других результатов упомянем палеогидрологические исследования А.Л. Чепалыги; гидроэкологическую оценку современного состояния ряда регионов России, в том числе Центрального федерального округа, выполненную А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевичем, Е.А. Барабановой, С.В. Долговым, С.И. Шапоренко, К.С. Мельником; ландшафтно-гидрологические исследования Е.А. Кашутиной, С.В. Ясинского, М.В. Сидоровой, в том числе по выявлению гидрологической роли диффузного загрязнения рек и водоёмов; оценку влияния мирового водопотребления, а также урбанизации на годовой речной сток и качество вод (Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева, К.С. Мельник); сценарный прогноз влияния антропогенных и климатических факторов на сток европейской части России, основанный на ряде вариантов возможного изменения климата (М.В. Сидорова); выявление экономической эффективности использования водных ресурсов России и её регионов в сравнении с мировыми показателями (С.В. Ясинский, И.С. Зайцева); сравнительную оценку гидроэкологической ситуации в субъектах Российской Федерации (Г.М. Черногаева). Интересные результаты получены также в отделе гляциологии и лаборатории климатологии.

Огромный объём исследований выполнен в последние годы и в других научных организациях России, а также за рубежом. В целом отметим, что одной из основных тенденций географо-гидрологического направления стало ускоренное развитие физико-математического моделирования гидрологических процессов и явлений, прогнозирование возможных гидрологических и гидроэкологических последствий изменения климата и характера хозяйственной деятельности, изыскание наиболее эффективных путей решения водных проблем.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990093-8 (FMGE-2019-0007).

ЛИТЕРАТУРА

1. Географические направления в гидрологии. М.: Наука, 1995.
2. Вопросы географии. Сборник № 133 “Географо-гидрологические исследования” / Под ред. Н.И. Коронкевича, Е.А. Барабановой. М.: Издательский дом “Кодекс”, 2012.
3. *Львович М.И.* Человек и воды: Преобразование водного баланса и речного стока. М.: Географгиз, 1963.
4. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974.
5. Водный баланс СССР и его преобразование / Под ред. М. И. Львовича. М.: Наука, 1969.
6. *Львович М.И., Карасик Г.Я., Братцева Н.П. и др.* Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши земного шара / Результаты исследований по международным геофизическим проектам. М.: Межвед. геофиз. комитет, 1991.
7. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003.
8. Экстремальные гидрологические ситуации / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова, И.С. Зайцева. М.: Медиа-ПРЕСС, 2010.
9. *Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П. и др.* Сценарная оценка вероятных изменений речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 1. Бассейн реки Лены. М.: Макс Пресс, 2011.
10. *Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П. и др.* Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: Макс Пресс, 2014.
11. Вопросы географии. Сборник № 145 “Гидрологические изменения” / Под ред. В.М. Котлякова, Н.И. Коронкевича, Е.А. Барабановой. М.: Издательский дом “Кодекс”, 2018.
12. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Рос. акад. наук, Ин-т географии. М.: Научный мир, 1997.
13. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990.
14. *Долгов С.В., Коронкевич Н.И.* Гидрологическая ярусность равнинной территории // Известия РАН. Серия географическая. 2010. № 1. С. 7–25.
15. *Георгиади А.Г., Милюкова И.П.* Масштабы гидрологических изменений в бассейне реки Волги при антропогенном потеплении климата // Метеорология и гидрология. 2002. № 2. С. 72–79.
16. *Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П. и др.* Современные и сценарные изменения стока Волги и Дона // Водное хозяйство России. 2017. № 3. С. 6–23.
17. *Knutti R., Sedláček J.* Robustness and Uncertainties in the New CMIP5 Climate Model Projections // Nature

- Climate Change. 2012. V. 3(4).
<https://doi.org/10.1038/nclimate1716>
18. Meehl G.A., Covey C., Delworth T. et al. The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research // Bull. Am. Meteorol. Soc. 2007. V. 8. P. 1383–1394.
 19. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008.
 20. Георгиади А.Г., Милукова И.П., Кашутина Е.А. Гидрологические изменения в регионах Русской равнины в тёплые эпохи геологического прошлого и сценарного будущего // Известия РАН. Серия географическая. 2018. № 5. С. 70–80.
 21. Georgiadi A.G., Kashutina E.A., Milyukova I.P. Long-term Changes of Water Flow, Water Temperature and Heat Flux of the Largest Siberian Rivers // Polarforschung. 2018. V. 87 (2). P. 167–176.
 22. FAO: AQUASTAT database www.fao.org/aquastat/en/
 23. Черногаева Г.М., Жадановская Е.А., Журавлёва Л.Р., Малеванова Ю.А. Загрязнение окружающей среды в районах России в начале XXI века. М.: Полиграф-Плюс, 2019.
 24. Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005.
 25. Экосистемные услуги России. Т. 1. Услуги наземных экосистем. Прототип национального доклада / Редакторы-составители Е.Н. Букварёва, Д.Г. Замолотчиков. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2015.
 26. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 2. Биоразнообразие и экосистемные услуги: принципы учёта в России / Сост. Е.Н. Букварёва, ред. Е.Н. Букварёва, Т.В. Свиридова. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2020.
 27. Шапоренко С.И. Всероссийский водный конгресс: желательна корректировка акцентов // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2019. № 11. С. 4–8.
 28. Шапоренко С.И., Абдурашидов А.М. Туралинские озёра: проблемы и решения для пересыхающих лагун. М.: Медиа-Пресс, 2021.
 29. Шапоренко С.И., Леонов А.В., Дерий А.В., Фёдоров В.Д. Противоречия нового Водного кодекса Российской Федерации и вопросы охраны водных объектов // Известия РАН. Серия географическая. 2009. № 1. С. 14–22.
 30. Никаноров А.М., Иваник В.М. Словарь-справочник по гидрохимии и качеству вод суши (понятия и определения). Ростов-на-Дону: Арт-Артель, 2014.

АКТУАЛЬНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ: ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ РИСКОВ И СИСТЕМНОЕ ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

© 2022 г. С. В. Шварев^{a,b,*}, В. Н. Голосов^{a,c,**}, Е. В. Лебедева^{a,***},
Э. А. Лихачёва^{a,****}, С. В. Харченко^{a,c,*****}

^aИнститут географии РАН, Москва, Россия

^bИнститут физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

^cМГУ им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Москва, Россия

*E-mail: shvarev@igras.ru

**E-mail: golosov@igras.ru

***E-mail: e.lebedeva@igras.ru

****E-mail: lihacheva@igras.ru

*****E-mail: harchenko@igras.ru

Поступила в редакцию 07.02.2022 г.

После доработки 20.02.2022 г.

Принята к публикации 10.03.2022 г.

В статье рассматриваются основные направления исследований лаборатории геоморфологии Института географии РАН в условиях глобальных природных и антропогенных вызовов последних десятилетий, в числе которых, с одной стороны, естественные климатические, вулканические, тектонические изменения, а с другой — тотальная трансформация человеком поверхности Земли. Влияние человека на геологическую среду за последние 100 лет достигло уровня, когда следы его деятельности стали геологическим фактором, что дало основание для выделения нового геологического этапа — антропоцена. В геоморфологии меняется парадигма рельефообразования как контрапункта эндогенных и экзогенных процессов: в неё начинает включаться третья составляющая — антропогенная. Сочетание природных и антропогенных причин способствует изменениям режима рельефообразующих процессов, которые всё чаще приобретают катастрофический характер. Вместе с тем благодаря новым методам и данным повышается уровень понимания факторов и механизмов развития этих процессов, расширяются технологические возможности предотвращения или минимизации негативных последствий их проявления. Это определяет актуальные задачи современной геоморфологии, в том числе направлений деятельности лаборатории геоморфологии: разработка и применение новых методов исследования рельефа и рельефообразующих процессов, анализ данных, моделирование и картографирование; изучение глобальных, региональных и локальных тенденций рельефообразования; исследование принципов функционирования и проектирования антропогенно-геоморфологических систем; синтез данных — оценка геоморфологических опасностей и рисков и геоморфологический прогноз.

Ключевые слова: методы геоморфологических исследований, геоморфологическое моделирование, геоморфологическое картографирование, экзогенный морфогенез, эндогенный морфогенез, антропогенный морфогенез.

DOI: 10.31857/S086958732206010X

ШВАРЕВ Сергей Валентинович — кандидат технических наук, заведующий лабораторией геоморфологии ИГ РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории сейсмической опасности ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН. ГОЛОСОВ Валентин Николаевич — доктор географических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, главный научный сотрудник лаборатории геоморфологии ИГ РАН. ЛЕБЕДЕВА Екатерина Владимировна — кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоморфологии ИГ РАН. ЛИХАЧЁВА Эмма Александровна — доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории геоморфологии ИГ РАН. ХАРЧЕНКО Сергей Владимирович — кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры геоморфологии и палеогеографии МГУ им. М.В. Ломоносова, старший научный сотрудник лаборатории геоморфологии ИГ РАН.

Более 100 лет назад началось научное осмысление глобальной роли человека в развитии природы. Зачинателями этого направления стали авторы концепций антропосферы Д.Н. Анучин и ноосферы В.И. Вернадский. В последнее время масштабные последствия деятельности человека связывают с происходящими климатическими изменениями — глобальным потеплением, таянием ледников, деградацией мерзлоты, участвовавшими ураганами, ожидаемым подъёмом уровня океана и пр. На этом фоне пока ещё гипотетического воздействия несколько в тени остаётся активное фактическое влияние деятельности человечества на литосферу, прежде всего на рельеф, являющийся, по сути, условием самого существования человека. Именно геологическая деятельность людей определила ноосферные воззрения В.И. Вернадского, а понятие “техногенез” впервые введено А.Е. Ферсманом для сферы взаимодействия человека с литосферой.

С конца XIX в. резко увеличилось воздействие человека на рельеф и подстилающий субстрат (в современном понимании — на морфолитосистемы). Превышение объёма техногенно перемещённого материала над объёмом естественной денудации в отдельных странах уже в начале этого периода достигло нескольких раз [1]. Во второй половине XX в. объём переработанных горных пород превысил ежегодный сток всех рек на два порядка [2]. Каждый год происходят катастрофы, связанные с активизируемыми человеком естественными рельефообразующими и сопряжёнными с ними процессами: паводки и наводнения, оползни, лавины, сели, рост оврагов, размыв берегов и пр. Антропогенное воздействие не ограничивается триггерным эффектом, но обеспечивает и дополнительные факторы катастроф — наличие искусственного субстрата, потоков вещества и энергии, физических полей. Глобальный уровень антропогенного воздействия определил начало нового геологического периода — *антропоцена*, маркерами которого являются следы ядерных испытаний 1950–1960-х годов в геологических отложениях [3].

О наступлении новой эпохи наряду со стратиграфическими показателями свидетельствует множество других критериев [4]. В науке о рельефе этот этап обозначен формированием нового направления — *антропогенной геоморфологии* [5] и выдвижением новой парадигмы, согласно которой “рельеф есть результат взаимодействия природных эндогенных и экзогенных факторов и факторов жизнедеятельности человека” [6]. Современная геоморфология — это прежде всего наука об эволюционном развитии рельефа, о его преобразовании человеком, о геоморфологических системах [7]. Геоморфология в новых условиях “продолжает развивать свою теорию, активно внедряется в практику, ищет и устанавливает

деловые контакты с другими отраслями знаний, совершенствуются методы геоморфологических исследований, появляются новые ветви и направления геоморфологии, но и в лоне старых, традиционных направлений (структурная и климатическая геоморфология, динамическая, историческая) ещё не полностью всё выяснено” [8, с. 227, 228].

НОВЫЕ ДАННЫЕ, МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ В ГЕОМОРФОЛОГИИ

Принципиальной особенностью развития методов геоморфологии стала возможность получения данных для количественных оценок и построений, охватывающих весь пространственно-временной диапазон, в котором функционируют объекты геоморфологических исследований: от реконструкций рельефообразования на основе глобальных и региональных моделей рельефа до исследования наноформ. Перспективные направления в развитии методов связаны с двумя основными источниками данных о составляющих предмета геоморфологии — рельефе и субстрате, объединяемых понятием “морфолитосистемы”. Во-первых, получение новых детальных данных о форме поверхности, которое обеспечивается бурно развивающимися дистанционными методами: высокоразрешающими космическими изображениями, лазерными, сканерными, радарными, акустическими, ультразвуковыми датчиками, с помощью которых оказалось возможным построение 3D-моделей рельефа, в том числе ранее недоступного глазу, — укрытого густой растительностью или мощной толщей воды в практически любом масштабном диапазоне. Во-вторых, исследование свойств рельефообразующих горных пород и отложений как путём применения новых дистанционных геофизических технологий, так и контактных методов, касающихся свойств субстрата, прежде всего изотопных, позволяющих оценить возраст, объём и скорость осадконакопления, денудации или собственно рельефообразования. Новые данные требуют и новых методов их обработки, математического моделирования и картографического представления.

Космические снимки высокого разрешения. Традиционно важную роль при проведении дистанционных исследований, подготовке рекогносцировочных и собственно полевых работ, а также в камеральной обработке их результатов играют космические снимки. Особый интерес для геоморфологов представляет сравнительно новая технология *радиолокационной интерферометрии* (InSAR, IfSAR), активно развивающаяся с запуском в 2014 г. спутников Sentinel-1 [9]; она позволяет как строить цифровые модели высот на основе фазового сдвига вернувшейся на спутник радиоволны, обусловленного разной абсолютной

высотой отражающей поверхности, так и отслеживать по разновременным радарным изображениям с высокой временной дискретизацией динамику отметок высот на обширных территориях. Данный метод активно используется для мониторинга оползней, просадочных явлений, оценки последствий землетрясений и вулканических извержений и т.д. [10]. При этом предельная точность регистрации изменений высот может достигать половины длины радиоволны, то есть иметь субсантиметровые значения [11]. Обработка долговременных рядов снимков Sentinel-1, а также более ранних и с худшим разрешением (Alos Palsar и др.) позволит выйти на качественно новый уровень составления экзоморфодинамических карт.

Цифровые модели рельефа (ЦМР). Важная часть современных геоморфологических исследований — использование цифровых моделей высот и глубин. Толчком к этому стало появление свободно распространяемых глобальных продуктов — сначала SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), затем Aster GDEM, Alos World 3D. Широкие возможности для работы в арктическом регионе обеспечила модель высот ArcticDEM [12] с детальностью 2 м/пикс. Ранее цифровые модели высот подобной детальности можно было получить только путём фотограмметрической обработки стереопар сверхвысокодетальных космических снимков (с коммерческих аппаратов WorldView, GeoEye, Pleiades и др. с разрешением ≤ 1 м) либо благодаря собственной наземной или воздушной съёмки земной поверхности.

Цифровые модели высот позволяют проводить морфометрический анализ рельефа, извлекать из этих данных как стандартные характеристики (размах высот и их площадное распределение, построение гипсографических кривых, распределение склонов по крутизне и экспозиции и др.), так и решать более узкие задачи — производить имитационное моделирование стока воды и наносов, денудации и аккумуляции [13]. По ЦМР производятся автоматизированные инженерные оценки рельефа [14], поиск оптимальных трасс линейных сооружений по геолого-геоморфологическим критериям и т.д.

Беспилотные летательные аппараты. На методике полевых геоморфологических исследований значительно повлияло широкое распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основное назначение БПЛА в работе геоморфолога — получение цифровых моделей местности и ортофотопланов высокого разрешения, достигающего миллиметров при съёмке с небольшой высоты. Планы используются преимущественно для дешифрирования контуров проявления экзогенных процессов, в то время как цифровые модели местности (ЦММ) предназначаются для морфометрического анализа микро- и нанорельефа. Точная

привязка позволяет производить сопоставление разновременных ЦММ, расчёт объёмов денудации и аккумуляции и интерпретацию изменений в морфологии земной поверхности как следствий различных геоморфологических процессов.

Математическое моделирование. Сейчас наблюдается новый виток роста интереса к математическим методам и моделированию в геоморфологии. Выделяются три основных направления математического моделирования в изучении рельефа: автоматизированное распознавание отдельных форм и комплексов рельефа; моделирование развития земной поверхности во времени (в 2D — по профилю, в 3D — на площади); математическое моделирование механизмов геоморфологических процессов. С первым направлением связан поиск математических индикаторов, сигнатур отдельных форм и целых генетических типов рельефа на ЦМР для целей частичной автоматизации геоморфологического картографирования. Здесь подразумеваются как кластеризация земной поверхности по различным индикаторам, успешно применённая, например, в работах по выделению экзодинамических режимов, так и классификация с обучением. Становится возможным обучить статистическую модель проведению границ, взяв в качестве обучающих данных готовые геоморфологические карты и растровые модели различных морфометрических характеристик рельефа, векторные границы геологических разностей, результаты аэрогеофизической съёмки и пр.

Автоматическое картографирование. Классическое геоморфологическое картографирование — создание карт, отражающих морфологические, генетические, возрастные, динамические или иные свойства рельефа. В то же время акценты в этой сфере смещаются на использование автоматизированных детерминистических или вероятностных алгоритмов. Классификация с обучением позволяет воспроизводить геоморфологические карты, составленные специалистами, с точностью иногда выше 80–90% на сравнительно малых обучающих выборках. К примеру, на Кольском полуострове с использованием данных по 13 типам рельефа лишь для 1.3% территории геоморфологические границы были проведены на всей площади исследования с точностью 90%, кроме того, они были экстраполированы на соседние территории, причём визуальная оценка результата позволяет говорить о высоком качестве полученной автоматически карты [15].

Изотопные методы и оценка динамики наносов. Переход к количественным оценкам темпов перераспределения наносов в пределах речных бассейнов стал во многом возможен благодаря использованию в качестве трассеров радиоизотопов искусственного и естественного происхождения. В первую очередь это радиоцезиевый метод, при-

менение которого, особенно для условий европейской территории России, наиболее продуктивно. Это обусловлено двумя обстоятельствами. Во-первых, на большей части этой территории зафиксированы как выпадения из атмосферы ^{137}Cs глобального происхождения, которые были связаны с проведением ядерных взрывов в открытой атмосфере в период с 1954 по 1963 г., так и с выпадениями ^{137}Cs в апреле–мае 1986 г., последовавшими вслед за аварией на Чернобыльской АЭС. Тем самым для участков аккумуляции наносов (конусов выноса и шлейфов, днищ балок, речных пойм, озёрных котловин и чаш прудов и водохранилищ) при послонном отборе накопившегося материала возникает возможность выявить пики повышенной концентрации ^{137}Cs , которые соответствуют поверхности отложений на момент выпадения ^{137}Cs в 1963 и 1986 гг.

Исследования, проведённые на ряде балочных, преимущественно пахотных водосборов, расположенных в различных ландшафтных зонах южного мегасклона Восточно-Европейской равнины, позволили обнаружить резкое сокращение темпов аккумуляции в период 1986–2018(19) гг. по сравнению с периодом 1963–1986 гг. [16], наиболее значительное на юге лесной зоны [17]. Учитывая отсутствие существенных изменений площади пашни в пределах изученных водосборов, подобное сокращение в большой мере обусловлено снижением талого смыва с пашни в связи с ростом зимних температур воздуха. Анализ изменений концентрации ^{137}Cs во времени после 1986 г. в отложениях низкой поймы по длине р. Упы позволил прийти к заключению, что тренд на снижение вклада бассейновой составляющей в сток наносов реки прослеживался и внутри временного интервала 1986–2018 гг. [18]. В данном случае использовался метод “отпечатка пальцев”, или фотопринтинг (fingerprinting technique), который базируется на использовании набора маркеров, отличающихся друг от друга по своим физическим и/или химическим свойствам для выделения долевого вклада различных источников наносов, участвующих в формировании стока или заиления водоёма. Этот метод включает в себя различение источников отложений и распределение их доли в мелкозернистых отложениях (обычно <63 мкм), переносимых в пределах речных водосборов. Метод требует подбора трассеров, которые различаются в источниках наносов, и использования статистических процедур, что позволяет определить долевым вклад каждого из источников в сток наносов водотока.

ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОБЩЕНИЯ

Получение принципиально новых данных, применение новых методов способствуют развитию аналитических исследований в рамках трёх

направлений современного этапа развития геоморфологии – экзогенного, эндогенного и антропогенного рельефообразования – и получения синтетических оценок, подразумевающих взаимодействие составляющих морфогенеза в комплексных категориях напряжённости, опасности и риска, которые определяют устойчивое развитие человеческого общества во взаимодействии с природой.

Экзогенный морфогенез. Последние десятилетия характеризуются бурным прорывом в количественных оценках как суммарной денудации, так и интенсивности отдельных экзогенных процессов, что связано с совершенствованием традиционных методов и технологий, а также разработкой новых подходов к измерению линейных и объёмных параметров перемещения рыхлообломочного материала. Между тем любое точечное и даже площадное измерение неизбежно имеет ограничения, так как оно характеризует единичный пространственно-временной срез. В этой связи более важным, с точки зрения понимания особенностей преобразования рельефа, является выявление трендов изменений скоростей процессов, а в идеале – их цикличности во времени. Последнее в настоящий момент представляется задачей скорее будущих исследований, так как пока имеются ограниченные во времени ряды наблюдений за процессами денудации и аккумуляции или же их временное разрешение остаётся достаточно грубым. Дополнительные возможности для оценки темпов денудации и трендов их изменений на обширных пространствах даёт использование эрозионных моделей, а также результаты многолетних наблюдений за стоком наносов на гидрологических постах. Процесс водной эрозии на пашне определяет современные темпы денудации равнин умеренного пояса, включая Восточно-Европейскую равнину. Оценки современной интенсивности смыва почв на пашне, выполненные для Европейской территории России для двух временных срезов, позволили выявить отчётливую тенденцию снижения суммарных объёмов перемещённого материала почти вдвое в 2012 г. по сравнению с 1980 г. (см. табл. 1) [19].

Расчётные данные в целом хорошо согласуются с результатами полевых исследований, проводившихся на малых пахотных водосборах, расположенных в различных ландшафтных зонах ЕТР [17 и др.]. Следует учитывать, что около 80–90%, а в лесной зоне и больше, наносов, сформировавшихся за счёт смыва на пашне, переотлагаются внутри водосборов и не поступают в постоянные водотоки. Оценка выноса материала за пределы определённого створа речного бассейна может быть получена по объёмам отложений в водохранилищах. Подобные исследования, проведённые для Щёкинского водохранилища, в котором отлагаются наносы верхнего течения р. Упы (при-

Таблица 1. Расчётные темпы среднегодового смыва почв и суммарные объёмы перемещённых наносов на пахотных землях Европейской территории России за два временных среза (по [19] с модификациями)

Ландшафтные зоны Восточно-Европейской равнины	Среднегодовые темпы эрозии на пашне, мм		Изменения среднегодовых темпов эрозии, %	Суммарные объёмы перемещённых наносов, 10 ³ т		Сокращение суммарных объёмов перемещённых наносов, %
	1980 г.	2012 г.		В 1980 г.	В 2012 г.	
Лесная	6.1	3.4	–44	151 163	37 791	75
Лесостепная	3.4	2.8	–17	136 450	79 277	42
Степная	3.3	3.8	+15	148 618	127 663	14
Всего				436 231	244 731	44

ток р. Оки) позволил оценить слой денудации для данного водосбора за постчернобыльский период, который составил 2.7 мм за 32 года [18], или около 0.08 мм/год. Данную величину следует признать относительно невысокой для этого водосбора со значительной долей пашни, учитывая, что она включает, помимо смыва с пашни, и продукты линейных и русловых размывов. В среднем слой денудации для пахотных чернозёмных почв составляет 0.5 мм/год за весь период интенсивного землепользования, а для ряда регионов (Ростовская область) – и 1.1 мм/год [20].

В горах темпы денудации существенно различаются по высотным зонам. Наиболее активно они протекают в прогляциальной зоне. Так, исследования, проводившиеся на водосборе р. Джанкуат, позволили установить, что средний слой денудации за пятилетний период наблюдений составил не менее 0.43 мм/год [21]. При этом не учитывался объём выноса донных отложений, который, согласно имеющимся представлениям, составляет не менее 20% от суммарного стока наносов. В среднем слой денудации для Большого Кавказа и Закавказья, установленный на основе использования данных по стоку наносов рек, составляет 0.17 мм/год с максимумом 1.55 мм/год [22].

Эндогенный морфогенез. В рамках исследования эндогенной составляющей морфогенеза выделяются проблемы, связанные с вулканогенным и сейсмогенным рельефообразованием как в высшей степени динамичными и опасными для человеческой деятельности процессами.

Вулканогенный морфогенез. Ранее геоморфологические исследования в вулканических регионах были связаны преимущественно с картографированием, а влияние вулканизма на ход экзогенных процессов рельефообразования рассматривалось в основном с точки зрения литологического фактора. В настоящее время геоморфологию привлекает проблема воздействия вулканизма на характер развития всего спектра экзогенных процессов – флювиальных, склоновых, береговых, гляциальных, эоловых и др. В последние годы установлено

много специфических черт рельефообразования, в том числе связанных с формированием и перестройками речной сети: заложение русел рек в пределах потоков и покровов эффузивов за счёт разрушения приповерхностных лавоводов; наличие разновозрастных фрагментов в строении современных долин в результате многочисленных перестроек речной сети при вулканотектонической деятельности; активизация склоновых процессов на участках развития газогидротерм с последующим расширением долин и многие другие [23]. Так как интенсивность эндогенных процессов в вулканически активных регионах высока, то под их влиянием рельеф территории трансформируется весьма быстро и нередко кардинально: изменение топографии измеряется метрами, а в отдельных случаях – и десятками метров в год. Денудация с широким спектром эрозионных и гравитационных склоновых процессов и, как следствие, аккумуляция смещённого материала имеют не только высокие скорости, но и значительные объёмы перемещённого материала, что ведёт к быстрой трансформации исходного рельефа. Это особенно хорошо видно на примере вулканических озёр, которые стремительно – в течение месяцев – могут менять свои формы, объёмы и другие параметры [24].

Речные долины вулканических регионов являются зонами быстрой эндогеннообусловленной аккумуляции ювенильного и резургентного материала в результате эффузивных или эксплозивных извержений, вулканотектонических, газогидротермальных и грязевулканических проявлений [25]. В переработке этого материала активное участие принимают не только флювиальные, но и склоновые, нивальные и эоловые процессы. Одновременно эрозионные врезки представляют собой и пути интенсивного и, как правило, импульсного перемещения вулканического материала, что наиболее часто происходит в результате схода вулканических селей. Нередко извержение провоцирует серию взаимосвязанных и последовательно развивающихся событий – цепочек из

2–3 катастрофических процессов [26]. Наблюдения показывают, что время реализации всех событий в подобных цепочках может достигать нескольких десятилетий.

Для изучения развития экзогенных процессов в условиях активного проявления эндогенной составляющей большое значение наряду с фотограмметрическими построениями и эхолотированием приобретают разновременные 3D-модели рельефа, позволяющие рассчитывать скорости и оценивать масштабы преобразований, нередко на порядок превышающих величины, наблюдаемые в невулканических регионах. Разновременные гипсобатиметрические модели кальдерного комплекса Ксудач на Камчатке дали возможность впервые охарактеризовать его строение в целом, учитывая рельеф участков, занятых озёрами. Установлено, что наиболее активными процессами рельефообразования здесь являются рост подводного вулканического купола в озере Штюбеля (до 1.6 м/год) и активный вынос пемзового материала реками в котловину озёр с формированием подводных конусов выноса [27].

Тектогенный (сейсмогенный) морфогенез. Другим актуальным направлением является изучение сейсмогенных форм рельефа. В последнее время происходит существенное изменение взглядов на геодинамику традиционно считавшихся слабоактивными платформенных территорий. Прежде всего это касается областей древних оледенений, где обнаружены многочисленные следы сильных землетрясений, связанных с гляциоизостатическими движениями. В российской части Фенноскандии систематическое изучение сейсмогенных форм рельефа позволило выделить более 20 протяжённых (до нескольких сотен километров) сейсмолинеаментов – активных структур, в пределах которых обнаружены очаги неоднократно повторяющихся землетрясений. Фрагменты этих структур, имеющие формальные признаки активных разломов, включены в созданную недавно международную базу данных [28]. Для одного из таких участков установлены признаки сильнейшего ($I_0 = 10$; $M = 8$) из известных до сих пор раннеголоценовых землетрясений в центральной Карелии [29].

Появляются доказательства и становится всё более очевидным, что сейсмическая активность является одним из ведущих факторов развития природы в позднеледниковье–голоцене, влияя на трансгрессии и регрессии озёрных бассейнов, катастрофические прорывы и перестройки гидрографической сети [30]. Меняются представления и о генезисе, казалось бы, типичных форм рельефа, обнаруживающих не только ледниковые, мерзлотные, водно-ледниковые и иные признаки, но и следы сейсмических воздействий [31]. Возможности высокоразрешающих цифровых моделей (ArcticDEM, AsterGDEM) позволяют

по-новому рассмотреть блоковую морфоструктуру, обнаруживающую сопряжённые признаки эндогенной и экзогенной активности, и параметризовать её в соответствии с известными соотношениями для сейсмогенерирующих разломов, определив для Кольского полуострова зоны с различной степенью активности на уровне магнитуд 6.5–7.5 в течение позднеледниковья и голоцена [32]. Региональные морфотектонические построения дают возможность учитывать активную блоковую тектонику для палеогеографических реконструкций. Использование современных инструментальных средств определения возраста – ещё один ключевой элемент исследований сейсмогенного рельефа и отложений. Сопряжённое применение радиоуглеродного и оптико-люминесцентного датирования в зоне влияния активизированного Вуоксинского разлома на Карельском перешейке позволило установить восемь сильных землетрясений, из которых три относятся к послеледниковому времени, а пять распределены в интервале 16–90 тыс. лет назад [33]. Полученные данные свидетельствуют о повторяемости платформенных землетрясений с интервалом от 2 до 10 тыс. лет вне прямой зависимости от гляциоизостазии. Следы ещё более древних землетрясений обнаружены на Самбийском (Калининградском) полуострове. Здесь изучены деформации разного типа в отложениях всего позднего плейстоцена. На основе сопоставления следов землетрясений и стратиграфических признаков отложений установлено девять этапов осадконакопления, сопряжённых с шестью этапами тектонической активизации за последние 300 тыс. лет [34].

Антропогенный морфогенез. В серии работ лаборатории геоморфологии ИГ РАН обоснованы концепции актуальности перехода современных геоморфологических исследований к изучению экологических и инженерных свойств рельефа и о современном рельефе как результате взаимодействия не только эндогенных и экзогенных естественных факторов, но и деятельности человека [6]. Эта концепция легла в основу представлений об *антропогенно-геоморфологических системах* (АГМС) и их “организованности” как упорядоченном и согласованном пространственном строении [35]. Принципы и технологические основы управления АГМС опираются на алгоритм “моделирование–мониторинг–управление”, являющийся необходимым условием устойчивой работы системы [36]. Они ориентированы прежде всего на решение проблем безопасности на основе комплексирования: оценки опасности и риска природных процессов по отношению к инженерным сооружениям; оценки опасности и риска техногенных воздействий на природные комплексы. Другой аспект изучения природно-антропогенных взаимодействий в рамках АГМС – оценка рельефа как ресурса для рационального освоения

территории. Исследования, включающие рисковую и ресурсную составляющие, проведены на территории Новой Москвы, которая представляет собой пример массового разнотипного, разномасштабного и зачастую спонтанного освоения. Моделирование на основе детальной базы данных [37] позволило дифференцировать территорию по уровням геотехнического и геоэкологического риска и культурно-эстетического восприятия рельефа как одного из типов геоморфологических ресурсов [38] и определить чёткие критерии освоения территории по типам и уровням воздействия.

Синтетические оценки. Природные и антропогенные изменения факторов денудации. Значительное сокращение площади пашни, особенно в лесной зоне ЕТР, произошедшее в период с начала 1990-х и до конца 2010-х годов, привело к уменьшению объёмов смыва на 75% по сравнению с началом 1980-х годов [20]. Другим важным фактором, в наибольшей мере повлиявшим на снижение темпов смыва, явилось повышение температуры воздуха в зимнее время, что привело к существенному снижению глубины промерзания почв и, как следствие, к сокращению поверхностного стока и смыва в период снеготаяния. Оба фактора ещё в более значимой степени сказались на темпах линейного прироста оврагов и образования новых линейных эрозионных форм [39]. Детальный анализ изменений темпов смыва в пределах речных бассейнов различных ландшафтных зон позволил установить, что на сокращении темпов смыва также сказался вывод из-под пашни наиболее крутых склонов междуречных пространств [40]. В горах Кавказа воздействием антропогенного фактора на усиление процессов денудации гораздо более локализовано, но объёмы перемещённого материала при этом возрастают в разы [41]. Основное влияние на интенсивность денудации в различных высотных зонах Кавказа и Закавказья оказывают топографические факторы, пространственное распространение которых контролируется сейсмотектонической активностью. Немаловажное влияние на активность экзогенных процессов оказывает соотношение площадей с различным проективным покрытием поверхности склонов [42].

Геоморфологическая напряжённость. Освоение всё новых регионов на фоне меняющихся природных условий увеличивает потребность в прогнозе природных катастроф. В связи с этим встаёт вопрос оценки потенциальной предрасположенности территорий к тем или иным опасным геоморфологическим событиям. В начале 2000-х годов появился термин “susceptibility” – предрасположенность (чувствительность) территории к какому-либо опасным процессам. Обычно это понятие применяется по отношению к какому-то одному процессу. В отечественной науке его ана-

логом стал термин “геоморфологическая напряжённость”, причём в России наметилась тенденция оценки территории по комплексу негативных явлений рельефообразования, поскольку не столь опасные по отдельности, во взаимодействии они приводят к масштабным катастрофическим последствиям. На основе оценки внешних и внутренних факторов рельефообразования выделяются зоны *повышенной геоморфологической напряжённости* – территории, предрасположенные к катастрофическому развитию процессов, для которых типично: развитие одной или нескольких рельефообразующих тенденций, которые могут приобретать катастрофический характер; периодическое воздействие внешних факторов, провоцирующих экстремальное развитие фоновых процессов; преобладание рельефа, который способствует экстремальным трансформациям и характеризуется высокими скоростями рельефообразования [43].

Геоморфологическая напряжённость выражается через набор показателей, характеризующих как сам рельеф, так и факторы рельефообразования (экзогенные, эндогенные и антропогенные), создающие потенциал для реализации катастрофических сценариев. Показатели геоморфологической напряжённости различны при оценке потенциала на разных иерархических уровнях (масштабах картографирования) и отличаются для процессов разных генетических типов. Разработка комплексных формул геоморфологической напряжённости с вероятностной пространственно-временной оценкой катастрофических процессов при достижении пороговых (критических) значений показателей – перспективное направление синтеза геоморфологических знаний и создания нового поколения оценочных карт.

Оценка геоморфологических рисков. Особое место в современной геоморфологии занимает оценка природных рисков. Одно из её направлений – предиктивное моделирование площадного распространения того или иного процесса, например, оползней, селей, возникновения карстовых провалов и т.д. Принцип, положенный в основу предиктивного моделирования в геоморфологии [44], включает следующие этапы: инвентаризацию проявлений геоморфологического процесса; подбор показателей предполагаемых факторов; создание обучающей выборки, включающей сбалансированные по количеству данные по участкам с проявлениями искомого процесса и участкам без таковых проявлений; поиск характеристик, позволяющих наилучшим образом последовательно сепарировать данные в классы “опасный” и “безопасный”; экстраполяцию полученных закономерностей на всю площадь обследуемого участка. Подобная работа была проведена нами для территории пос. Красная Поляна (Краснодарский край) и его окрестностей (пло-

щадь $\approx 500 \text{ км}^2$), характеризующейся широким распространением оползней мелкого заложения, связанных с общей высокой расчленённостью рельефа, большим количеством осадков, близостью к поверхности локальных водоупоров во флишах [45]. Для обучения модели использованы 183 оползня. Достигнута высокая точность (73%) распознавания фактически оползневых участков. Добавление в модель спектральных характеристик рельефа [46], отвечающих тому или иному рисунку топографического расчленения, усилило предсказательную способность модели до 76%. Индуктивный подход (от реальных проявлений процесса к его прогнозу) имеет преимущества перед более традиционными дедуктивными подходами к оценке геоморфологических опасности и риска. Оценка опасности, основанная на фактических проявлениях того или иного геоморфологического процесса, не требует относительного взвешивания факторов. Всё это обуславливает постепенное смещение оценок геоморфологических опасностей и рисков в сторону использования индуктивных моделей с последующей полевой или дистанционной (радарная интерферометрия) верификацией результатов.

* * *

Прогресс в развитии геоморфологических исследований опирается на использование новых методов, направленных на получение количественных, пространственных и временных показателей рельефа и рельефообразующих процессов, математическую обработку данных с представлением результатов анализа в виде многоцелевых моделей, а также на развитие теоретических представлений в рамках интеграции экзогенного, эндогенного и антропогенного морфогенеза. Не стоит забывать, что факторы морфогенеза реализуются на поверхности планеты как космического тела. В каждом из них заложена космическая составляющая, как в виде собственно планетарных свойств, так и внешних воздействий других космических тел. Это перспективное направление исследований носит не только фундаментальный теоретический характер, касающийся раскрытия общих закономерностей морфогенеза, но и имеет практические следствия с точки зрения изучения механизмов современных процессов, понимания катастроф прошлого и прогноза на будущее.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990091-4 (FMGE-2019-0005).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Sherlock R.L.* Man as a Geological Agent, an Account of His Action on Inanimate Nature. London: H.F. and G. Witherby, 1922.
2. *Szabó J. et al.* (eds.). Anthropogenic Geomorphology. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3058-0_1, Springer Science+Business Media B.V. 2010.
3. *Crutzen P.J., Stoermer E.F.* The Anthropocene // Global Change Newsletter. 2000. V. 41. P. 17–18.
4. *Waters C.N., Zalasiewicz J.A., Williams M., Ellis M., Snelling A.M.* (eds). A Stratigraphical Basis for the Anthropocene // Geological Society Special Publication. 2014. № 395.
5. *Fels E.* Anthropogene geomorphologie // Seieta. 1957. V. 92. № 10. P. 225–260.
6. *Лухачёва Э.А., Тимофеев Д.А.* Экологическая геоморфология. Словарь-справочник. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004.
7. Современная геоморфология / Отв. ред. В.М. Котляков, ред. В.В. Бронгулеев, А.Н. Маккавеев, Э.А. Лухачёва. М.: Издательский дом “Кодекс”, 2015.
8. *Тимофеев Д.А.* Размышления о фундаментальных проблемах геоморфологии. Избранные труды. М.: Медиа-ПРЕСС, 2011.
9. *Raspini F., Bianchini S., Ciampalini A. et al.* (2018). Continuous, semi-automatic monitoring of ground deformation using Sentinel-1 satellites // Scientific reports/ 2018. № 8 (1). P. 1–11.
10. *Smith L.C.* Emerging applications of interferometric synthetic aperture radar (InSAR) in geomorphology and hydrology // Annals of the Association of American Geographers. 2002. № 3. P. 385–398.
11. Sentinel-1 – Overview. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview>. (дата обращения 10.11.2021).
12. ArcticDEM – Polar Geospatial Center. <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/> (дата обращения 20.12.2021).
13. *Харченко С.В.* Новые задачи морфометрии рельефа и автоматизированные морфологические классификации в геоморфологии // Геоморфология. 2020. № 1. С. 3–21.
14. *Харченко С.В.* Морфометрическая обусловленность застройки крупных городов Черноземья // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2013. № 2. С. 71–78.
15. *Kharchenko S.V.* Automatic recognition of exogenic landform types on the arctic terrain using spectral geomorphometric variables (example of the European part of the Russia) // Proceedings of the 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. V. 19. B.2.1. Section Cartography and GIS. Albena (Bulgaria), 2019. P. 785–792.
16. *Golosov V., Koiter A., Ivanov M. et al.* Assessment of soil erosion rate trends in two agricultural regions of European Russia for the last 60 years // Journal of Soils and Sediments. 2018. V. 18. № 12. P. 3388–3403.
17. *Gusarov A.V., Golosov V.N., Ivanov M.M., Sharifullin A.G.* Influence of relief characteristics and landscape connectivity on sediment redistribution in small agricultural catchments in the forest-steppe landscape zone of the Russian Plain within European Russia // Geomorphology. 2019. V. 327. P. 230–247.

18. Golosov V.N., Ivanov M.M., Tsyplenkov A.S. et al. Erosion as a Factor of Transformation of Soil Radioactive Contamination in the Basin of the Shchekino Reservoir (Tula Region) // Eurasian Soil Science. 2020. V. 54. № 2. P. 291–303.
19. Golosov V., Yermolaev O., Litvin L., Chizhikova N., Kiryukhina Z., Safina G. Influence of climate and land use changes on recent trends of soil erosion rates within the Russian Plain // Land Degradation and Development. 2018b. V. 29. № 8. P. 2658–2667.
20. Golosov V.N., Collins A.L., Dobrovolskaya N.G. et al. Soil loss on the arable lands of the forest-steppe and steppe zones of European Russia and Siberia during the period of intensive agriculture // Geoderma. 2021. V. 381. Article number 114678.
21. Tsyplenkov A., Vanmaercke M., Collins A.L. et al. Elucidating suspended sediment dynamics in a glacierized catchment after an exceptional erosion event: The Djankuat catchment, Caucasus Mountains, Russia // Catena. 2021. № 203. Article number 105285.
22. Tsyplenkov A., Golosov V., Vanmaercke M. Contemporary suspended sediment yield of Caucasus mountains // Proceedings IAHS “Land use and climate change impacts on erosion and sediment transport”. 2019. V. 381. P. 87–93.
23. Лебедева Е.В. Кальдера вулкана Ксудач (Камчатка) современные процессы рельефообразования и особенности строения долинной сети // Геоморфология. 2017. № 3. С. 60–75.
24. Козлов Д.Н., Лебедева Е.В. Кратерные и кальдерные озёра Дальнего Востока России: морфология котловин и особенности развития // Известия РАН. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 2. С. 204–219.
25. Лебедева Е.В. Виды воздействия вулканической и поствулканической деятельности на флювиальный рельеф // Геоморфология. 2019. № 4. С. 49–66. <https://doi.org/10.31857/S0435-42812019449-66>
26. Лебедева Е.В. Цепочки катастрофических геоморфологических процессов в речных долинах вулканических регионов // Геоморфология. 2018. № 4. С. 38–55.
27. Kharchenko S.V., Kozlov D.N., Lebedeva E.V. Hypsometric models of caldera complex Ksudach (Kamchatka) // IOP_Conf_Ser_Earth_Environ_Sci. 2020. V. 459. № 1. Article number 022066.
28. Nikolaeva S.B., Nikonov A.A., Shvarev S.V. Lateglacial and postglacial faulting in the Russian part of the Fennoscandian shield // Glacially-Triggered Faulting. United Kingdom, 2021. P. 246–260.
29. Шварев С.В., Родкин М.В. Структурная позиция и параметры палеоземлетрясений в районе горы Воттоваара (Средняя Карелия, восточная часть Фенноскандинавского щита) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2017. Т. 44. № 2. С. 35–60.
30. Subetto D., Shvarev S., Nikonov A. et al. New evidence of the Vuoksi river origin by geodynamic cataclysm // Bulletin of the Geological Society of Finland. 2018. V. 90. P. 275–289.
31. Шварев С.В. Постледниковые сейсмогенные деформации озовой гряды в северной части Карельского перешейка // Геоморфология. 2019. № 3. С. 19–35.
32. Шварев С.В. Морфотектоника, сейсмичность и экзогенные процессы Кольского полуострова // Геоморфология и геофизика. 2022 (Препринт DOI: 10.15372/GiG2021126).
33. Шварев С.В., Субетто Д.А., Зарецкая Н.Е., Молодков А.Н. Возраст, генезис и сейсмогенные деформации террас реки Вуокса на Карельском перешейке, Северо-Запад России // Геология и геофизика. 2021. № 11. С. 1592–1615.
34. Шварев С.В. Морфотектоника, деформации рыхлых отложений и этапы тектонической активизации Самбийского (Калининградского) полуострова в позднем плейстоцене и голоцене // Геоморфология. 2021. № 4. С. 97–124.
35. Лихачёва Э.А., Тимофеев Д.А. К иерархии геоморфологических систем с позиций их организованности // Геоморфология. 2007. № 4. С. 3–8.
36. Лихачёва Э.А., Шварев С.В., Аникина Н.В. Геоморфологическая оценка территориальных ресурсов Новой Москвы // Геоморфология. 2015. № 1. С. 77–88.
37. Аникина Н.В., Шварев С.В., Неходцев В.А., Самойлова Е.А. Оценка природно-антропогенных геолого-геоморфологических условий Новой Москвы // Геоэкологические проблемы Новой Москвы: Сборник научных трудов / Отв. ред. А.В. Кошкарёв, Э.А. Лихачёва, А.А. Тишков. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 88–95.
38. Шварев С.В., Лихачёва Э.А., Аникина Н.В., Некрасова Л.А. Оценка организованности антропогенно-геоморфологических систем Новой Москвы на основе синтеза экспертных и статистических оценок // Геоморфология. 2017. № 2. С. 25–37.
39. Рысин И.И., Голосов В.Н., Григорьев И.И., Зайцева М.Ю. О причинах современного сокращения темпов роста оврагов в Удмуртии // Геоморфология. 2018. № 1. С. 75–87.
40. Mal'tsev K.A., Ivanov M.A., Sharifullin A.G., Golosov V.N. Changes in the Rate of Soil Loss in River Basins within the Southern Part of European Russia // Eurasian Soil Science. 2019. V. 52. № 6. P. 718–772.
41. Shvarev S.V., Kharchenko S.V., Golosov V.N., Uspenskii M.I. A Quantitative Assessment of Mudflow Intensification Factors on the Aibga Ridge Slope (Western Caucasus) over 2006–2019 // Geography and Natural Resources. 2021. V. 42. № 2. P. 122–130.
42. Golosov V., Tsyplenkov A. Factors Controlling Contemporary Suspended Sediment Yield in the Caucasus Region // Water. 2021. № 13. P. 3173.
43. Лебедева Е.В., Шварев С.В., Готванский В.И. Природно обусловленная напряжённость геоморфологических процессов территории Дальнего Востока России // Геоморфология. 2014. № 4. С. 48–59.
44. Wilcock P.R., Iverson R.M. Prediction in geomorphology. American Geophysical Union, 31. 2003.
45. Харченко С.В., Шварев С.В. Прогнозирование оползневой опасности в окрестностях Красной Поляны на основе линейного дискриминантного анализа // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2020. № 3. С. 22–33.
46. Shvarev S., Golosov V., Kharchenko S. Landslide susceptibility prediction by supervised Kohonen network on classic and spectral geomorphometric variables (case study of the Krasnaya Polyana resort, Russia) // European Geosciences Union General Assembly 2020. V. 22 of Geophysical Research Abstracts. Germany, 2020. P. 20234.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДНИКОВЫХ КЕРНОВ

© 2022 г. С. С. Кутузов^{a,*}, В. Н. Михаленко^{a,**}, М. Легран^{a,***}, А. Г. Хайрединова^{a,****},
М. А. Воробьёв^{a,*****}, М. М. Виноградова^{a,*****}

^aИнститут географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: kutuzov@igras.ru

**E-mail: mikhalenko@igras.ru

***E-mail: michel.legrand@lisa.ipsl.fr

****E-mail: a.khairedinova@igras.ru

*****E-mail: m.vorobyev@igras.ru

*****E-mail: juvin@bk.ru

Поступила в редакцию 07.02.2022 г.

После доработки 15.02.2022 г.

Принята к публикации 21.02.2022 г.

В статье представлен обзор современных исследований ледниковых кернов из неполярных районов Земли. В качестве примера комплексных исследований на территории России приводится описание основных результатов изучения ледниковых кернов Эльбруса. Полученные с сезонным разрешением данные о химическом и изотопном составе керна Эльбруса, охватывают период 1774–2009 гг., что позволило реконструировать различные аспекты загрязнения атмосферы в юго-восточной Европе с доиндустриальных времён до наших дней. Показана необходимость исследования нескольких ледниковых кернов из разных районов для реконструкции состава атмосферы, её загрязнения, реакции растительности и возникновения лесных пожаров на климатические изменения на территории России.

Ключевые слова: климатические изменения, ледники, ледниковый керн, химический состав атмосферы, микроэлементы, органические соединения, Эльбрус.

DOI: 10.31857/S0869587322060081

Изучение изменения климата и загрязнения атмосферы, а также их региональных особенностей — одна из наиболее важных задач современной науки. Проблему дифференциации антропогенных и естественных причин изменчивости климата невозможно решить с привлечением лишь коротких рядов инструментальных метеонаблюдений и моделей климата. Для продления инструментальных рядов используются палеоар-

КУТУЗОВ Станислав Сергеевич — кандидат географических наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник ИГ РАН. МИХАЛЕНКО Владимир Николаевич — доктор географических наук, главный научный сотрудник ИГ РАН. ЛЕГРАН Мишель — заведующий Международной лабораторией палеоэкологических реконструкций ИГ РАН. ХАЙРЕДИНОВА Александра Гаяровна — младший научный сотрудник ИГ РАН. ВОРОБЬЁВ Мстислав Алексеевич — младший научный сотрудник ИГ РАН. ВИНОГРАДОВА Мария Михайловна — научный сотрудник ИГ РАН.

хивы — древесные кольца, озёрные и морские осадки, ледниковые керны, кораллы и пр. [1]. Косвенные данные могут достигать годичного и сезонного разрешения, они особенно важны для создания масштабных сетей континентального и даже глобального масштаба, их можно откалибровать относительно инструментальных данных. Таким образом косвенные данные обеспечивают создание хронологий, подходящих для статистического анализа и численного моделирования.

Один из самых информативных источников палеоклиматической информации — ледниковые керны. Органические и неорганические соединения и аэрозоли, присутствующие в атмосфере, попадают в снежную толщу и захораниваются в ледниках, позволяя реконструировать изменение атмосферы в данном регионе. Однако в самое ближайшее время в результате продолжающегося потепления есть опасность утратить их навсегда. В умеренных и тропических широтах из-за усили-

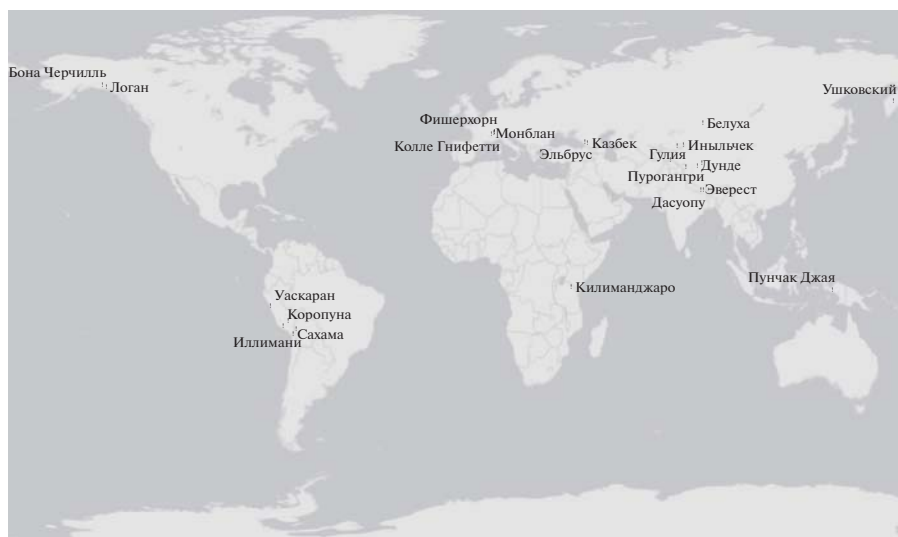


Рис. 1. Положение основных точек бурения горных регионов (дополнено [8])

вающегося таяния исчезают отдельные горные ледники, а в областях питания сохраняющихся ледников их толща вследствие инфильтрации талой воды полностью гомогенизируется и становится непригодной для палеогеографических исследований [2]. В то же время комплексные реконструкции климата и окружающей среды невозможны без учёта результатов исследования ледниковых кернов. В ледниках содержатся данные о температуре воздуха и атмосферных осадках, химическом и газовом составе атмосферы, твёрдых примесях, вулканической активности, антропогенной эмиссии различных загрязнителей.

В течение последних двух десятилетий было разработано несколько эффективных методов анализа ледниковых кернов, например, технология непрерывного проточного анализа (CFA) и технология масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) для измерения химических веществ, сохранившихся в ледниковых кернах, с миллиметровым и субмиллиметровым разрешением. Полученные в результате данные со сверхвысоким разрешением помогли выявить сезонные сигналы химических компонентов и всё чаще используются для точного различения годовых слоёв кернов из Антарктиды, Гренландии и Альп [3, 4]. Большое развитие получили методы прямого датирования льда по радиоактивным изотопам ^{14}C [5, 6], при этом количество органического углерода, необходимое для анализа, составляет всего 30 мкг, а объём образца – 100 мл.

В конце 2015 г. ведущие исследователи ледниковых кернов из Франции и Италии выступили с инициативой по созданию Фонда всемирного наследия природных объектов для будущих поколений. Предполагается провести бурение высоко-

горных ледников в ключевых районах с получением кернов льда и сохранить по одному керну из каждого района для будущих исследований. Данная инициатива включена в Международную гидрологическую программу ЮНЕСКО и Программу ООН по окружающей среде (UNEP). Первые исследования были проведены на ледниках Монблана (Альпы, Франция) и Иллимани (Боливия). Два буровых проекта успешно выполнены в России на Эльбрусе (Кавказ) и Белухе (Алтай) [7].

ИСТОРИЯ КЕРНОВОГО БУРЕНИЯ В НЕПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ

Одним из родоначальников современного кернового бурения в горах можно по праву считать Л.Г. Томпсона, который в 1970-х годах начал активное исследование неполярных регионов [8]. Первым проектом стало бурение ледника Келькайя в южном Перу в 1983 г., керн из которого датировался возрастом 1500 лет [9]. В течение последующих десятилетий география изучения высокогорных ледниковых кернов значительно расширилась. Исследования охватили Тибетское нагорье, Гималаи, Кордильеры, Перу, Боливию, Восточную Африку, Альпы, Аляску и северо-запад Соединённых Штатов, Алтай, Камчатку и Кавказ. В 2002 г. удалось получить самый глубокий ледниковый керн (460 м) в горах Св. Ильи на юго-востоке Аляски. В настоящее время керны льда получены фактически во всех горных районах мира включая тропические ледники Новой Гвинеи (рис. 1).

Вещества (аэрозоли и газы), обнаруживаемые в снегах и льдах инструментальными методами анализа, по сути отражают состав атмосферы в определённый период времени. Аэрозоли (твёр-

дые или жидкие частицы), которые поступают непосредственно с поверхности Земли, называют первичными аэрозолями. В выбросах первичных аэрозолей природного происхождения преобладает морская соль, кроме того, важное место занимают такие нерастворимые минеральные частицы, как пыль и вулканический пепел, частицы из дыма лесных пожаров. Антропогенные выбросы первичных аэрозолей образуются, как правило, в результате сжигания ископаемого топлива и биомассы [10].

Вторичные аэрозоли возникают при окислении в атмосфере многочисленных газов, выбрасываемых как природными, так и антропогенными источниками, — серы (диоксид серы, диметилсульфид), азота (монооксид азота, аммиак) и органических газов [11]. Преобладающей фракцией неорганического вторичного аэрозоля является смесь диоксида серы с аммиаком, причём происхождение этих аэрозолей может быть как природное, так и антропогенное. В настоящее время преобладают антропогенные источники происхождения диоксида серы за исключением вулканических районов в периоды извержений вулканов, когда происходят дополнительные мощные природные выбросы этого газа. Основные антропогенные источники аммиака — бытовые отходы животноводства, удобрения и сельскохозяйственные культуры.

Помимо происхождения, первичные или вторичные аэрозоли различаются по размеру частиц. Аэрозоли, состоящие из супермикронных частиц (1–10 мкм), легко повторно осаждаются вблизи источника происхождения (например, пепел). В отличие от них мелкодисперсные аэрозоли, состоящие из частиц субмикронного размера, могут переноситься к ледникам, далёким от регионов их происхождения. Всё это учитывается при интерпретации результатов исследований и позволяет реконструировать события прошлого.

Неорганические включения. Во многих случаях существенную долю от общей массы примесей в образцах льда составляют химические вещества, представляющие собой неорганические ионы (катионы и анионы) вместе с несколькими карбоксилатами. Основные ионные примеси в кернах льда можно разделить на категории по их типичным источникам [12, 13]. Среди морских ионов преобладают ионы растворимых солей, как правило, Na^+ и Cl^- со значительным количеством SO_4^{2-} и Mg^{2+} . С поверхности суши ионы поступают из пыли, переносимой ветром, в них преобладает Ca^{2+} , также присутствуют Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} и K^+ . Значение антропогенных источников ионов возросло в результате промышленной революции и в основном влияет на концентрации SO_4^{2-} , NO_3^{3-} и NH_4^+ . Биогенные источники содержат такие ионы,

как сульфонат метана (CH_3SO_3 или MSA), SO_4^{2-} , NH_4^+ и формиат (HCOO). Другие антропогенные аэрозоли поступают в атмосферу в результате сжигания ископаемого топлива и биомассы, они включают чёрный углерод (BC) и органический углерод (OC). В Гренландии было обнаружено значительное количество частиц микропластика [14]. Вулканические выбросы, хотя они и являются сложными с точки зрения химического состава, влияют преимущественно на концентрации SO_4^{2-} среди ионов, обнаруживаемых в ледниковых кернах.

С 1980-х годов стало возможным проводить качественный и количественный анализ большинства ионов с помощью метода ионной хроматографии (IC). Кроме того, эти данные позволяют определять кислотность льда как разницу между суммой анионов и суммой катионов. Соотношение между pH и кислотностью пробы талого льда нелинейно. Знание кислотности льда — ключевая информация для достижения многих научных целей, включая оценку артефактов при измерении CO_2 в пузырьках воздуха путём таяния образцов льда, понимание возможных процессов, вызывающих ремобилизацию примеси после выпадения снега и др. Метод является базовым при анализе ледниковых кернов.

Наиболее детально исследованы ледниковые керны Европейских Альп. С момента запуска первых программ по бурению ледников в этом регионе в 1970-х годах были исследованы многочисленные керны [15]. В результате получены исчерпывающие данные об антропогенном воздействии на химический состав высокогорных областей. Было доказано антропогенное влияние на химический состав снега на высокогорных ледниках в XX в. В частности, обнаружено увеличение концентрации основных ионов, связанных с атмосферными аэрозолями (SO_4^{2-} , NH_3^{3-} и NH_4^+) [16].

Химический состав ледниковых кернов Белухи на Алтае характеризуется ионами, образующимися в основном из частиц минеральной пыли, вторичных аэрозолей антропогенного происхождения и биогенных выбросов. Все ряды по SO_4^{2-} , NH_3^{3-} и NH_4^+ показывают антропогенный вклад, о чём свидетельствует повышение их концентрации во второй половине XX в. [17].

Состав ледникового керна с горы Музтаг-Ата (Памир, Китай) в основном определяется поступлениями пыли из обширных засушливых регионов Центральной Азии. Однако по сравнению с Ca^{2+} концентрации SO_4^{2-} и NO_3^{3-} увеличиваются быстрее после середины и конца 1970-х годов, что указывает на сильный антропогенный вклад [18]. Антропогенные выбросы NH_3^{3-} были реконструированы

рованы по данным ледниковых кернов, полученных в Гималаях [19] и в Тибете [20].

Развитие кернового бурения ледников в горах послужило началом более подробного изучения антропогенного загрязнения. Исследования горных регионов позволяют получать информацию о локальных источниках загрязнения [21]. За последние несколько лет работ по микроэлементному составу стало значительно больше, и это направление исследований становится всё более востребованным. Обзор работ по определению загрязнения атмосферы по данным ледниковых кернов приводится в работе [22]. Увеличение содержания микроэлементов в ледниках в течение XX в. подтверждается многими исследованиями. Повышенные концентрации целого ряда микроэлементов зафиксированы в Альпах [21, 23], в то же время во многих работах фиксируется уменьшение концентраций микроэлементов в последнее десятилетие вследствие принятия законов, ограничивающих выбросы.

Наиболее изученный в этом плане регион — Альпы. Было установлено, что содержание некоторых микроэлементов там практически не изменялось в течение XIX в., но с начала XX в. их концентрация увеличилась в 10 (Cu), 15 (Cd) и 30 (Zn) раз [24]. Данные о содержании Pb были использованы для реконструкции промышленных выбросов в различных регионах [22]. Исследования в Доломитовых Альпах показали, что V, Sb, Zn, Cd, Mo и Pb имеют в основном антропогенное происхождение, обусловленное использованием транспортных средств и близким расположением промышленных районов. Однако содержание Fe, Mn, U и Ti зависит от состава коренных пород. Происхождение других микроэлементов определить сложнее: вероятнее всего, Ag имеет антропогенное происхождение, а Cr, Co, Cu и Ba поступают из коренных пород, но отличных от альпийских [25].

Немногочисленны данные о микроэлементах ледников тропических широт. В керне горы Иллимани зафиксировали рост концентрации по сравнению с доиндустриальным периодом таких элементов, как Cu, As, Zn, Cd, Co, Ni и Cr. Значительное превышение содержания тяжёлых металлов связано с ростом металлургического производства в Перу, Чили и Боливии [26].

Первые данные о микроэлементном составе ледников Центральной Азии, охватывающие длительный период (1950–2000), получены на восточном Памире. С середины 1960-х до начала 1990-х годов зафиксировано увеличение концентрации Sb в 3 раза и Bi в 2 раза [27]. По керну ледника в восточном Тянь-Шане установлено увеличение Cd, Sb, Bi, Tl и Sn в течение 1953–2004 гг. Это служит показателем активизации антропогенной деятельности, в первую очередь развития

транспорта и увеличения выбросов выхлопных газов, роста промышленности в Китае, России и Казахстане [28].

Данные о микроэлементном составе в доиндустриальную эпоху были получены из керна горы Эверест на высоте 6518 м за период с 1650 по 2002 г. Современные концентрации большинства микроэлементов остаются на доиндустриальном уровне, однако содержание в кернах Bi, U и Cs увеличивалось с 1950 г., а S и Ca — с 1980-х годов [29]. В 2012 г. учёные из Китая продолжили изучение микроэлементов ледниковой толщи Эвереста. Изучались такие микроэлементы, как As, Mo, Sn, Sb, Bi, U и Cs. Установлено, что причиной изменения их содержания является сжигание топлива и производство цветных металлов. Были получены первые данные за большой промежуток времени (1205–2002), которые показали, что вплоть до 1960-х годов металлы поступали из природных источников, а после 1970-х годов усиливается действие антропогенных факторов [30].

На основе данных о концентрациях металлов в керне льда горы Белуха на Алтае, свидетельствующих об их атмосферном содержании в период 1700–1900-х годов, показано, что концентрации Pb, Cu, Zn, Sn и Ag отражают главным образом историю региональной горнодобывающей и металлургической промышленности рудного Алтая [31].

Геохимический профиль ледникового керна, полученного на северном плато Килиманджаро, показал очень низкие значения концентраций микроэлементов. Зафиксировано малое поступление вулканической пыли в течение позднего голоцена, что объясняется повышенным накоплением льда и увеличением размера ледника и довольно высокая аккумуляция в течение позднего голоцена, причём максимальные концентрации большинства микроэлементов приурочены к поверхностным слоям [32]. При исследовании кернов, подверженных инфильтрации воды, обнаружено, что часть микроэлементов не подвержена вымыванию и может быть использована для палеореконструкций [33].

Изучение микроэлементного состава ледниковых кернов началось с удалённых полярных регионов Антарктики [34], Гренландии и Арктики [35]. Далее это направление исследований распространилось на высокогорье, причём повсеместно. Во многих работах показано, что в течение XX в. концентрации большинства микроэлементов увеличились, но при этом содержание некоторых из них (Pb, Cd, Zn) в ряде горных стран (например, Альпы) в последние десятилетия стало уменьшаться благодаря контролю техногенных выбросов в Европе и Северной Америке [22].

Органические включения. Множество различных органических соединений (так называемые

летучие органические соединения) выбрасываются в атмосферу в результате различных антропогенных и естественных биологических процессов. Их доля во льду меньше, чем доля хорошо изученной неорганической фракции. При этом в отличие от неорганических соединений, специфичный и высокочувствительный к внешним факторам механизм образования органических молекул позволяет использовать их для более точной реконструкции источников и путей распространения атмосферных загрязнений. Органические соединения могут выступать в качестве маркеров антропогенной активности, пожаров, наземных биогенных выбросов и морской биологической активности. Кроме того, на основе данных, полученных с помощью этих маркеров, можно делать выводы о флуктуации температуры и крупномасштабных климатических изменениях в прошлом [36].

Большинство органических включений обнаруживается в ледниковых ядрах в очень низких их концентрациях. До недавнего времени методы детектирования не позволяли использовать весь потенциал этих палеоклиматических маркеров, вследствие чего количество посвящённых им публикаций невелико, причём зачастую используются данные, полученные в полярных регионах [36]. Однако специфичность и относительно небольшое время жизни в атмосфере и льде многих органических молекул обеспечивает их исключительную информативность с точки зрения палеорекострукции региональных процессов, оказывающих влияние на химию атмосферы.

Органические примеси в атмосфере можно разделить на две группы: органические газы (алканы, C1-C3 монокарбоксильные кислоты, альдегиды и спирты) и аэрозоли, которые в свою очередь делятся на несгоревший (чёрный) углерод (BC), водонерастворимые (WinOC) и водорастворимые органические соединения (WSOC). Основная доля аэрозолей (порядка 60%) приходится на WSOC [37].

Чёрный углерод является продуктом неполного сгорания угля, дизельного топлива, биотоплива и биомассы и служит самым сильным светоабсорбирующим компонентом взвешенных частиц [38]. Это твёрдые мелкие частицы, в основном состоящие из чистого углерода, которые абсорбируют солнечную радиацию во всех длинах волн. Чёрный углерод считается вторым по значимости антропогенным фактором глобального потепления после углекислого газа. BC включает в себя целый ряд углеродсодержащих материалов, частично сгоревшие твёрдые остатки растительных тканей, графитизированные частицы сажи и летучие вещества, образующиеся при сгорании. Он отличается от других форм углерода и углеродистых соединений, содержащихся в атмосфере,

тем, что способен сильно поглощать видимый свет и сохранять свою основную форму при очень высоких температурах (4000 K), нерастворим в воде.

Основными источниками чёрного углерода служат открытое сжигание биомассы (лесные и степные пожары), биотоплива, используемого при отоплении, выхлопы дизельных двигателей, сжигание угля. Он может находиться в атмосфере до 10 дней, а затем отлагается на поверхности, вымываясь с атмосферными осадками. Благодаря малому размеру (менее микрометра) частицы BC могут переноситься на большие расстояния, сильно влияя на радиационный баланс за счёт изменения альбедо поверхности. Прямые наблюдения за концентрацией BC в атмосфере доступны только для ограниченного числа пунктов, измерения в которых, как правило, охватывают не более двух десятилетий [39]. Поэтому основным источником данных о динамике содержания BC служат ледниковые ядра. Такие записи были получены для трёх ледников в Альпах: Коль дю Дом, Колле Гнифетти и Фишерхорн [37, 40, 41], они свидетельствуют об увеличении концентрации антропогенного BC с середины XX в.

Всю совокупность органических соединений, содержащихся в ледниках, называют органическим углеродом (OC). В ледниковом ядре водорастворимые органические соединения и водорастворимые органические газы объединяют в группу растворённых органических соединений (DOC), которые включают в себя: C1-C3 монокарбоксилаты кислоты, C2-C12 ди-карбоксилаты, формальдегид, гуминоподобные вещества (HULIS), полициклические ароматические углеводороды, пестициды, полихлорированные бифенилы, пер- и полифторированные соединения. Одним из основных компонентов OC (до 30%) являются HULIS (соединения, обладающие сильными полярными, кислотными и хромофорными свойствами, схожими с гуминовыми и фульвовыми кислотами) [42]. Предполагается, что HULIS являются преимущественно вторичными продуктами химических превращений биогенных прекурсоров. Однако сложная молекулярная структура, большое количество влияющих параметров, а также недостаток данных не позволяют однозначно установить механизмы образования этих соединений [43].

Органический углерод включает в себя как достаточно сложные молекулы, так и низкомолекулярные органические соединения, такие как муравьиная кислота, которые присутствуют во льду в количествах, сопоставимых с некоторыми неорганическими ионами, и поэтому именно они на данный момент наиболее хорошо изучены. Недостаток низкомолекулярных соединений — наличие множества источников их образования; на-

пример, муравьиная кислота является вторичным продуктом окисления атмосферных изопрена и монотерпенов, промышленных выбросов, а также выделяется в результате животноводческой деятельности и при лесных пожарах. Более сложные молекулы присутствуют в ледниках в значительно меньших концентрациях, что затрудняет их детектирование, причём источники их появления единичные или немногочисленные. Особенно высокая специфичность свойственна некоторым маркерам горения биомассы. В данную группу входит ряд дикарбоксильных кислот (пимелиновая, субериновая, пининовая, пиноновая), фталевая, ванилиновая, пара-гидроксibenзойная, дегидроабиетиновая кислоты, а также продукты горения целлюлозы и гемицеллюлозы (левоглюкосан, галактосан и манносан). Эти соединения позволяют не только проводить палеорекострукцию пожаров, но и строить модели перемещения воздушных масс и изучать взаимное влияние различных факторов климатической изменчивости и пожаров [44].

Холодные горные ледники средних широт представляют собой прекрасные “архивы” короткоживущих воздушных загрязнений на временном диапазоне от нескольких десятилетий до нескольких веков. Соответственно, самым изученным с точки зрения количества работ и обнаруженных органических соединений является альпийский регион. Так, для ледника Коль дю Дом установлено, что масса водорастворимых органических соединений в атмосфере в летний период выросла в 2–3 раза с 1920 по 1990 г. В той же мере за этот период увеличилась масса как HULIS, так и моно-, дикарбоксилаты и формальдегида, она составляет уже 70% WSOC вместо 55% в прошлом. Наиболее вероятной причиной повышения доли HULIS летом является увеличение первичной продукции, так как прекурсоры данного класса соединений имеют биогенное происхождение. Однако большая часть увеличения WSOC обусловлена повышением вклада неизвестной фракции [45]. В целом с середины XX в. концентрация органического углерода в альпийском регионе удвоилась. Этот рост, скорее всего, вызван увеличением окислительной способности атмосферы, что в свою очередь приводит к увеличению образования вторичных органических аэрозолей [37]. Кроме того, установлено, что C2-C5 дикарбоксильные кислоты в Альпах имеют скорее естественное происхождение, чем антропогенное [45].

Исследования органических соединений выполнены для кернов Алтая [46], Тянь-Шаня [27], Альп [47] и Тибета [48]. К. Кавамура с соавторами [49] впервые получил данные по полуострову Камчатка для таких специфических маркеров горения биомассы, как левоглюкосан, дегидроабиетиновая кислота, ванилиновая кислота и пара-

гидроксibenзойная кислота. Керн был пробурен на леднике в кратере вулкана Ушковский. Полученные концентрационные зависимости свидетельствуют о значительном распространении пожаров бореальных лесов (ключевое хранилище углерода) в течение последних 100 лет, что соответствует историческим данным.

Несмотря на огромный потенциал, данная область гляциохимии всё ещё мало изучена. В связи с ограниченным числом работ существуют значительные пробелы в понимании пространственного распределения, химического состава и физико-химических свойств органических соединений (а следовательно, их токсичности и влияния на климат), которые присутствуют в ледниковых кернах. Кроме того, низкие концентрации и высокая чувствительность органических соединений к загрязнениям требуют создания уникальных методик отбора и анализа проб.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДНИКОВЫХ КЕРНОВ ЭЛЬБРУСА

В период с 2004 по 2020 г. в ходе изучения ряда ледниковых кернов Эльбруса получены значимые результаты. Первый глубокий ледниковый керн (181.8 м от поверхности до ложа ледника) был пробурен на Западном плато Эльбруса в 2009 г. на высоте 5150 м [50]. Вследствие больших абсолютных высот на этом участке практически отсутствует поверхностное таяние, а температура на глубине 10 м, где затухают её сезонные колебания, составляет -17°C , что обеспечивает полную сохранность всех изотопных и геохимических характеристик льда. При датировании льда использовались сезонные осцилляции изотопного состава кислорода и водорода (^{18}O и ^2H), а также отдельных химических соединений – иона аммония (NH_4^+) и янтарной кислоты ($\text{HOOCCH}_2\text{COOH}$). Для контроля возрастной шкалы применялись хорошо датированные реперные горизонты – пик повышенной концентрации трития (^3H) 1963 г. и извержения вулканов Катмай (1912) и Косигуина (1835) [50]. Прямой подсчёт годовых горизонтов выполнен до глубины 168.5 м (131.6 м в.э.). На этой отметке ледниковый лёд датируется 1774 г. Для придонных слоёв льда проведено прямое датирование на основе содержания ^{14}C твёрдых частиц в органическом веществе [6]. Максимальный возраст льда вблизи ложа может достигать 2 тыс. лет ($\sim 1669 \pm 385$ лет). К настоящему времени закончены все анализы химического и изотопного состава ледникового керна и на их основе выполнен ряд реконструкций климатических параметров (температуры воздуха и атмосферных осадков) и содержания различных веществ в ледниках Эльбруса [51].

Результаты исследования эльбрусского керна впервые позволяют сопоставить уровни концентрации чёрного углерода для различных регионов Европы. Методика отбора образцов и анализа содержания ВС детально изложена в работах [51, 52]. Благодаря непрерывному отбору образцов из керна в потоке было достигнуто высокое разрешение, позволяющее не только оценить долгосрочные тренды, годовую и сезонную изменчивость, но и выявить отдельные пики, связанные со специфическими событиями переноса ВС.

На протяжении последних 190 лет наблюдались значительные колебания концентрации ВС в толще эльбрусских ледников с большой внутригодовой изменчивостью. В течение XX в. отмечено повышение зимних, летних и годовых её значений (рис. 2). Наиболее интенсивный рост концентрации произошёл в 1950–1980-х годах (в 5 раз в летнее время и в 3 раза зимой по сравнению с доиндустриальным периодом). Расчёт траекторий движения отдельных частиц на Кавказ показал, что большинство аэрозолей поступает из Европы (71.0% летом и 55.6% зимой), в особенности из Восточной Европы и с Ближнего Востока (35.6% летом и 30.9% зимой) [52]. Сравнение полученных данных по керну Эльбруса с существующими каталогами выбросов антропогенного и биогенного (пожары) чёрного углерода для Западной, Центральной и Восточной Европы, а также стран Ближнего Востока [53] при общем сходстве продемонстрировало ряд отличий: в каталогах не обнаруживается рост концентрации чёрного углерода в 1960-х и 1970-х годах, а скорость сокращения выбросов, указанная в каталогах, не подтверждается данными по керну после 1980-х годов. Более того, зарегистрирован небольшой рост концентрации ВС в керне Эльбруса после 2000-х годов, который может быть связан как с изменениями антропогенной эмиссии, так и с летними лесными и степными пожарами в восточной части Европы в этот период, не отражёнными в каталогах [52]. На сегодняшний момент запись ВС в кернах Эльбруса – наиболее полный и подробный архив данных о содержании чёрного углерода в Европе.

Пыль по массе и влиянию на физические процессы является самым важным аэрозолем в атмосфере [54]. Работы по изучению переноса и отложения пыли на Эльбрусе начались в 2009 г., когда во время масс-балансовых работ на леднике Гарабаши, а также в шурфах на Западном плато были обнаружены отчётливо различимые горизонты пыли. С использованием геохимических методов, метеорологических данных и данных дистанционного зондирования было установлено, что минеральная пыль из регионов Северной Африки и пустынь Ближнего Востока регулярно поступает на поверхность ледников Кавказа [55].

Количество пыли в ледниковом керне зависит от многих факторов и отражает её концентрацию в атмосфере. В качестве индикатора пыли в ледниках Эльбруса было использовано содержание кальция (Ca^{2+}). Ежегодно наблюдается массивный спорадический перенос пыли на Эльбрус из источников, расположенных на Ближнем Востоке и в Северной Африке. Это происходит 5–6 раз в год [56], чаще всего с Ближнего Востока. На Кавказ пыль из Сахары переносится 1–2 раза в год, и хотя это более редкие события, вещества переносится больше. Вторжения пыльных воздушных масс происходят чаще в весенне-летнее время. В период засух в регионах-источниках (Ближний Восток и Северная Африка) в атмосферу поступает большее количество минеральных частиц, которые в весенне-летний сезон переносятся на поверхность ледников. Отделить влияние двух источников на данном этапе исследований невозможно. Судя по всему, на протяжении последнего столетия в обоих регионах за счёт сокращения осадков и повышения температуры увеличивается засушливость. Вместе с этим растёт вероятность возникновения пыльных бурь в период, благоприятный для продвижения воздушных масс в сторону Кавказа.

Было установлено, что с 1950 г. значительно увеличилась частота и масса переносимой пыли во время спорадических событий и одновременно возросла фоновая её концентрация (на 100 ppb). Максимальная концентрация зарегистрирована для 1999 и 2000 гг. (980 и 850 ppb). Период повышенной концентрации пыли наблюдался и в 1960-х годах [56].

Из всех косвенных данных лишь ледники содержат информацию о количестве атмосферных осадков, которое определяет толщину годового горизонта ледника. Годовые горизонты в керне Эльбруса были выделены на основе сезонных вариаций $\delta^{18}\text{O}$ и δD , иона аммония (NH_4^+) и янтарной кислоты. Каждый годовой слой по результатам анализов аммония и янтарной кислоты был разделён на две части, соответствующие осаждению снега в зимних условиях и в течение весны, лета и осени [6, 45, 50]. В результате удалось вычислить величину аккумуляции снега в точке бурения начиная с 1774 г.

Анализ метеосведений по Кавказу показал, что данные керна могут описывать территорию с радиусом до 100 км. Это позволяет расширить реконструкцию осадков за последние столетия по кернам из районов Безенги и Казбека на весь Северный Кавказ. Нами был предложен метод разделения зимних и летних сезонов с использованием показателя конвективной неустойчивости. В результате удалось существенно уточнить выделение годовых и сезонных осадков. Из-за влияния орографии происходит увеличение количе-

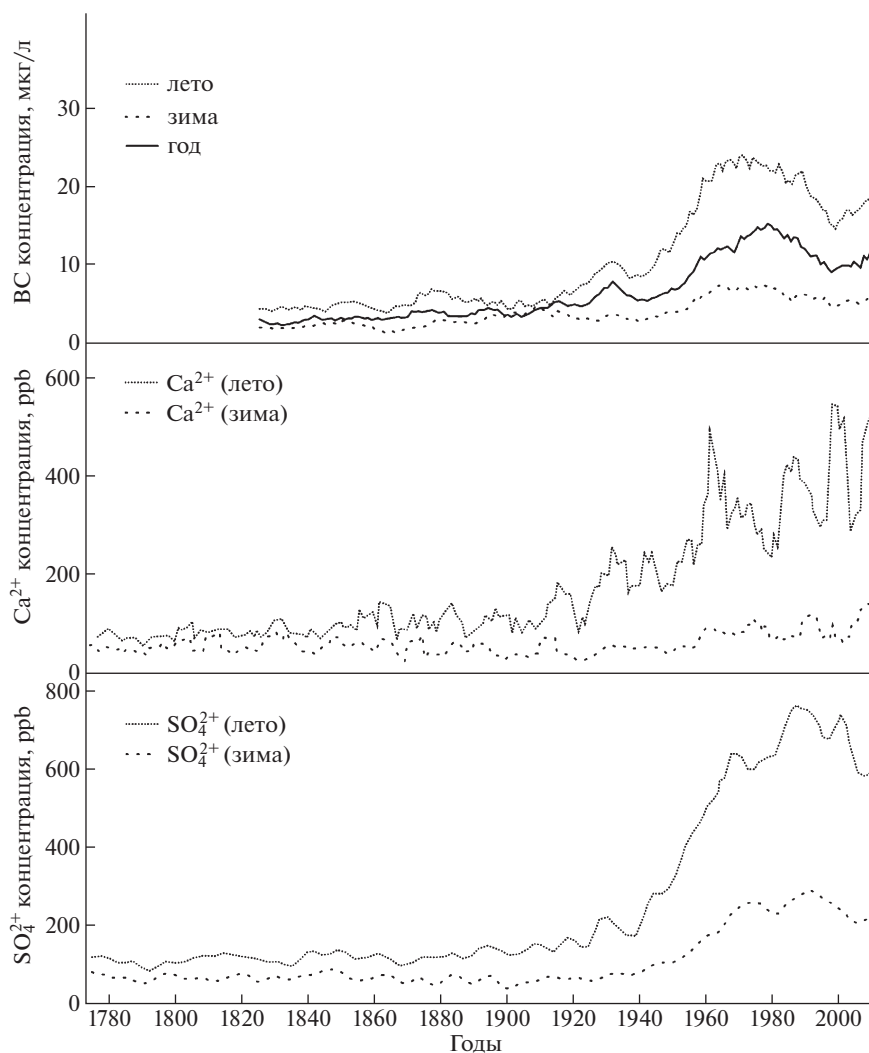


Рис. 2. Содержание чёрного углерода, ионов кальция и сульфатов в керне Эльбруса

ства атмосферных осадков по сравнению со среднегорными условиями в 1.5 раза. Прямой корреляции аккумуляции снега на Эльбрусе с данными метеостанций выявлено не было, однако в функциях распределения и спектральной плотности обнаружено однозначное сходство рядов годовых осадков на метеорологических станциях Кавказа и данных ледникового керна. Это позволяет утверждать, что реконструкция аккумуляции осадков на Западном плато фактически означает их реконструкцию. Изменчивость осадков на Западном плато в основном определяется летним сезоном, в то же время в течение 245 лет вклад летних осадков статистически значимо уменьшается. Ледниковый керн, полученный на Эльбрусе, захватил максимум малого ледникового периода, который на Кавказе наблюдался в середине XIX в. По нашим данным, периоду отступления ледников на Кавказе, начавшемуся в конце 1840-х годов, предшествовала длительная отрица-

тельная аномалия увлажнения в летний сезон, которая сопровождалась ростом летней температуры воздуха. Рост зимней аккумуляции в этот период не мог компенсировать общее снижение увлажнения, он сказывался лишь на лавинном режиме территории. В 1920-е годы режим осадков резко изменился: длительный период летних положительных аномалий увлажнения сменился высокой повторяемостью летнего дефицита осадков. Современное усиление как летней, так и зимней аккумуляции, несмотря на продолжающуюся повышение температуры воздуха, послужило причиной стационарирования фронтов ледников и их незначительного продвижения в 1970–1980-х годах.

Ледниковые керны из неполярных районов используются для изучения условий окружающей

среды в прошлом. Измерение химического состава ледниковых кернов показывает состав газов и аэрозолей в атмосфере. В последние годы был достигнут значительный прогресс в развитии аналитических методов и точности датирования. Керна льда были получены в большинстве горных районов мира на ледниках с различными гляциометеорологическими характеристиками. Для некоторых точек пробурено несколько кернов, что открывает возможность сравнения данных и определения влияния локальных условий снегонакопления на палеоклиматический сигнал. Использование нескольких ледниковых кернов из одного региона, отличающихся по своим гляциологическим условиям, приобретает особую значимость для построения общих хронологий и сравнения с инструментальными данными.

Информация, полученная в последние годы на территории России по кернам Эльбруса и Белухи, значительно расширила базу данных о составе атмосферы Северной Евразии в прошлом и может быть использована для оценки региональных факторов, влияющих на эмиссию аэрозолей и условия циркуляции атмосферы в умеренных широтах.

Гляциохимические анализы ледниковых кернов в горных районах, расположенных в непосредственной близости от источников эмиссии, дают всестороннее представление об антропогенном воздействии на химический состав атмосферы за последние столетия и первые тысячелетия. При этом некоторые аспекты (изучение органических соединений, определение источников поступления микроэлементов) ещё недостаточно исследованы, и можно ожидать развития этих направлений в ближайшие десятилетия.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена по материалам исследований по мегагранту (соглашение № 075-15-2021-599 от 08.06.2021) “Палеоэкологические реконструкции как ключ к пониманию прошлых, текущих и будущих изменений климата и окружающей среды в России”. Обзор работ по микроэлементному составу ледниковых кернов выполнен в рамках государственного задания Института географии РАН № FMGE-2019-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. PAGES 2k Consortium. A global multiproxy database for temperature reconstructions of the Common Era // *Sci. Data*. 2017. V. 4. P. 170088.
2. Thompson L.G., Davis M.E., Mosley-Thompson E. et al. The impacts of warming on rapidly retreating high-altitude, low-latitude glaciers and ice core-derived climate records // *Global and Planetary Change*. 2021. V. 203. P. 103538.
3. Bohleber P., Erhardt T., Spaulding N. et al. Temperature and mineral dust variability recorded in two low-accumulation Alpine ice cores over the last millennium // *Climate of the Past*. 2018. V. 14 (1). P. 21–37.
4. Winstrup M., Vallelonga P., Kjær H.A. et al. A 2700-year annual timescale and accumulation history for an ice core from Roosevelt Island, West Antarctica // *Clim. Past*. 2019. V. 15 (2). P. 751–779.
5. Sigl M., Jenk T.M., Kellerhals T. et al. Towards radiocarbon dating of ice cores // *J. Glaciol.* 2009. V. 55 (194). P. 985–996.
6. Preunkert S., Legrand M., Kutuzov S. et al. The Elbrus (Caucasus, Russia) ice core record. Part I: reconstruction of past anthropogenic sulfur emissions in southeastern Europe // *Atmos. Chem. Phys.* 2019. V. 19. P. 14119–14132.
7. <https://www.ice-memory.org/>
8. Михаленко В.Н. Глубинное строение ледников тропических и умеренных широт. М.: Изд-во ЛКИ, 2008.
9. Thompson L.G., Mosley-Thompson E., Dansgaard W., Grootes P. The Little Ice Age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya Ice Cap // *Science*. 1986. V. 234. P. 361–364.
10. Legrand M. and Wolff E.W. The Cryospheric Archive of the Past Atmosphere: Aerosol and Soluble Gases in Ice Cores in Chemistry in the Cryosphere. Singapore: World Scientific Publishing, 2022. P. 687–753.
11. Singh H.B. and Zimmermann P.R. Atmospheric distribution and sources of nonmethane hydrocarbons, in Gaseous pollutant: Characterization and cycling / J.O. Nriagu, ed. New York: John Wiley and Sons, 1992.
12. Legrand M., Mayewski P. Glaciochemistry of polar ice cores: A review // *Rev. Geophys.* 1997. V. 35 (3). P. 219–243.
13. Eichler A., Tinner W., Brüttsch S. et al. An ice-core based history of Siberian forest fires since AD 1250 // *Quat. Sci. Rev.* 2011. V. 30 (9–10). P. 1027–1034.
14. Bergmann M., Mützel S., Pimpke S. et al. White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic // *Sci. Adv.* 2019. V. 5 (8). eaax1157.
15. Bohleber P. Alpine Ice Cores as Climate and Environmental Archives in Oxford Research Encyclopedia of Climate Science 2019. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.743>
16. Preunkert S., Wagenbach D. and Legrand M. A seasonally resolved alpine ice core record of nitrate: Comparison with anthropogenic inventories and estimation of preindustrial emissions of NO in Europe // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2003. V. 108 (D21). P. 4681.
17. Olivier S., Blase C., Brüttsch S. et al. Temporal variations of mineral dust, biogenic tracers, and anthropogenic species during the past two centuries from Belukha ice core, Siberian Altai // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111 (D5). P. D05309.
18. Zhao H., Xu B., Yao T. Et al. Records of sulfate and nitrate in an ice core from Mount Muztagata, central Asia // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. P. D13304.
19. Kang S., Mayewski P.A. et al. Glaciochemical records from a Mt. Everest ice core: relationship to atmospheric circulation over Asia // *Atmos. Environ.* 2002. V. 36 (21). P. 3351–3361.

20. Zou X., Hou S., Wu S. et al. Ice-core based assessment of nitrogen deposition in the central Tibetan Plateau over the last millennium // *Sci. Total Environ.* 2022. V. 814. P. 152692.
21. Barbante C., Schwikowski M., Do Rng T. et al. Historical record of European emissions of heavy metals to the atmosphere since the 1650s from alpine snow/ice cores drilled near Monte Rosa // *Environ. Sci. Technol.* 2004. V. 38. P. 4085–4090.
22. Gabrielli P., Vallelonga P. Contaminant Records in Ice Cores // Blais J., Rosen M., Smol J. (eds) // *Environmental Contaminants. Developments in Paleoenvironmental Research.* 2015. V. 18. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9541-8_14
23. Legrand M., McConnell J.R., Lestel L. et al. Cadmium pollution from zinc-smelters up to fourfold higher than expected in western Europe in the 1980s as revealed by alpine ice // *Geophys. Res. Lett.* 2020. V. 46. P. e2020GL087537.
24. Van de Velde K., Barbante C., Cozzi G. et al. Changes in the occurrence of silver, gold, platinum, palladium and rhodium in Mont Blanc ice and snow since the 18th century // *Atmos. Environ.* 2000. V. 34 (19). P. 3117–3127.
25. Gabrielli P., Cozzi G., Torcini S. et al. Trace elements in winter snow of the Dolomites (Italy): a statistical study of natural and anthropogenic contributions // *Chemosphere.* 2008. V. 72 (10). P. 1504–1509.
26. Correia A., Freydl R., Delmas R.J. et al. Trace elements in South America aerosol during 20th century inferred from a Nevado Illimani ice core, Eastern Bolivian Andes (6350 m asl) // *Atmos. Chem. Phys.* 2003. V. 3. P. 1337–1352.
27. Li X., Qin D. and Zhou H. Organic acids: differences in ice core records between Glacier 1, Tianshan, China and the polar areas // *Chinese Sci. Bull.* 2001. V. 46. P. 80–83.
28. Liu Y., Hou S., Hong S. et al. Atmospheric pollution indicated by trace elements in snow from the northern slope of Cho Oyu range, Himalayas // *Environ Earth Sci.* 2011. V. (63). P. 311–320.
29. Kaspari S., Mayewski P.A. et al. Recent increases in atmospheric concentrations of Bi, U, Cs, S and Ca from a 350-year Mount Everest ice core record // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2009. V. 114 (D4). P. D04302.
30. Hong S., Lee K., Hou S. et al. An 800-Year Record of Atmospheric As, Mo, Sn, and Sb in Central Asia in High-Altitude Ice Cores from Mt. Qomolangma (Everest), Himalayas // *Environ. Sci. Technol.* 2009. V. 43 (21). P. 8060–8065.
31. Эйрих С.С., Эйхлер А., Тоблер Л., Швиковский-Гугар М. Отражение истории горной и металлургической промышленности Алтая XVIII–XIX веков в ледовом керне высокогорного ледника горы Белуха // *Известия АО РГО.* 2016. № 4 (43). С. 68–80.
32. Gabrielli P., Hardy D.R., Kehrwald N. et al. Deglaciated areas of Kilimanjaro as a source of volcanic trace elements deposited on the ice cap during the late Holocene // *Quat. Sci. Rev.* 2014. V. 93. P. 1–10.
33. Avak S., Schwikowski M. and Eichler A. Impact and implications of meltwater percolation on trace element records observed in a high-Alpine ice core // *J. Glaciol.* 2018. V. 64 (248). P. 877–886.
34. Gabrielli P., Barbante C., Boutron C. et al. Variations in atmospheric trace elements in Dome C (East Antarctica) ice over the last two climatic cycles // *Atmos. Environ.* 2005. V. 39 (34). P. 6420–6429.
35. Barbante C., Boutron C., Morel C. et al. Seasonal variations of heavy metals in central Greenland snow deposited from 1991 to 1995 // *J. Environ. Monitor.* 2003. V. 5 (2). P. 328–335.
36. Giorio C., Kehrwald N., Barbante C. et al. Prospects for reconstructing paleoenvironmental conditions from organic compounds in polar snow and ice // *Quat. Sci. Rev.* 2018. V. 183. P. 1–22.
37. Legrand M., Preunkert S., Oliveira T. et al. Origin of C2–C5 dicarboxylic acids in the European atmosphere inferred from year-round aerosol study conducted at a west-east transect // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2007. V. 112 (D23). P. D23S07.
38. Bond T.C., Doherty S.J., Fahey D.W. et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2013. V. 118. P. 5380–5552.
39. Collaud Coen M., Weingartner E., Nyeki S. et al. Long-term trend analysis of aerosol variables at the high alpine site Jungfraujoch // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. P. D13213.
40. Jenk T.M., Szidat S., Schwikowski M. et al. Radiocarbon analysis in an Alpine ice core: record of anthropogenic and biogenic contributions to carbonaceous aerosols in the past (1650–1940) // *Atmos. Chem. Phys.* 2006. V. 6 (12). P. 5381–5390.
41. Lavanchy V.M.H., Gäggeler H.W., Schotterer U. et al. Historical record of carbonaceous particle concentrations from a European high alpine glacier (Colle Gnifetti, Switzerland) // *J. Geophys. Res. Atmosph.* 1999. V. 104 (D17). P. 21227–21236.
42. Kiss G., Varga B., Galambos I. and Ganszky I. Characterization of water soluble organic matter isolated from atmospheric fine aerosol // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2002. V. 107 (D21). P. 8339.
43. Guilhermet J., Preunkert S., Voisin D., Baduel C. and Legrand M. Major 20th century changes of water-soluble humic-like substances (HULISWS) aerosol over Europe inferred from Alpine ice cores // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2013. V. 118 (9). P. 3869–3878.
44. Rubino M., D’Onofrio A., Seki O. and Bendle J.A. Ice-core records of biomass burning // *Anthr. Rev.* 2016. V. 3. P. 140–162.
45. Legrand M., Preunkert S., Jourdain B. et al. Water-soluble organic carbon in snow and ice deposited at Alpine, Greenland, and Antarctic sites: a critical review of available data and their atmospheric relevance // *Clim. Past.* 2013. V. 9. P. 2195–2211.
46. Eichler A., Brüttsch S., Olivier S. et al. A 750 year ice core record of past biogenic emissions from Siberian boreal forests // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. P. L18813.
47. Müller-Tautges C., Eichler A., Schwikowski M. et al. Historic records of organic compounds from a high Alpine glacier: influences of biomass burning, anthropogenic emissions, and dust transport // *Atmos. Chem. Phys.* 2016. V. 16 (2). P. 1029–1043.

48. Wang J., Yao T., Xu B. et al. Formate and acetate records in the Muztagata ice core, Northwest Tibetan Plateau // Chinese Sci. Bull. 2004. V. 49. P. 1620–1624.
49. Kawamura K., Izawa Y., Mochida M. and Shiraiwa T. Ice core records of biomass burning tracers (levoglucosan and dehydroabietic, vanillic and p-hydroxybenzoic acids) and total organic carbon for past 300 years in the Kamchatka Peninsula, Northeast Asia // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2012. V. 99. P. 317–329.
50. Mikhailenko V., Sokratov S., Kutuzov S. et al. Investigation of a deep ice core from the Elbrus western plateau, the Caucasus, Russia // The Cryosphere. 2015. V. 9 (6). P. 2253–2270.
51. Ледники и климат Эльбруса / Под ред. В.Н. Михаленко. М.—СПб.: Нестор-История, 2020.
52. Lim S., Faïn X., Ginot P. et al. Black carbon variability since preindustrial times in Eastern part of Europe reconstructed from Mt Elbrus, Caucasus, ice cores // Atmos. Chem. Phys. 2017. V. 17. P. 3489–3505.
53. Diehl T., Heil A., Chin M. et al. Anthropogenic, biomass burning, and volcanic emissions of black carbon, organic carbon, and SO₂ from 1980 to 2010 for hindcast model experiments // Atmos. Chem. Phys. Discuss. 2012. V. 12. P. 24895–24954.
54. Knippertz P., Stuut J.B.W. Mineral dust: A key player in the earth system, Miner. Dust A Key Play // Earth Syst. 2014. P. 1–509.
55. Kutuzov S., Shahgedanova M., Mikhailenko V. et al. High-resolution provenance of desert dust deposited on Mt. Elbrus, Caucasus in 2009–2012 using snow pit and firn core records // The Cryosphere. 2013. V. 7 (5). P. 1481–1498.
56. Kutuzov S., Legrand M., Preunkert S. et al. The Elbrus (Caucasus, Russia) ice core record. Part 2: history of desert dust deposition // Atmosph. Chem. Phys. 2019. V. 19 (22). P. 14133–14148.