СОДЕРЖАНИЕ

Том 85, номер 1, 2021

ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

Районирование России по природным условиям жизни населения с учетом экстремальных климатических событий
В. В. Виноградова 5

Макрорегион Северо-Восточной Азии: предпосылки делимитации, состав, границы
Л. М. Корытный 14

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА

Внутрирегиональная миграция населения в России: пригороды выигрывают у столиц
Л. Б. Карачурина, Н. В. Мкртчян 24

Моделирование морфологии междугородней сети автомобильных дорог
А. В. Мартыненко 39

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

Современная денудация в горах и ее вклад в глобальную денудацию суши
А. М. Грачев, В. Н. Голосов 49

Вторичные сукцессии и структура тропических муссонных ландшафтов Центрального Вьетнама
Нгуен Данг Хой, А. А. Тишков 59

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

Эволюция почв и ландшафтно-климатические изменения в эпоху бронзы для степи Кубано-Приазовской равнины на основе изучения крупного кургана
А. Э. Сверчкова, О. С. Хохлова 70

Хронологии светлых колец лиственницы на севере сибирской лесотундры: отражение степени континентальности климата
М. А. Гурская 84

Количественная реконструкция годовых температур воздуха Алтайского региона за последние 1400 лет по данным аналитической микростратиграфии ленточных глин оз. Кучерлинское
А. В. Дарьин, Г. Чу, Ц. Сан, В. В. Бабич, И. А. Калугин, Т. И. Маркович, В. С. Новиков, М. А. Максимов, Ф. А. Дарьин, Д. С. Сороколетов, Я. В. Ракшун, А. А. Гогин, Р. А. Сенин 97

Пространственно-временной анализ формирования узких годичных колец сосны ленточных боров степной зоны Западной Сибири
Н. В. Рыгалова, Н. Ф. Харламова 109

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Водные ресурсы рек и водоемов России и антропогенные воздействия на них
В. А. Румянцев, Н. И. Коронкевич, А. В. Измайлова, А. Г. Георгиади, И. С. Зайцева, Е. А. Барабанова, В. Г. Драбкова, Н. Ю. Корнеенкова 120

Трансформация водосборных бассейнов центра Москвы под влиянием градостроительства
Э. А. Лихачева, Н. В. Аникина, А. Н. Маккавеев 136

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ГЕОГРАФОВ

Геополитические и историко-географические проблемы Причерноморья
(по материалам международной конференции 2019 г.)
А. А. Герцен 146

ИСТОРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ

Сергей Борисович Шлихтер (1931–2010) и его вклад в географию мировой
транспортной системы
С. А. Тархов 156

Contents

Volume 85, No. 1, 2021

Theory and Social Functions of Geography

Zoning of Russia According to the Natural Living Conditions of the Population Considering Extreme Climatic Events
V. V. Vinogradova 5

Northeast Asia: Delimitation Preconditions, Composition, Boundaries
L. M. Korytny 14

Territorial Organization of Society

Intraregional Population Migration in Russia: Suburbs Outperform Capitals
L. B. Karachurina and N. V. Mkrtchyan 24

Modeling the Morphology of the Intercity Highway Network
A. V. Martynenko 39

Natural Processes and Dynamics of Geosystems

Modern Denudation in the Mountains and Its Contribution to the Global Land Denudation
A. M. Grachev and V. N. Golosov 49

Secondary Successions and Structure of Monsoon Tropical Landscapes in Central Vietnam
Nguyen Dang Hoi and A. A. Tishkov 59

Evolution of Natural Systems

Soil Evolution and Landscape-Climatic Changes in the Bronze Age for the Steppe Zone of the Kuban-Azov Plain Based on the Study of a Large Mound
A. E. Sverchkova and O. S. Khokhlova 70

Chronology of Larch Light Rings in the North of Siberia: Reflection of the Climate Continentality Degree
M. A. Gurskaya 84

Quantitative Reconstruction of the Altai Region Annual Air Temperatures over the Past 1400 Years According to Analytical Microstratigraphy of Lake Kucherla Varved Clays
A. V. Daryin, G. Chu, C. San, V. V. Babich, I. A. Kalugin, T. I. Markovich, V. S. Novikov, M. A. Maksimov, F. A. Daryin, D. S. Sorokoletov, Ya. V. Rakshun, A. A. Gogin, and R. A. Senin 97

Spatiotemporal Analysis of the Formation of Narrow Tree-Rings of Pine Belt Forests in the Steppe Zone of Western Siberia
N. V. Rygalova and N. F. Kharlamova 109

Natural Recourse Use and Geoecology

Water Resources of Rivers, Lakes and Reservoirs of Russia and Anthropogenic Impacts on Them
V. A. Rumyantsev, N. I. Koronkevich, A. V. Izmailova, A. G. Georgiadi, I. S. Zaitseva, E. A. Barabanova, V. G. Drabkova, and N. Yu. Korneenkova 120

Drainage Basins Transformation of Moscow Center Influenced by Town-Planning
E. A. Likhacheva, N. V. Anikina, and A. N. Makkaveyev 136

International Cooperation of Geographers

Geopolitical and Historic-Geographical Problems of the Black Sea Region
(Review of Results of International Conference 2019)

A. A. Herzen 146

History of Geography

Sergey Borisovich Shlikhter (1931–2010) and His Contribution to the Geography
of the World Transport System

S. A. Tarkhov 156

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 5–13

ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

УДК 551.5

РАЙОНИРОВАНИЕ РОССИИ ПО ПРИРОДНЫМ УСЛОВИЯМ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

© 2021 г. В. В. Виноградова*

Институт географии РАН, Москва, Россия

**e-mail: vvvinog@yandex.ru*

Поступила в редакцию 25.11.2019 г.
После доработки 06.10.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

В статье показана важность дополнения системы показателей природно-климатических факторов, используемых для районирования территории по условиям жизнедеятельности населения, показателями, учитывающими воздействие экстремальных климатических событий. Было проведено уточнение методики и карты “Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения” для современного климата (2001–2010 гг.). Использовались данные реанализа проекта WATCH с пространственным разрешением 0.5° × 0.5°. Дополнение методики существующего районирования России показателями, учитывающими нарастающую экстремальность климата, позволило полнее учесть региональные особенности комфортности климата, особенно для горных районов, заболоченных территорий Западной Сибири и областей, подверженных опустыниванию, юга России. Результатом учета экстремальных событий явилось усложнение конфигурации границ зон дискомфортности. Полученная карта лучше отражает ландшафтные особенности территорий, в том числе и для мест с особыми климатическими условиями, и может быть использована для оценки условий жизни населения на региональном уровне.

Ключевые слова: дискомфорт, районирование России, природные условия жизни населения, климатические факторы, экстремальность климата, реанализ

DOI: 10.31857/S2587556621010167

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата является существенной угрозой для жизнедеятельности населения, особенно для его здоровья. Оценки изменения климата указывают на продолжающееся глобальное потепление. Средняя скорость потепления для суши Северного полушария составляет +0.328°С/10 лет за 1976–2012 гг. При этом начало XXI в. оставалось самым теплым за период инструментальных наблюдений [8]. Во все сезоны, кроме зимнего, скорость потепления несколько увеличилась, а зимой, напротив, заметно снизилась. На фоне продолжающегося потепления наблюдается нарастание негативной для жизнедеятельности населения экстремальности климата практически на всей территории России. Оно проявляется в увеличении числа погодных и климатических аномалий и стихийных явлений. Проведенные исследования распространения на территории России опасных для жизнедеятельности населения природно-климатических экстремальных событий за период 1991–2015 гг. показывают увеличение числа волн тепла (или жары) на Европейской территории России (ЕТР), в Иркутской области и Якутии [2–4], волн холода на ЕТР и на юге Западной и Средней Сибири [5]. Районы распространения максимальных междусуточных перепадов температуры и давления расположены в северной части ЕТР и в Западной Сибири [11, 18, 26]. Нарастание экстремальных суточных сумм осадков отмечалось в Краснодарском крае, на севере ЕТР и Западной Сибири [19, 20]. В работе [9] приведена интегральная карта распространения экстремальных природных явлений на территории России в период интенсивного потепления.

Проведенные исследования показали важность дополнения системы показателей природно-климатических факторов жизнедеятельности населения показателями, учитывающими воздействие экстремальных климатических событий. Важность учета экстремальных климатических событий подчеркивается многими зарубежными и российскими исследованиями. В частности, эти проблемы подробно рассматриваются во Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях

климата и их последствиях на территории Российской Федерации [8], в докладе Агентства по защите окружающей среды США [21], в Пятом докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата [16], где подчеркивается, что в будущем, при повышении средних глобальных температур на суше будут чаще наблюдаться экстремально высокие и реже – экстремально низкие температуры. Волны тепла будут наблюдаться чаще и будут более продолжительными.

Целью работы являлась попытка дополнения существующей методики "Районирования России по природно-климатическим условиям жизни населения" показателями, учитывающими нарастающую экстремальность климата. При районировании была использована более густая сетка с шагом 0.5° × 0.5° (по данным реанализа), которая может позволить оценить климатические изменения на региональном уровне.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В России и за рубежом существуют разные подходы к районированию территории по природной дискомфортности условий жизни населения, использующие физико-географические, экономико-географические, статистические и комплексные показатели и биоклиматические индексы. Эти методики подробно изложены в работах [7, 12, 15]. Методика районирования территории России по природным условиям жизнедеятельности населения была дополнена азональными показателями, учитывающими нарастающую экстремальность климата, и использована для оценки изменений условий жизни населения на территории России при наблюдаемом в начале XXI в. (2001–2010 гг.) потеплении климата.

Для проведения районирования были использованы данные реанализа проекта Европейского союза "Вода и глобальные изменения" (WATCH) [24] с пространственным разрешением 0.5° × 0.5°. Набор данных Watch (Waterand Global Change) был разработан [22].

По данным реанализа оценивались наиболее опасные и быстро меняющиеся климатические факторы: тепловой, холодовой, ветровой и увлажнения, а также азональные факторы, связанные с экстремальностью климата (максимальные междусуточные перепады температуры и волны тепла).

Методика районирования предполагает получение интегральной оценки природной дискомфортности в баллах в каждой точке градусной сетки, где определяется средний балл показателей зональных факторов с последующей их коррекцией при помощи азональных факторов.

Как было показано в [12], среди природных факторов были выделены следующие показатели. К зональным отнесены следующие факторы (показатели): астрономический (A) (продолжительность дня и ночи); радиационный (B) (ультрафиолетовая недостаточность–избыточность); холодовой (сумма отрицательных температур воздуха (C), продолжительность периода с температурой ниже –30°C (D), продолжительность отопительного периода (E)); мерзлотный (F) (мощность сезонно-талого слоя); тепловой (продолжительность безморозного периода (G), сумма температур за период с устойчивыми температурами выше +10°C (H)); увлажненность территории (I) (гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) [17]); ветровой (J) (индекс влажного ветрового охлаждения Хилла $H_w = H_d + (0.085 + 0.102v^{0.3}) \times (61.1 - e)^{0.75}$ [23]); изменчивость атмосферного давления (K) (среднеквадратическое отклонение суточных величин давления).

Набор азональных факторов был дополнен факторами, учитывающими нарастающую экстремальность климата. Кроме горного (Aa) (абсолютная высота местности); заболоченности (Ba) (относительная заболоченность территорий); стихийных явлений (сейсмичность (Ca), наводнений (Da), тайфунов (Ea), цунами (Fa)), учитывались такие факторы, как максимальные междусуточные перепады температуры (Ga), волны тепла (Ha), а также геокриологические опасности (лавинная опасность (Ia)).

Более подробно остановимся на азональных факторах, учитывающих нарастающую экстремальность климата, которыми была дополнена методика районирования.

Фактор числа междусуточных перепадов температуры (Ga) за год рассчитывался по данным реанализа. Значения этого параметра были разделены на 6 градаций с использованием среднего значения параметра и его среднеквадратического отклонения. Каждой градации были присвоены баллы от 1 до 6, как и для других показателей, используемых в районировании.

Для оценки фактора волн тепла (жары) (Ha) использовался универсальный для всей территории России критерий, отражающий уровень их неблагоприятного воздействия (в баллах), который отражает их количество, продолжительность и интенсивность (максимальная температура). Методика расчета этого критерия подробно изложена в работе [4]. Такой выбор основан на универсальности этого критерия, которая позволяет, в отличие от тех, которые основаны на пороговых значениях температуры и изменяются в зависимости от широты, использовать его для всей территории России. Расчеты проводились по данным реанализа.

Геокриологические опасности – фактор лавинная опасность (Ia) определялся только для горных территорий. Исходным материалом явля-

лись карты степени лавинной активности из Атласа снежно-ледовых ресурсов [1] и Национального Атласа России [14]. Высокая степень лавинной опасности с повторяемостью лавин более 10 с одного лавиносбора за 10 лет считается показателем дискомфортности в 6 баллов, средняя степень лавинной опасности (от 1 до 10) соответствует показателю в 5 баллов, а низкая степень лавинной опасности (менее 1) – показателем дискомфортности в 4 балла.

Интегральная оценка природной дискомфортности (ИПД) в баллах состоит в вычислении в узлах градусной сетки 0.5° × 0.5° среднего балла показателей зональных факторов с последующей поправкой на суммы баллов показателей азональных факторов.

Для получения этой оценки в каждой точке градусной сетки вычисляется средний балл показателей зональных факторов (СБЗП) по формуле:

$$\text{СБЗП} = \\ = (\text{A} + \text{B} + \text{C} + \text{D} + \text{E} + \text{F} + \text{G} + \text{H} + \text{I} + \text{J} + \text{K})/N, \quad (1)$$

где N – число учитываемых факторов дискомфортности в данной точке; A, B, C, D, E, F и т.д. – соответственно показатели зональных факторов.

Затем вычисляется СБАП – сумма баллов показателей азональных факторов для каждой точки:

$$\text{СБАП} = \\ = (\text{Aa} + \text{Ba} + \text{Ca} + \text{Da} + \text{Ea} + \text{Fa} + \text{Ga} + \text{Ha} + \text{Ia}), \quad (2)$$

где Aa; Ba; Ca; Da; Ea; Fa, Ga, Ha, Ia – соответственно показатели азональных факторов: горного, заболоченности, сейсмичности, наводнений, тайфунов, цунами, максимальных междусуточных перепадов температуры, волн тепла, геокриологических.

Оценка СБАП считается незначимой и далее не учитывается в интегральной оценке, если СБАП менее 10 баллов. Если СБАП варьирует в диапазоне от 10 до 20 баллов, то к СБЗП прибавляется 0.5 балла. В этом случае некоторые из азональных факторов относятся к неблагоприятным градациям. Если какой-нибудь из показателей равняется 6 баллам или если СБАП превышает 20 баллов, то к СБЗП прибавляется один балл. В таком случае большинство азональных факторов относятся к неблагоприятным градациям и существенно ухудшают условия, которые оценивались с помощью зональных факторов.

Затем в каждой точке градусной сетки вычисляется интегральная оценка природной дискомфортности в баллах (ИОПД):

$$\text{ИОПД} = \text{СБЗП} + \text{СБАП}(\text{баллы}). \quad (3)$$

На основании описанной выше методики построена карта “Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения”. На территории России выделены 7 зон природных условий для жизни: I – абсолютно неблагоприятная (более 5.7 баллов); II – очень неблагоприятная (4.9–5.7 баллов); III – неблагоприятная (4.5–4.9 баллов); IV – условно неблагоприятная (3.6–4.5 баллов); V – условно благоприятная (3.3–3.6 баллов); VI – благоприятная (2.0–3.3 балла); VII – наиболее благоприятная (менее 2.0 балла).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже представлено краткое описание зон природной дискомфортности на уточненной карте “Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения” (рис. 1) для современного климата (2001–2010 гг.).

I – Абсолютно неблагоприятная зона занимает северную часть азиатской территории России от севера полуостровов Югорский и Ямал до Чукотки. Она включает в себя полуостров Таймыр, плато Путорана и Анабарское, выходит на побережье Северного Ледовитого океана и прерывается в районе дельты р. Лена, далее расширяется восточнее Лены до 65° с.ш. в районе Верхоянского хребта и до 60° с.ш. в районе хребта Сунтар-Хаята и Корякского нагорья. Восточнее южная граница этой зоны проходит в основном вдоль 70° с.ш., вновь расширяясь до 65° с.ш. в районе Анадырского плоскогорья и восточнее. Территория представлена арктическими, отчасти субарктическими ландшафтами, а также низкогорными бореальными и высокогорными ландшафтами в горных районах Восточной Сибири.

II – Очень неблагоприятная зона – это тундровые и лесотундровые ландшафты в Европейской России, побережья холодных морей и северотаежные ландшафты азиатской части страны. Южная граница этой зоны проходит приблизительно вдоль 65° с.ш., огибая территории низкогорных и среднегорных бореальных ландшафтов Забайкалья, Магаданской области и Чукотки. Очень неблагоприятные условия для жизни формируются в высокогорьях Камчатки и Горного Алтая, которые отличаются избытком ультрафиолетовой радиации, чрезвычайно высокой сейсмичностью, а в Горном Алтае – еще и сухостью.

III – Неблагоприятная зона протягивается узкой полосой от Кольского полуострова до Якутии, продвигаясь на юг в горах Урала и в гидроморфных болотных ландшафтах Западной Сибири. Далее она расширяется за счет высоко-сейсмичных, с вечной мерзлотой горных систем Восточной Сибири, вновь сужаясь южнее Станового нагорья и расширяясь на юг в районе Бурейского хребта. В горных районах Тывы и западной части

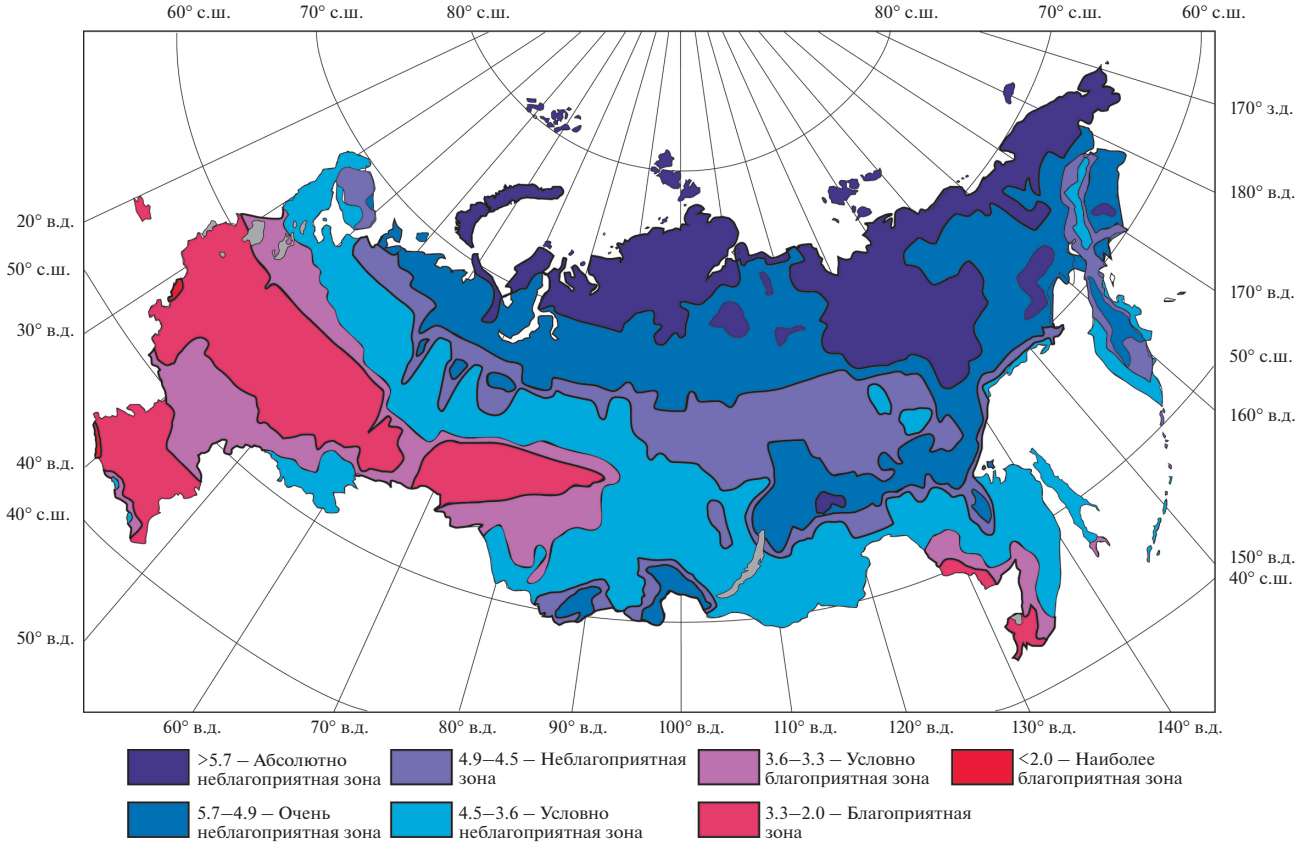

Рис. 1. Карта “Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения” для начала XXI в. (2001–2010 гг.). Районирование выполнено по данным реанализа проекта Европейского Союза “Вода и глобальные изменения” (WATCH).

Бурятии неблагоприятная зона расположена вдоль государственной границы. Неблагоприятные условия для жизни сохраняются на большей части Камчатки и на северных островах Курильской гряды. Территория представлена преимущественно северотаежными на европейской части и гидроморфными болотными ландшафтами в Западной Сибири, а также низко- и среднегорными бореальными ландшафтами в Восточной Сибири.

IV – Условно неблагоприятная зона расширяется и прослеживается в северо- и среднетаежных ландшафтах равнин Европейской России, в Западной и Восточной Сибири, а также в Забайкалье, Приамурье и в Приморье. Ее природные условия характерны почти для всего Сахалина, южных островов Курильской гряды. Кроме того, они наблюдаются в степных и сухостепных ландшафтах востока Оренбургской, юга Челябинской областей и Алтайского края, а также в среднегорьях Кавказа.

V – Условно благоприятная зона сужается в Европейской России и расширяется на юге Западной Сибири. Также эта зона представлена в южной части Приамурья и в западной части Приморья и на самом юге Сахалина. Она прослеживается также в степных, полупустынных и пустынных районах юга Европейской России и в предгорьях Северного Кавказа.

VI – Благоприятная зона включает Среднюю полосу ЕТР и прилегающие к ней территории. На западе зона расширяется на север до 60° с.ш. Эта зона наблюдается в лесостепных и степных ландшафтах Западной Сибири. Природные условия здесь благоприятны для жизнедеятельности населения. Неблагоприятное воздействие природы на жизнедеятельность, как правило, связано с очень холодными зимами и волнами тепла, частота которых возрастает в настоящее время [2, 4, 5, 9, 15].

VII – Наиболее благоприятная зона для жизнедеятельности охватывает узкую полосу Черноморского побережья средиземноморских и влажных лесных ландшафтов. В этой зоне экстремальное воздействие какого-нибудь одного природного фактора (очень холодная зима, очень сильная засуха, очень сильное наводнение, землетрясение) на жизнедеятельность населения возможно, но довольно редко. Следует отметить, что здесь существует повышенная опасность выхода сильных и разрушительных смерчей с Чёрного моря на российское побережье Кавказа с частотой один

смерч за десятилетие. В настоящее время в этой зоне возрастает опасность экстремальных осадков и наводнений [15, 19, 20].

Использование обновленной методики, с более густой сеткой и учетом возросшей экстремальности климата позволило полнее учесть региональные особенности природной дискомфортности, особенно для горных районов, заболоченных территорий Западной Сибири и засушливых областей юга России. Результатом учета экстремальных событий, которые в основном относятся к азональным факторам, явилось усложнение конфигурации границ зон дискомфортности. В наиболее высоких частях горных территорий удалось выделить наиболее дискомфортные области, которые не удавалось определить при шаге сетки 2.5° × 2.5°. Например, очень неблагоприятная зона была выделена в районе Полярного и Приполярного Урала, Станового и Алданского нагорий, Станового хребта, а абсолютно неблагоприятная зона – в районе хребтов: Верхоянского, Сунтар-Хаята, Черского (см. рис. 1). В результате в этих районах границы зон дискомфортности сблизились, что может говорить о довольно быстром изменении уровня дискомфорта при переходе с гор на равнину. На севере Западной Сибири южная граница очень неблагоприятной зоны прошла немного южнее, и в нее вошли гидроморфные комплексы Западной Сибири. В южных степных и сухостепных регионах при более густой сети точек и учете фактора волн тепла была выделена условно неблагоприятная зона, которая не выделялась при шаге сетки 2.5° × 2.5°.

Сравнение полученной карты “Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения” для начала XXI в. (2001–2010 гг., по данным реанализа) (см. рис. 1) с картой для среднемноголетних условий (1961–1990 гг. по данным метеосети) (рис. 2а) показывает не такое сильное ослабление дискомфорта, как это было показано в работах [10, 25], без учета повышения экстремальности климата. В северных и арктических районах, за исключением горных территорий, произошло сокращение территорий с абсолютно неблагоприятными условиями, за счет расширения очень неблагоприятных территорий (более мягкая градация дискомфорта) (см. рис. 1). Южная граница неблагоприятных территорий смещается к северу. За счет этого расширяется условно неблагоприятная зона в Западной Сибири и в Забайкалье. В Европейской России расширяется и продвигается в более северные районы благоприятная зона (приблизительно до 60° с.ш.), но границы более неблагоприятных зон практически не меняют свое положение. Надо отметить расширение условно благоприятной зоны в степных, полупустынных и пустынных районах юга Европейской России и в предгорьях Северного Кавказа. На востоке Оренбургской, юге Челябинской областей и Алтайского края, в степных и сухостепных ландшафтах, а также в среднегорьях Кавказа выделяется условно неблагоприятная зона (см. рис. 1). Таким образом, полученная карта лучше отражает некоторые ландшафтные особенности территорий [13], особенно для мест с особыми климатическими условиями.

В таблице показаны площади (% от территории России) зон дискомфортности для середины и конца XX и начала XXI в. Площади вычислялись как отношение количества ячеек со значениями балла дискомфортности, соответствующего определенной градации, к общему количеству ячеек на территории России (%).

Наблюдается сокращение абсолютно неблагоприятной зоны за счет расширения менее неблагоприятных зон. При этом происходит расширение очень неблагоприятной зоны с 21% в 1961–1990 гг. до 26% в 2001–2010 гг. Площадь абсолютно неблагоприятной зоны к началу нынешнего столетия сокращается на 7%, а площадь неблагоприятной зоны – на 5%. В начале XXI в. площадь благоприятной зоны расширяется практически в 2 раза, а площадь наиболее благоприятной зоны сокращается, видимо, за счет более полного учета азональных факторов, связанных с экстремальностью климата.

Сравнение карт “Районирование России по природно-климатическим условиям жизни населения” для периода 2001–2010 гг., построенных по данным метеосети (рис. 2б) и по данным реанализа (без учета дополнительных показателей, рисунок не приводится), показывает, что на второй карте наблюдается более значительное сокращение абсолютно неблагоприятной зоны по сравнению с расчетами по данным метеосети (табл. 1). По-видимому, это связано с неучетом фактора максимальных междусуточных перепадов температуры на севере Сибири и ЕТР и фактора лавинной опасности в горах Урала и Сибири. Также в этом случае сильнее расширяется благоприятная зона, скорее всего за счет неучета фактора волн тепла (см. табл. 1). На карте, построенной по данным реанализа с учетом дополнительных показателей, отмечается небольшое расширение абсолютно и очень неблагоприятных зон в северных, арктических и горных регионах и не такое сильное расширение благоприятной зоны (см. рис. 1, табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дополнение методики существующего “Районирования России по природно-климатическим условиям жизни населения” показателями, учитывающими нарастающую экстремальность климата с шагом 0.5° × 0.5°, позволило полнее учесть региональные особенности природной дискомфортности.

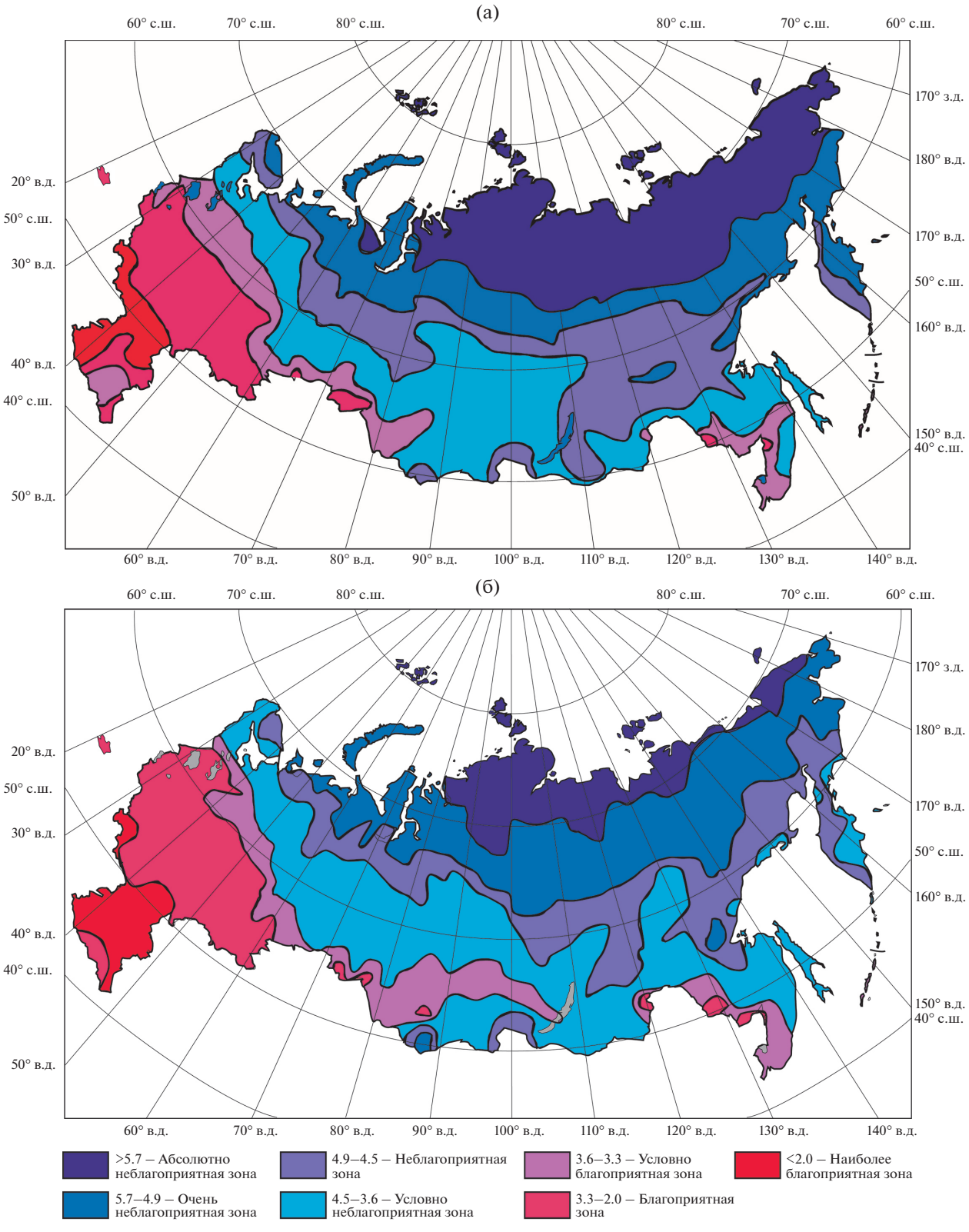

Рис. 2. Карта “Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения” (а) для среднемноголетних условий (1961–1990 гг.), (б) для начала XXI в. (2001–2010 гг.) по данным метеосети.

Таблица 1. Площадь зон дискомфортности в середине XX в. (1961–1990 гг.), конце XX в. (1991–2000 гг.) и начале XXI в. (2001–2010 гг.), % от территории России

Зона природной дискомфортности	Балл	Период, год				
		1961–1990 данные метеостанций	1991–2000 WATCH (2)**	2001–2010		
				данные метеостанций	WATCH (1)*	WATCH (2)**
Абсолютно неблагоприятная	>5.7	23	16	15	13	16
Очень неблагоприятная	5.7–4.9	21	25	21	26	26
Неблагоприятная	4.9–4.5	19	14	15	14	14
Условно неблагоприятная	4.5–3.6	22	25	30	22	24
Условно благоприятная	3.6–3.3	6	7	6	5	6
Благоприятная	2.0–3.3	7	13	10	18	14
Наиболее благоприятная	<2.0	2	0.1	3	1	1

Примечания. * WATCH (1), районирование по данным реанализа WATCH без учета дополнительных факторов (максимальные междусуточные перепады температуры, волны тепла, лавинная опасность); ** WATCH (2), районирование по данным реанализа WATCH с учетом дополнительных факторов (максимальные междусуточные перепады температуры, волны тепла, лавинная опасность).

фортности, особенно для горных районов и областей, подвергнутых опустыниванию, юга России. Результатом учета экстремальных событий и использования более густой сетки явилось усложнение конфигурации границ зон дискомфортности. Полученная карта “Районирование России по природно-климатическим условиям жизни населения” для периода 2001–2010 гг. лучше отражает ландшафтные особенности территорий, в том числе и для мест с особыми климатическими условиями. Эта карта может быть использована для оценки условий жизни населения на уровне регионов и муниципальных образований. Сравнение данной карты с картой для среднемноголетних условий (1961–1990 гг.) показывает не столь значительное уменьшение абсолютно неблагоприятной и неблагоприятной зон и меньшее расширение благоприятных зон по сравнению с картами, построенными без учета факторов, отражающих экстремальность климата.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10236-П).

FUNDING

The research was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 16-17-10236-П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: Институт географии РАН, 1997. Т. 1.
2. *Виноградова В.В.* Воздействие климатических условий на человека в засушливых землях Европейской России. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012. № 2. С. 68–81.
3. *Виноградова В.В.* Волны тепла на Европейской территории России в начале XXI в. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 1. С. 47–55.
4. *Виноградова В.В.* Волны тепла на территории России как фактор дискомфортности природной среды // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017. № 4. С. 68–77.
5. *Виноградова В.В.* Зимние волны холода на территории России со второй половины XX в. // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 3. С. 37–46.
6. *Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н.* Современные и ожидаемые изменения климатического фактора в оценке природных условий жизни населения в федеральных округах Российской Федерации // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 4. С. 16–21.
7. *Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н.* Районирование территории Российской Федерации по природно-климатическим условиям // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 5. С. 106–117.
8. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
9. *Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В.* Подход к оценке воздействий изменений климата на жизнедеятельность населения России // Проблемы региональной экологии. 2016. № 5. С. 125–130.
10. *Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Соколов И.А.* Воздействие потепления на дискомфортность

жизнедеятельности населения Арктической зоны Российской Федерации // Лёд и Снег. 2018. Т. 58. № 2. С. 243–254.

11. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Бокучава Д.Д.* Влияние междусуточных перепадов температуры и давления на смертность от болезней системы кровообращения на территории России в условиях глобального потепления // Терапевтический архив. 2018. Т. 90. № 3. С. 53–59.
12. *Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В.* Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012. 156 с.
13. Ландшафтная карта СССР / науч. ред. А.Г. Исаченко, ГУГК СССР, 1988. 4 л.
14. Национальный атлас России, Карта “Повторяемость лавин”. Масштаб 1 : 40 000 000. Федеральное агентство по геодезии и картографии. М., 2008. Т. 2.
15. Природно-климатические условия и социально-географическое пространство России / под. ред. А.Н. Золотокрылина, В.В. Виноградовой, О.Б. Глезер. М.: Институт географии РАН, 2018. 160 с.
16. Пятый доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. 2013. Швейцария, МГЭИК. www.ipcc.ch
17. *Селянинов Г.Т.* О сельскохозяйственной оценке климата // Тр. по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.
18. *Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н., Бабина Е.Д., Бокучава Д.Д.* Ожидаемое изменение междусуточных перепадов температуры в северных районах Евразии к середине 21 века // Вестн. МГУ. Сер. География. 2020. (в печати).
19. *Черенкова Е.А.* Количественные оценки атмосферных засух в Европейской России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 6. С. 76–85.
20. *Черенкова Е.А.* Сезонные осадки на территории Восточно-Европейской равнины в периоды теплых и холодных аномалий температуры поверхности Северной Атлантики // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017. № 5. С. 83–92.
21. *Balbus J., Crimmins A., Gamble J.L., Easterling D.R., Kunkel K.E., Saha S., Sarofim M.C.* 2016: Ch. 1: Introduction: Climate Change and Human Health. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. Global Change Research Program. Washington, DC, 25–42. https://doi.org/10.7930/JOVXODFW
22. *Harding R. et al.* WATCH: Current knowledge of the Terrestrial global water cycle // J. Hydrometeorol. 2011. no. 12, pp. 1149–1156. https://doi.org/10.1175/JHM-D-11-024.1
23. *Gregorczuk M.* Analiza warunkow bioklimatycznych w latach 1958–1963 w swetle waznieszych wskaznikow komplesowych // Praga WTN. Ser. B. Wroclaw, 1970. 189 p.
24. Reanalysis “Water and Global Change” (WATCH) of the European Union project with a resolution of 0.5° × 0.5°, 1979–2016. http://www.eu-watch.org/
25. *Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Sokolov I.A.* Impact of Warming on Discomfort of Vital Activity of Russia’s Population // Reg. Res. of Russia. 2018. V. 8. № 2. P. 204–213.
26. *Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Titkova T.B., Vinogradov A.V., Babina E.D.* Impact of climate changes on population vital activities in Russia in the early 21st century // IOP Conference Series: Earth and Env. Sci. 2018. № 107. P. 012045.

Zoning of Russia According to the Natural Living Conditions of the Population Considering Extreme Climatic Events

V. V. Vinogradova*

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**e-mail: vvvinog@yandex.ru*

Studies have shown the importance of supplementing the system of indicators of natural and climatic factors used to regionalize the territory according to the conditions of human activity with indicators that take into account the impact of extreme climatic events. This will allow to consider adverse factors of climate extremes unfavorable for the life of the population and to develop adaptation and mitigation measures. The methodology and map “Zoning of the territory of the Russian Federation according to the natural conditions of life of the population” for the current climate (2001–2010) were refined. We used reanalysis data from the WATCH project with a spatial resolution of 0.5° × 0.5°. The addition of the methodology with the indicators of growing climate extremeness indicators made it possible to take more fully into account the regional peculiarities of natural discomfort, especially for mountainous regions, marshy territories of Western Siberia, and southern Russian regions experiencing desertification. The result of considering extreme events was the complication of the configuration of the discomfort zones boundaries. The resulting map better reflects the landscape features of the territories, including for places with special climatic conditions (mountains, marshes, arid regions) and can be used to assess the living conditions of the population at the level of regions and municipalities.

Keywords: discomfort, zoning of Russia, natural living conditions of the population, climatic factors, extreme climate, reanalysis

REFERENCES

1. *Atlas snezhno-ledovykh resursov mira* [Atlas of Snow and Ice Resources of the World]. Kotlyakov V.M., Ed. Moscow: Inst. Geogr. Ross. Akad. Nauk., 1997, vol. 1. 392 p.
2. Vinogradova V.V. Influence of climate conditions on the man in arid lands of European Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2012, no. 2, pp. 68–81. (In Russ.).
3. Vinogradova V.V. Heat waves in the European territory of Russia at the beginning of the 21st century. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 1, pp. 47–55. (In Russ.).
4. Vinogradova V.V. Heat waves in Russia as a factor of environmental discomfort. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2017, no. 4, pp. 68–77. (In Russ.).
5. Vinogradova V.V. Cold waves in winter in Russia since the second half of the 20th century. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2018, no. 3, pp. 37–46. (In Russ.).
6. Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N. Present and expected role of climatic factor in the estimation of natural conditions of life in federal districts of Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 4, pp. 16–21. (In Russ.).
7. Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N., Krenke A.N. Zoning of the territory of the Russian Federation on natural and climatic conditions. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2008, no. 5, pp. 106–117. (In Russ.).
8. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* [Second Roshydromet Assessment Report on Climate Changes and its Consequences in Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet, 2014. 1009 p.
9. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V. Approach to assessing the impact of climate change on the livelihoods of the population of Russia. *Probl. Reg. Ekol.*, 2016, no. 5, pp. 125–130. (In Russ.).
10. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Sokolov I.A. The impact of warming on the discomfort of the life of the population of the Arctic zone of the Russian Federation. *Led i Sneg*, 2018, vol. 58, no. 2, pp. 243–254. (In Russ.).
11. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Bokuchava D.D. The effect of day-to-day temperature and pressure drops on mortality from diseases of the circulatory system in Russia under global warming. *Terapevticheskii Arkhiv*, 2018, vol. 90, no. 3, pp. 53–59. (In Russ.).
12. Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V. *Raionirovanie Rossii po prirodnym usloviyam zhizni naseleniya* [Zoning of Russia by Natural Conditions of Living]. Moscow: GEOS Publ., 2012. 156 p.
13. *Landscape Map of the USSR*. Isachenko A.G., Ed. Main Department of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1988. (In Russ.).
14. Map of avalanche frequency. Scale 1 : 40000000. In *Natsional'nyi atlas Rossii* [National Atlas of Russia]. Moscow: Federal Agency for Geodesy and Cartography, 2008, vol. 2. (In Russ.).
15. *Prirodno-klimaticheskie usloviya i sotsial'no-geograficheskoe prostranstvo Rossii* [Natural and Climatic Conditions and Sociogeographical Space of Russia]. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Glezer O.B., Eds. Moscow: Inst. Geogr. RAN, 2018. 156 p. doi 10.15356/ncsgsrus
16. IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M., Eds. Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 p. doi 10.1017/CBO9781107415324
17. Selyaninov G.T. On the agricultural assessment of climate. *Tr. S-kh Meteorol.*, 1928, no. 20, pp. 165–177. (In Russ.).
18. Titkova T.B., Zolotokrylin A.N., Babina E.D., Bokuchava D.D. The expected change in daily temperature differences in the northern regions of Eurasia by the middle of the 21st century. *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2020. (In press). (In Russ.).
19. Cherenkova E.A. Quantitative evaluation of atmospheric drought in federal districts of the European Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2013, no. 6, pp. 76–85. (In Russ.).
20. Cherenkova E.A. Seasonal precipitation in the East European Plain during periods of warm and cold temperature anomalies of the North Atlantic. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2017, no. 5, pp. 83–92. (In Russ.).
21. Balbus J., Crimmins A., Gamble J.L., Easterling D.R., Kunkel K.E., Saha S., Sarofim M.C. Introduction: Climate change and human health. In *The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment*. Washington, DC: Global Change Research Program, 2016, ch. 1, pp. 25–42. doi 10.7930/JOVXODFW
22. Harding R. et al. WATCH: Current knowledge of the Terrestrial global water cycle. *J. Hydrometeorol.*, 2011, vol. 12, no. 6, pp. 1149–1156. doi 10.1175/ JHM-D-11-024.1
23. Gregorczuk M. *Analiza warunkow bioklimatycznych w latach 1958–1963 w swetle waznieszych wskaznikow komplesowych*. Praga WTN. Ser. B. Wroclaw, 1970. 189 p.
24. Reanalysis "Water and Global Change" (WATCH) of the European Union project with a resolution of 0.5° × 0.5°, 1979–2016. Available at: http://www.eu-watch.org/.
25. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Sokolov I.A. Impact of warming on discomfort of vital activity of Russia's population. *Reg. Res. Russ.*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 204–213.
26. Zolotokrylin A.N., Vinogradova V.V., Titkova T.B., Vinogradov A.V., Babina E.D. Impact of climate changes on population vital activities in Russia in the early 21st century. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 107, 012045.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 14–23

ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

УДК 911.3

МАКРОРЕГИОН СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ: ПРЕДПОСЫЛКИ ДЕЛИМИТАЦИИ, СОСТАВ, ГРАНИЦЫ

© 2021 г. Л. М. Корытный*

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

**e-mail: kor@irigs.irk.ru*

Поступила в редакцию 28.05.2020 г.
После доработки 05.10.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Рассматривается подход к политико-экономической делимитации географического пространства Азии, что вписывается в стратегию восточного поворота России. Определено важное место Азиатской России в этом пространстве. Рассмотрено пять возможных вариантов выделения территории Сибири: экономический, общегеографический, федеральный, физико-географический и гидрографический, с предпочтением общегеографического. Предложено в состав Северо-Восточной Азии включить шесть стран: северо-восточные сегменты России (Восточную Сибирь и Дальний Восток), северо-восточные и частично восточные и центральные сегменты КНР, а также Монголию, КНДР, Республику Корею и Японию. Обосновано проведение западной границы макрорегиона по западным границам Восточной Сибири и Монголии, а южной границы – по южному водоразделу бассейна р. Хуанхэ. Делимитация географического пространства Северо-Восточной Азии поддерживается целостной морской и речной бассейновой структурой согласно бассейновой концепции природопользования. Важным событием стало предложенное в конце 2019 г. китайскими географами создание научного центра (ассоциации) исследований Северо-Восточной Азии и как реакции на это – создание весной 2020 г. в Сибирском отделении РАН Международного научного центра по проблемам трансграничных взаимодействий в Северной и Северо-Восточной Азии. Одной из ближайших задач совместных исследований представляется комплексное атласное картографирование Северо-Восточной Азии силами географов всех государств макрорегиона.

Ключевые слова: восточный вектор, объединения азиатских стран, географическое пространство, акватерриториальные состав и рубежи Сибири, Восточной Азии, Северо-Восточной Азии, бассейновая структура, картографирование

DOI: 10.31857/S258755662101009X

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Перемещение начиная с конца XX в. центра мировой политики и экономики с Запада на Восток, быстрый подъем Китая, Индии и других азиатских стран, сопровождающиеся потерей превосходства, прежде всего военного, западных стран и нарастанием внутренних противоречий западного мира, предопределили неизбежность становления новой картины мирового пространства с восточным трендом. В этой обстановке Россия начала в 2010–2012 гг. долгожданный поворот к Востоку, ускорившийся в 2014 г. ввиду резкого столкновения с западными странами после крымских и донбасских событий, дела Скрипалей, введения санкций и т.п.

Официально восточный поворот России был заявлен в конце 2012 г. в обращении Президента РФ В.В. Путина к Федеральному собранию: “В XXI в. вектор развития России – это развитие на Восток. Сибирь и Дальний Восток – наш колоссальный потенциал”[1]. Целесообразность поворота обосновывалась, в том числе, необходимостью диверсификации экономических связей, внешних источников развития, в первую очередь для Дальневосточного федерального округа, для которого была утверждена амбициозная стратегия развития[2], приняты Государственная программа[3] и ряд экономических мер.

[1] Послание Президента РФ В.В. Путина Федеральному Собранию от 12.12.2012 г. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_138990/ (дата обращения 16.10.2020).

[2] Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 г. / Распоряжение Российской Федерации от 28 февраля 2009 г. № 2094-р. http://government.ru/docs/all/71171/ (дата обращения 16.10.2020).

[3] Государственная программа Российской Федерации “Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Байкальского региона”, утверждена распоряжением Правительства РФ от 29 марта 2013 г. № 466-р. http://government.ru/docs/1158/ (дата обращения 16.10.2020).

С 2015 г. инициировано ежегодное проведение осенью Восточного экономического форума во Владивостоке с целью сделать Дальний Восток ближе для инвесторов и комфортнее для местных жителей. Уже летом 2015 г. проблемы и пути социально-экономического развития в условиях восточного вектора долгосрочного развития были обсуждены на научном семинаре на Байкале [6]. В принятой там Байкальской декларации подчеркивалось, что "разворот" России на восток несет в себе большой позитивный потенциал. При разумном сочетании экологических и экономических интересов общества в рамках зеленой экономики он должен стать серьезным импульсом развития регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока, не сумевших за годы реформ преодолеть исторически сложившегося отставания от среднероссийского уровня по основным социально-экономическим показателям. Однако уже накопленный опыт этих регионов в процессах трансграничного сотрудничества в восточном направлении со всей очевидностью демонстрирует, что вместе с перспективами возникают и серьезные риски.

Об этом повествуется и в книге видного сибирского ученого и государственного деятеля академика РАН А.К. Тулохонова [18]. Основной вопрос, над которым размышляет автор: в чем причина падения авторитета России в современном мире и что сделать для восстановления прежнего статуса великой страны? Ответ на этот и многие сопутствующие вопросы он справедливо видит в плоскости изучения экономической истории, современных социальных и политических процессов, в первую очередь проходящих в восточных регионах России и у ее соседей. Уже в первой главе автор уточняет предмет современной политической географии, акцентируя внимание на особенностях приграничного сотрудничества РФ в условиях глобализации и необходимости географического подхода к классификации границ и их функций. К сожалению, эти границы на востоке России больше выступают барьерами, чем благоприятными факторами формирования трансграничных социально-экономических структур.

Одна из выявившихся проблем – неопределенность восточного пространства в стране и в Азии. Необходима географическая делимитация этого пространства, т.е. определение его состава и границ, что и обсуждается в настоящей статье.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представления о территории и акватории в географии имеют длительную историю и относятся к фундаментальным основам нашей науки. Территория и акватория объединяют географические объекты через отношения между ними, что ведет к образованию специфических таксонов. Внимание к территориально-акваториальным аспектам в нашей стране усилилось в постсоветское время, что связано с новыми геополитическими и геоэкономическими реалиями. Все больше оснований рассматривать территорию и акваторию как особый природный ресурс, который цементирует все географические науки. Он объединяет два класса ресурсов: пространства, выражаемого через геометрические параметры площади, формы и т.п., и местоположения – через известные критерии географического положения [4]. Это в значительной степени определяет возможности и перспективы социально-экономического развития. В этих условиях особенно важно разобраться в сущности российского географического пространства, его пересечениях с другими пространствами.

Особую роль здесь призван сыграть картографический метод [2]: картографический анализ вариантов границ позволяет подойти к выбору объекта межгосударственного исследования.

Исходными материалами для нашей работы стали в первую очередь многочисленные Интернет-ресурсы, в том числе картографические, интерпретированные согласно цели и постановке проблемы, а также основополагающие публикации по теме исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Азиатское политико-экономическое пространство в начале XXI в.

В Азии как крупнейшей по площади и населению части света существует множество пространственных структур и организаций самого разного свойства. Исторически самыми первыми, рожденными еще в XX в., являются Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР) – как географическое пространство выходящих к Тихому океану стран – и Ассоциация наций Юго-Восточной Азии (АСЕАН) – организация, нацеленная на политическое, экономическое и культурное сотрудничество (10 стран). В начале нового тысячелетия началось быстрое создание ряда организаций. Уже в 2001 г. было образовано Евразийское экономическое сообщество (ЕврАзЭС), в 2015 г. преобразованное в Евроазиатский экономический союз (ЕАЭС). В него входят пять государств, а еще более десятка стран находятся в ранге наблюдателей, заключивших отдельные соглашения или ведущих переговоры о вхождении в Союз. Параллельно в 2001 г. была учреждена Шанхайская организация сотрудничества (ШОС), в которую входят шесть соседних азиатских стран: Китай, Россия, Казахстан, Узбекистан, Киргизия, Таджикистан, а ряд стран относятся к наблюдателям. Еще одна политико-экономическая структу-

Таблица 1. Геополитические пространства Азии

Сообщество	Состав	Площадь, млн км^2	Население, млрд чел.
АТР	53 страны	60.0	4.0
АСЕАН	10 стран	4.5	0.7
ЕАЭС	Армения, Беларусь, Казахстан, Кыргызстан, Россия	22.4	0.2
ШОС	Индия, Казахстан, КНР, Кыргызстан, Пакистан, Россия, Таджикистан, Узбекистан	34.3	3.2
БРИКС	Бразилия, Индия, КНР, Россия, ЮАР	39.7	3.2
БЕА	116 стран	56.2	5.4
СА	Россия, КНР, Монголия, Казахстан	18.7	0. 2
ВА	17 стран	13.2	1.7
СВА	КНР, КНДР, Монголия, Россия, Республика Корея, Япония	14.0	0.8

Примечание. ЕАЭС и ШОС – только основные члены, БЕА – в границах континента, ВА – по [1], СВА – по нашим предложениям.

ра БРИКС (по первым латинским буквам входящих в нее стран – Бразилии, России, Индии, Китая и Южно-Африканской Республики), лишь частично относящаяся к Азии, была в окончательном виде оформлена в 2011 г.

Одним из политических лидеров во всех организациях (кроме АСЕАН) является Россия. В немаловажной степени именно поэтому Китай в 2013 г. выступил со стратегической инициативой “Один пояс – один путь” (ОПОП), объединяющей морские и сухопутные восточно-западные экономические коридоры. Состав стран-участников – аморфный и постоянно меняется (от 40 до 70 членов), дать его количественные характеристики сложно. Ясно, что это не только (и даже не столько) транспортно-экономический проект, но в первую очередь интеграционный геополитический проект в противовес ряду западных объединений. Недаром уже в начале 2015 г. было принято решение Москвы и Пекина о сопряжении ЕАЭС и ОПОП.

Но этого было явно мало, тем более что Россия не хотела бы терять политическое лидерство. Еще в 2013 г. проявились тенденции к формированию нового политического, экономического и культурного пространства [6, 8]. В 2016 г. эксперты Валдайского клуба Т.В. Бордачев и С.А. Караганов ввели в научный оборот понятие “Большая Евразия” [10], а вскоре идея широкой евразиатской общности на высшем уровне была выдвинута президентами России и Казахстана В.В. Путиным и Н.А. Назарбаевым на Петербургском международном экономическом форуме. В последующие годы эта идея, имеющая междисциплинарный характер, прорабатывалась активно международным и отечественным исследовательским сообществом – географами, экономистами, историками, политологами. Ее истоки легко обнаружить в системе идей научной евразийской школы российской эмиграции в 1920-е годы, где Россия рассматривалась как особого типа срединная цивилизация [14, 17]. Современные концептуальные построения весьма разнообразны и отражены уже в сотнях публикаций, они значительно шире, но представления о Большой Евразии до сих пор очень различны [11, 19, 21, 22]. Это подтверждается статьями недавнего сборника, полностью посвященного месту России в формирующейся Большой Евразии [5]. Однако пока четкая географическая делимитация Большой Евразии отсутствует [3].

Все рассмотренные выше структуры отличаются и по генезису, и по целям, и по четкости конструкций. Но их объединяет азиецентризм, т.е. принадлежность – полностью или частично – к Азии с ее могучим пространственным, экономическим и демографическим потенциалом (табл. 1). Важно, что во все эти структуры входит Азиатская Россия.

Азиатская Россия в геопространстве страны и Азии

Освоение в XVI–XVII вв. северной части евроазиатского континента завершило создание российского государства. Напомним, что все пространство от Урала до Тихого океана в царское время называлось Сибирью. В Восточно-Сибирское губернаторство с центром в Иркутске долго входили не только азиатско-притихокеанские, но даже американские земли. Только в советское время восточные территории страны стали называться Азиатской Россией, или Азиатской территорией страны – АТС (в отличие от Европейской территории страны – ЕТС), но тогда сюда входили Казахстан и среднеазиатские республики, вместе с Сибирью и Дальним Востоком. Однако до настоящего времени нет единого представления о том, что считать этими макрорегионами, их рубе-

Рис. 1. Границы территории по разным вариантам делимитации Сибири: *1* – экономическому, *2* – общегеографическому, *3* – федеральному, *4* – физико-географическому, *5* – гидрографическому; *6* – государственные границы, *7* – границы субъектов РФ.

жами и, соответственно, каков их административно-территориальный состав. Для Сибири рассмотрены [4] пять основных возможных подходов, исходя из географических и экономических предпосылок (рис. 1).

Экономический подход унаследован от последнего в СССР варианта экономического районирования, согласно которому Сибирь делится на Западно-Сибирский и Восточно-Сибирский экономические районы, куда входят республики, края, области и автономные округа – от Тюменской области на западе до Красноярского и Забайкальского краев на востоке. Якутия была отнесена к Дальневосточному экономическому району.

Однако по географическому положению, производственной специализации, преобладающим транспортным связям Республика Саха (Якутия) является типичной северной частью Восточной Сибири. Поэтому многими российскими учеными Якутия рассматривается как сибирская территория. В частности, Сибирское отделение РАН “числит” якутские научные институты в своем составе. Условно такой подход, т.е. с Якутией, назван *общегеографическим*.

От него принципиально отличается *федеральный* подход, когда с 2001 г. в составе Сибирского федерального округа как административно-политического образования отсутствуют и Тюменская область, и Ханты-Мансийский, и Ямало-Ненецкий автономные округа, и Республика Саха (Якутия), вошедшие в состав Уральского (первые три) и Дальневосточного округов. С конца 2018 г. в Дальневосточный округ переданы также Республика Бурятия и Забайкальский край. Тем самым полностью преуменьшается экономическое представление о роли Сибири, поскольку статистическая отчетность на макроуровне идет именно по федеральным округам.

Необходимость расширенной трактовки территориального состава Сибири полностью подтверждается *физико-географическим* подходом. Положение в средних и высоких широтах северного полушария и удаленность от Атлантического и Тихого океанов обусловили те общие природные

Таблица 2. Основные параметры Сибири и ее составляющих

Регион	Площадь территории, тыс. км^2/% от площади РФ	Численность населения, тыс. чел./% от населения РФ	Число муниципальных образований/% от РФ
Западная Сибирь	2454.1/14.3	14765/10.1	2542/11.8
Восточная Сибирь	4155.0/24.3	8181/5.6	1967/8.0
Республика Саха (Якутия)	3083.5/18.0	967/0.7	445/2.0
Сибирь	9692.6/56.6	23913/16.4	4954/21.8
РФ	17125.2/100	146781/100	21501/ 100

Составлено по: Российский статистический ежегодник. 2019: Стат. сб. / Росстат. М., 2019. 708 с.

особенности Сибири (прежде всего формирование холодного варианта резко континентального климата и наличие вечной мерзлоты), которые лежат в основе ее единства. Так, В.Б. Сочава в пределах субконтинента Северная Азия четко отчленял его основную внутриматериковую сибирскую часть (“равнинное и горное мегаположения краевой сферы материка”) от приморской дальневосточной полосы (“окраинное приокеаническое мегаположение”), где выделяются Северо-Тихоокеанская и Амуро-Сахалинская физико-географические области [15].

Близок к нему и *гидрографический* подход, когда под Сибирью понимается азиатская часть бассейна Северного Ледовитого океана. При этом к Сибири относятся водосборы крупнейших рек страны – Енисея, Лены и Оби, а также других крупных рек – Таза, Пясины, Хатанги, Оленёка, Анабара, Яны, Индигирки, Колымы. Для всех рек характерны субмеридиональное направление течения и высокое гидрологическое единство водного, ледового, термического и гидрохимического режимов.

Сравним площади выделенных вариантов. Наибольшая принадлежит выделенному при физико-географическом подходе (12.93 млн км^2), за ним следует гидрографический (11.25 млн км^2, 87% от физико-географического), общегеографический (9.69 млн км^2), экономический (6.61 млн км^2) и федеральный (5.14 млн км^2).

Вопрос о составе Сибири встал перед нами при выборе территории для написания шеститомной серии монографий [7]. Поскольку для разработки социально-экономической стратегии и других макроэкономических и политических разработок приходится ориентироваться на существующее административно-территориальное деление, был выбран общегеографический подход. В нем Сибирь рассматривается в наибольшем соответствии с ее естественно-географическими рубежами, т.е. включает как Тюменскую область с северными округами на западе, так и Республику Саха (Якутию) на востоке (речи о дальневосточном характере Республики Бурятия и Забайкальского края тогда не было). В таких границах Сибирь предстает как чрезвычайно обширный по площади (56.6% территории РФ), но малозаселенный – 23.9 млн чел. (16.4% населения страны) – макрорегион.

В то же время внутренняя структура Сибири неоднородна. Западная Сибирь отличается от Восточной прежде всего по физико-географическим параметрам (бóльшая часть Западной Сибири – Западно-Сибирская низменность, крупнейшая в мире лесоболотная зона), по ресурсному потенциалу (Западная Сибирь – основная топливно-энергетическая, а восточная – крупнейшая рудная базы страны), наконец, по тяготению транспортных потоков и, особенно, внешнеэкономических связей – соответственно на Запад и Восток. Сохраняется и распространенная экономическо-административная принадлежность Якутии Дальнему Востоку. Внутренняя пространственная структура Сибири представлена в табл. 2.

Что же касается Дальнего Востока, то здесь укореняется понятие “Тихоокеанская Россия” (ТР) [16]. В названии подчеркивается усиливающееся тяготение макрорегиона к Тихому океану, его ресурсам и странам АТР, а также возросшая роль геоэкономического и геополитического положения в долгосрочном развитии этой самой восточной российской акватерриториальной окраины Евразии. Кроме того, в свете восточного вектора развития РФ слово “Дальний” представляется устаревшим. В состав ТР уверенно включаются субъекты РФ, относящиеся к Дальневосточному федеральному округу, т.е. вместе с Якутией (но пока без Бурятии и Забайкальского края).

В то же время целесообразно вернуться к понятию “Северная Азия” (СА), тем более что в последние годы внимание страны к ее северному фасаду, в частности к арктической зоне, усиленно возвращается. Представляется, что, хотя ядром Северной Азии в современном понимании остается Азиатская Россия, т.е. Сибирь плюс Дальний Восток, в нее из физико-географических и геополитических соображений входят восточные области Казахстана (Павлодарская, Семипалатинская и Восточно-Казахстанская), Монголия и северные провинции Китая (Хэйлуцзян, Ляонин, Цзилинь,

Внутренняя Монголия и Синцзян-Уйгурский автономный район).

Восточная Азия и Северо-Восточная Азия как притихоокеанские сегменты евроазиатского континента

Восточная Азия как часть Азии выделяется давно и традиционно. И в физико-географическом, и в историческом, и в политическом отношении здесь чаще всего понимают территорию Китая (полностью или частично – без западной половины) с окружающими его государствами – Японией, КНДР, Республикой Кореей, Монголией (также часто без западной половины), а также Дальний Восток России.

Более расширенный вариант Восточной Азии (ВА), названный Восточной Евразией, предлагается П.Я. Баклановым и М.Т. Романовым [1]. В него включено 17 государств: кроме России (в пределах ТР), восточных частей Китая и Монголии, Японии, КНДР и Республики Кореи в него включены континентальные страны Юго-Восточной Азии и государства на островах Филиппинского и Зондских архипелагов. При этом единственным моментом, позволяющим отнести эти территории к понимаемой таким образом Восточной Азии, становится их принадлежность к восточной притихоокеанской окраине Евразии, при большом различии в их физико-географических условиях (соединены Внетропическая и Тропическая Азии), в экономическом, демографическом и культурном потенциалах. Но самым дискуссионным моментом в выделении такого макрорегиона является наличие значительных геополитических проблем в отношениях между многими странами, вплоть до напряженности в двухсторонних отношениях. В первую очередь имеются в виду акватерриториальные споры КНР с Филиппинами и Вьетнамом по поводу островов в Южно-Китайском море. В данных условиях выделение Восточной Азии в таких границах имеет чисто картографический, но не конструктивный характер.

По нашему мнению, именно это обстоятельство стало причиной новой инициативы Китайской академии наук (КАН). В начале ноября 2019 г. Институт географических исследований и природных ресурсов КАН собрал в Пекине организационное заседание по созданию новой геополитической и исследовательской структуры – Центра исследований (ассоциации) Северо-Восточной Азии. Как ее участники предполагаются Китай и Россия, а также Монголия и другие страны Внетропической Азии в Тихоокеанском бассейне. Были избраны руководящие органы Ассоциации, намечены ее первые шаги и исследовательские проекты.

Однако пока за скобками остались вопросы географической делимитации нового межстранового объединения, т.е. ее состав и границы. По нашему мнению, основными территориями преимущественно должны быть северные и восточные регионы России и Китая, а остальные страны – Монголия, Япония, КНДР и Республика Корея – должны входить целиком. Северные и восточные границы в таком случае определены: морские фасады Северного Ледовитого и Тихого океанов. Основная сложность – с западной и южной границей СВА.

Нами предлагается западную границу провести примерно по 80°–87° с.ш., соответствующей западной границе Восточной Сибири (рис. 2). Это означает, что западными регионами СВА будут Красноярский край, республики Хакасия и Тыва, а остальные регионы Восточной Сибири – Иркутская область, Республика Бурятия и Забайкальский край – также войдут в СВА. При таком подходе в СВА включаются самые экономически развитые территории на востоке России – Красноярский край и Иркутская область, к тому же в экономическом аспекте ориентированные на восток. Далее на юг граница СВА естественным путем продолжается по западной и юго-западной границам Монголии. Важно подчеркнуть, что при этом за границами СВА остается территория Казахстана, которая закономерно должна рассматриваться в макрорегионе Центральная Азия вместе с западными районами Китая.

Проблематичным является вопрос о южной границе СВА, который, разумеется, должны решить китайские географы. Как вариант можно предложить провести эту границу примерно по 32°–35° с.ш., тогда в СВА войдут не только северо-восточные провинции и Внутренняя Монголия КНР, но и часть Центрального Китая, в частности провинции Ганьсу, Шэньси, Шаньсу, Хэнань и др.

В таком варианте южная граница СВА проводится по южному водоразделу бассейна Хуанхэ и в макрорегион включается акватория Жёлтого моря. Бассейновый принцип [12, 13] всегда открывает хорошие перспективы для географической делимитации. В предлагаемом варианте в СВА входят бассейны как текущих на север и впадающих в моря Северного Ледовитого океана Енисея, Лены, Хатанги, Яны, Индигирки, Колымы, так и текущих на восток и впадающих в моря Тихого океана Анадыря, Амура, Хуанхэ (табл. 3). В рассматриваемый макрорегион также входят акватории морей Северного Ледовитого океана: Карского (восточная часть), Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, и морей Тихого океана: Берингова, Охотского, Японского и Жёлтого.

Рис. 2. Состав и границы Северо-Восточной Азии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Китайская инициатива о выделении особого географического пространства Северо-Восточной Азии (предположительно в предложенных нами границах) чрезвычайно перспективна для России геополитически и геоэкономически. Во-первых, в просматриваемом в дальнейшем на этой основе новом сообществе ощутимо видится северное пространство России вместе с его Арктической зоной и Северным морским путем, что в других структурах (см. табл. 1) затушевано. Во-вторых, не менее важно и соединение здесь уни-

Таблица 3. Бассейновая структура Северо-Восточной Азии

Океан	Море	Река	Страна
Северный Ледовитый	Карское	Енисей	Россия, Монголия
	Лаптевых	Хатанга, Анабар, Оленёк, Лена, Яна	Россия
	Восточно-Сибирское	Индигирка, Колыма	Россия
	Чукотское		Россия
Тихий	Берингово	Анадырь	Россия
	Охотское	Амур	Россия, Китай, Япония
	Японское		Россия, Япония, КНДР. Республика Корея
	Жёлтое	Хуанхэ	Китай, КНДР, Республика Корея

кального акватерриториального пространства Тихоокеанской России, ресурсно-промышленного пространства Восточной Сибири и мощного индустриально-демографического пространства Северо-Восточного и Центрального Китая. В-третьих, впервые реально возрастает роль монгольского пространства, в том числе как некоторого буфера между Россией и Китаем. В-четвертых, по-новому при этом заиграют транспортно-экономические коридоры, в первую очередь Транссиб [9] и Пекин–Улан-Батор–Улан-Удэ–Иркутск–Новосибирск [21], которые в последние годы почти потерялись в проектах ОПОП. Наконец, проект СВА может стать базой для более тесного сотрудничества России с Японией и Республикой Корея, хотя трудности этого ввиду особой позиции Китая неизбежны.

В этом аспекте вполне закономерно, что изначально данная инициатива исходит от ведущего географического учреждения КНР. Создание нового геополитического сообщества закономерно должно начинаться с комплексного и многостороннего исследования пространства (тем более когда оно является относительно компактным, как в данном случае), что и является прерогативой географии. Здесь открывается обширное поле деятельности для географических учреждений стран-участников, для России в первую очередь – институтов Сибирского и Дальневосточного отделений РАН.

Весной 2020 г. в Сибирском отделении РАН был создан Международный научный центр по проблемам трансграничных взаимодействий в Северной и Северо-Восточной Азии. Этот Центр будет нацелен на выработку и практическую реализацию концепции модернизации восточного вектора развития России и основанной на ней государственной политики с акцентом на усиление роли сибирских и дальневосточных регионов в экономических и научно-технических межстрановых взаимодействиях в Северо-Восточной Азии. Головной организацией определен Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН (г. Новосибирск). В формирующуюся структуру предполагается включить около 20 институтов Сибирского и Дальневосточного отделений РАН и вузов макрорегиона. При этом Северная Азия понимается в рассмотренных выше границах (но без казахстанских областей).

Одной из задач первых этапов совместных исследований Центра видится создание Атласа Северо-Восточной Азии. Комплексные атласы создаются для интегрирования всей информации и знаний об основных факторах и процессах формирования природной, экономической, социальной, демографической, социокультурной и политической обстановки, о современном состоянии окружающей среды, а также представляют их в формах, пригодных для решения проблем устойчивого развития территорий. При картографировании СВА будут использованы новейшие методические достижения тематического атласного картографирования, ГИС-технологии, методы дистанционного зондирования, опыт которых демонстрируют отечественные географы, в частности при недавнем создании Экологического атласа бассейна оз. Байкал [23], а также при завершающихся работах над атласом “Байкальский регион: общество и природа” [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бакланов П.Я., Романов М.Т.* Тихоокеанская Россия в геополитических структурах Восточной Евразии // Вопросы географии. Сб. 148. Россия в формирующейся Большой Евразии / отв. ред. В.М. Котляков, В.А. Шупер. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2019. С. 194–209.
2. *Батуев А.Р., Корытный Л.М.* Многоуровневое атласное экологическое картографирование (на примере Байкальского региона) // География и природные ресурсы. 2018. № 4. С. 296–306.
3. *Безруков Л.А.* Евразийская континентальная интеграция в экономико-географическом измерении: предпосылки, трудности, новые возможности // Вопросы географии. Сб. 148. Россия в формирующейся Большой Евразии / отв. ред. В.М. Котляков, В.А. Шупер. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2019. С. 228–262.
4. *Безруков Л.А., Корытный Л.М.* Роль территории Сибири в экономическом развитии России // География и природные ресурсы. 2009. № 3. С. 22–30.
5. Вопросы географии. Сб. 148. Россия в формирующейся Большой Евразии / отв. ред. В.М. Котляков, В.А. Шупер. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2019. 376 с.
6. Восточный вектор России: шанс для “зеленой” экономики в природно-ресурсных регионах: Материалы науч. семинара (оз. Байкал, Малое море, 27 июля–1 августа 2015 г.) / ред. Л.М. Корытный. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016. 236 с.
7. География Сибири в начале XXI в. В 6 томах / гл. ред. В.М. Плюснин. Новосибирск: Академическое изд-во ГЕО, 2014–2016.
8. *Дружинин А.Г.* Россия в многополюсной Европе: взгляд географа-обществоведа. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. 228 с.
9. Зона Транссиба как международный евразийский транспортный коридор / ред. Л.М. Корытный. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2016.
10. К Великому океану-5: От поворота на Восток к Большой Евразии / под ред. С.А. Караганова. М.: МДК “Валдай”, 2016. 48 с.
11. *Караганов С.А.* Россия – возвращение домой (вместо предисловия) // Вопросы географии. Сб. 148. Россия в формирующейся Большой Евразии / отв. ред. В.М. Котляков, В.А. Шупер. М.: Изд. дом “Кодекс”, 2019. С. 9–15.

12. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция в природопользовании. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2001. 183 с.
13. *Корытный Л.М.* Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 5–16.
14. *Савицкий П.Н.* Континент Евразия. М.: Аграф, 1997. 464 с.
15. *Сочава В.Б., Тимофеев Д.А.* Физико-географические области Северной Азии // Доклады географии Сибири и Дальнего Востока. 1968. Вып. 19. С. 3–19.
16. Тихоокеанская Россия: страницы прошлого, настоящего будущего / отв. ред. П.Я. Бакланов. Владивосток: Дальнаука, 2010. 276 с.
17. *Трубецкой Н.С.* Наследие Чингисхана. М.: Аграф, 1999. 560 с.
18. *Тулохонов А.К.* Политическая география Северной Азии в условиях глобализации. Улан-Удэ: ЭКОС, 2014. 256 с.
19. *Цветов А.* Вместо поворота: АСЕАН и евразийский проект России. 17 октября 2017 г. Московский центр Карнеги. https://carnegie.ru/2017/10/17/ru-pub-73368
20. Экологический атлас озера Байкал / отв. ред. А.Р. Батуев, Л.М. Корытный. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015.
21. *Lewis D.G.* Geopolitical Imaginaries in Russian Foreign Policy: The Evolution of Greater Eurasia // Europe-Asia Studies. 2018, Routledge. https//www.landfonline.com/doi/pdf/10.1080/-9668136.2018.1515348?need Assess=true
22. The Dawn of Eurasia: On the Trail of the New World Order. https://www.chatham-house.org/event/eurasia-rising-nev-world-order

Northeast Asia: Delimitation Preconditions, Composition, Boundaries

L. M. Korytny*

Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia
**e-mail: kor@irigs.irk.ru*

The approach to the political-economic delimitation of the geographical space of Russia is considered. It fits into the strategy of the eastward turn of Russia. An important place of Asian Russia in this space is determined. Five possible variants of identification of Siberia's territory are considered: economic, general geographical, federal, physical-geographical, and hydrographic, with the general geographical variant being preferred. It is suggested that the composition of Northeast Asia should include six countries: the northeastern segments of Russia (Eastern Siberia and the Far East), the northeastern and, partly, eastern and central segments of China as well as Mongolia, Democratic People's Republic of Korea, Republic of Korea and Japan. The delimitation of the western boundary of the macroregion along the western boundaries of Eastern Siberia and Mongolia, and of the southern boundary along the southern watershed divide of the Huang He River basin is substantiated. The delimitation of geographical space of Northeast Asia is supported by the integrated sea and river basin structure, according to the basin concept of natural resource use. An important stage was the idea of establishing the Scientific Center (Association) for Research in Northeast Asia as suggested by Chinese geographers and the establishment of the Scientific Center for Problems of Transboundary Interactions in North Asia and Northeast Asia in the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in spring 2020. Comprehensive atlas mapping of Northeast Asia by efforts of geographers of all macroregion's states would be one of the nearest-term objectives of collaborative research.

Keywords: eastward vector, associations of Asian countries, geographical space, aquaterritorial composition and borders of Siberia, East Asia, Northeast Asia, basin structure, mapping

REFERENCES

1. Baklanov P.I., Romanov M.T. Pacific Russia in the geopolitical structures of Eastern Eurasia. In *Voprosy geografii* [Problems of Geography]. Vol. 148: *Rossiya v formiruyushcheisya Bol'shoi Evrazii* [Russia in the Emerging Greater Eurasia]. Kotlyakov V.M., Shuper V.A., Eds. Moscow: Kodeks Publ., 2019, pp. 194–209. (In Russ.).
2. Batuev A.R., Korytny L.M. Multilevel atlas ecological mapping (as exemplified by the Baikal region). *Geogr. Nat. Resour.,* 2018, vol. 39, no. 4, pp. 296–306. doi 10.1134/S1875372818040029
3. Bezrukov L.A. Eurasian continental integration in the economic and geographical dimension: Prerequisites, difficulties, new opportunities. In *Voprosy geografii* [Problems of Geography]. Vol. 148: *Rossiya v formiruyushcheisya Bol'shoi Evrazii* [Russia in the Emerging Greater Eurasia]. Kotlyakov V.M., Shuper V.A., Eds. Moscow: Kodeks Publ., 2019, pp. 228–262. (In Russ.).
4. Bezrukov L.A., Korytny L.M. The role of the territory of Siberia in the economic development of Russia. *Geogr. Prir. Resur.*, 2009, no. 3, pp. 22–30. (In Russ.).
5. *Voprosy geografii* [Problems of Geography]. Vol. 148: *Rossiya v formiruyushcheisya Bol'shoi Evrazii* [Russia in the Emerging Greater Eurasia]. Kotlyakov V.M., Shuper V.A., Eds. Moscow: Kodeks Publ., 2019. 376 p.
6. *Vostochnyi vektor Rossii: shans dlya "zelenoi" ekonomiki v prirodno-resursnykh regionakh* [The Eastward Vector of Russia: The Chance for a "Green" Economy in Nat-

ural Resource Regions]. Korytny L.M., Ed. Irkutsk: Inst. Geogr. im. V.B. Sochavy, SO RAN, 2016. 236 p.

7. *Geografiya Sibiri v nachale XXI veka* [Geography of Siberia at the Beginning of the XXI Century]. 6 vols. Plyusnin V.M., Ed. Novosibirsk: GEO Publ., 2014–2016.
8. Druzhinin A.G. *Rossiya v mnogopolyusnoi Evrope: vzglyad geografa-obshchestvoveda* [Russia in Multipolar Europe: The View of a Human Geographer]. Rostov-on-Don: Yuzhn. Fed. Univ., 2016. 228 p.
9. *Zona Transsiba kak mezhdunarodnyi evraziiskii transportnyi koridor* [The Transsib Zone as an International Eurasian Transport Corridor]. Korytny L.M., Ed. Irkutsk: Inst. Geogr. im. V.B. Sochavy, SO RAN, 2016.
10. *K Velikomu okeanu-5: Ot povorota na Vostok k Bol'shoi' Evrazii* [To the Great Ocean-5: From East Turn to Greater Eurasia]. Karaganov S.A., Ed. Moscow: MDK "Valdai" Publ., 2016. 48 p.
11. Karaganov S.A. Russia – returning home (instead of the foreword). In *Voprosy geografii* [Problems of Geography]. Vol. 148: *Rossiya v formiruyushcheisya Bol'shoi Evrazii* [Russia in the Emerging Greater Eurasia]. Kotlyakov V.M., Shuper V.A., Eds. Moscow: Kodeks Publ., 2019, pp. 9–15. (In Russ.).
12. Korytny L.M. *Basseinovaya kontseptsiya v prirodopol'zovanii* [Basin Concept in Natural Resource Use]. Irkutsk: Inst. Geogr. im. V.B. Sochavy, SO RAN, 2001. 183 p.
13. Korytny L.M. The basin concept: From hydrology to natural resource use. *Geogr. Nat. Resour.*, 2017, vol. 38, no. 2, pp. 111–121.
14. Savitskii P.N. *Kontinent Evraziya* [The Continent of Eurasia]. Moscow: Agraf Publ., 1997. 464 p.
15. Sochava V.B., Timofeev D.A. Physical and geographical areas of North Asia. *Dokl. Geogr. Sibiri i Dal'nego Vostoka*, 1968, no. 19, pp. 3–19. (In Russ.).
16. *Tikhookeanskaya Rossiya: stranitsy proshlogo, nastoyashchego, budushchego* [The Pacific Russia: Pages of the Past, Present and Future]. Baklanov P.Ya., Ed. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2010. 276 p.
17. Trubetskov N.S. *Nasledie Chingiskhana* [The Legacy of Genghis Khan]. Moscow: Agraf Publ., 1999. 560 p.
18. Tulokhonov A.K. *Politicheskaya geografiya Severnoi Azii v usloviyakh globalizatsii* [Political Geography of Northern Asia in the Context of Globalization]. Ulan-Ude: EKOS Publ., 2014. 256 p.
19. Tsvetov A. Instead of turning: ASEAN and Russia's Eurasian project. Moskovskii Tsentr Karnegi, October 17, 2017. Available at: https://carnegie.ru/2017/10/17/ru-pub-73368 (accessed: 17.11.2020). (In Russ.).
20. *Ekologicheskii atlas ozera Baikal* [Ecological Atlas of Lake Baikal]. Batuev A.R., Korytny L.M., Eds. Irkutsk: Inst. Geogr. im. V.B. Sochavy, SO RAN, 2015.
21. Lewis D.G. Geopolitical imaginaries in Russian foreign policy: The evolution of Greater Eurasia. *Europe-Asia Studies*, 2018, vol. 70, no. 10, pp. 1612–1637.
22. Macaes B. *The Dawn of Eurasia: On the Trail of the New World Order*. Yale Univ. Press, 2018. 304 p.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 24–38

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА

УДК 911.375

ВНУТРИРЕГИОНАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ В РОССИИ: ПРИГОРОДЫ ВЫИГРЫВАЮТ У СТОЛИЦ

© 2021 г. Л. Б. Карачурина[a], *, Н. В. Мкртчян[a]

[a] *Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия*

**e-mail: lkarachurina@hse.ru*

Поступила в редакцию 17.01.2020 г.
После доработки 12.03.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Внутрирегиональная миграция в современной России играет важнейшую роль в реализации жизненных планов людей, способствует изменению конфигурации пространства. Каждое второе регистрируемое переселение внутри России происходит в пределах субъектов Федерации. Однако помимо общих масштабов и роли в изменении численности населения отдельных муниципальных образований о внутрирегиональной миграции не известно ничего. Собранная авторами статистическая информация о долговременной внутрирегиональной миграции по 1265 муниципальным образованиям 39 субъектов РФ (51.4% населения страны) за 2017 г. позволила сформировать по каждому региону матрицы прибытий, выбытий и нетто-миграции. Это дало возможность анализировать потоки и перераспределение населения во внутрирегиональных перемещениях между региональными центрами, пригородными муниципальными образованиями и региональной периферией. Анализ выявил, что количественные параметры перетока населения между центрами, их пригородами и другими муниципальными образованиями во всей внутрирегиональной миграции примерно соответствуют их доле в населении, все классы муниципальных образований вовлечены в миграцию в равной мере. Между региональными центрами и их пригородами существует интенсивный миграционный обмен. Центры не только уступают пригородам в показателях интенсивности миграционного прироста, 80% центров теряют население в миграционном обмене с собственными пригородами. В целом перераспределение населения в рамках внутрирегиональной миграции почти во всех изученных субъектах РФ способствует усилению концентрации населения в агломерационной зоне, формируемой региональными центрами и их пригородами. В отдельных субъектах еще одной зоной стягивания населения, как правило значительно меньшего размера, являются субцентры, представленные крупными городами на значительном удалении от регионального центра. Они формируют собственные зоны миграционного тяготения из ближайших периферийных муниципальных образований. В большинстве случаев эта миграция позволяет субцентрам лишь компенсировать миграционный отток в другие регионы страны или в центр своего региона.

Ключевые слова: сельско-городская миграция, периферия, региональные центры, пригороды, направления миграции, пристоличные территории, муниципальные образования

DOI: 10.31857/S2587556621010076

ПОСТАНОВКА ВОПРОСА И ИЗУЧЕННОСТЬ

Внутрирегиональная миграция в советское время выполняла наиважнейшую функцию как для людей, так и для государства. В первом случае мы говорим о наименее затратных[1] возможностях людей переселяться, как правило перемещаясь из села в города своих регионов, улучшать качество своей жизни, реализовывать желание менять место жительства. К концу XIX в. Россия была сельской страной, хотя и с весьма распространенным отходничеством [19]. Поэтому в советское время роль миграции в изменении конфигурации пространства, в жизни каждого отдельного человека и миллионов семей невозможно переоценить. Почти все новоселы городов в 1926 г. приехали из села, к 1970 г. сельских мигрантов была примерно половина, к 1979 г. уже около двух третей составляли межгородские мигранты [13, с. 58]. В целом с 1926 по 1970 г. миграционный прирост городского населения СССР составил почти 60 млн человек из 105 млн общего прироста[2]. Несмотря на то, что значительная часть переселений совершалась на дальние расстояния, около половины из них происходило внутри регионов: из отдаленных сел переезжали в центральные усадьбы, райцентры, из райцентров – в региональные центры. Такая

[1] Если отойти от классической экономической теории миграции, под затратами понимается минимизация издержек перемещения, встраивания в новый социум, возможность/невозможность сохранения социальных связей и т.п.

[2] См. Население СССР. Справочник / под общ. ред. Л.М. Володарского. М.: Политиздат, 1983. С. 31.

миграция, во-первых, отвечала логике урбанизации, во-вторых, логике доминирования локальных (коротких) переселений над межрегиональными (длинными), замеченной еще E. Ravenstein [50]. "Миграция из сел в города является одним из главных каналов социально-профессионального продвижения сельских жителей, открывающих путь к приобретению квалифицированных специальностей, овладению наиболее сложными видами труда, занятию более высокого социального положения. Она способствует... выравниванию возможностей продвижения лиц, родившихся в городах или в сельской местности", – писала Т.И. Заславская, характеризуя главные особенности миграции в послевоенном СССР [28, с. 52–53].

Важной частью сельско-городской миграции, и в первую очередь это касалось внутрирегиональной ее составляющей, всегда были переселения молодежи, уезжавшей в города для послешкольного обучения и на работу. Анализ, выполненный для Новосибирской области, показал, что из лиц, родившихся в довоенные годы и достигших в селе 15 лет, к 20-летнему возрасту там оставалось больше 52%, в поколениях 1946–1950 гг. рождений – уже только 40.2% [28, с. 110]. При этом из всех потенциальных сельских мигрантов 16–24 лет 57.6% собирались переселяться в крупный или средний город [28, с. 127], в большинстве случаев это были города своих регионов. Ж.А. Зайончковская на основании анализа переписей населения России 1959, 1970 и 1979 гг. оценивает отток молодежи из сельской местности РСФСР более чем в 50% в интервале от 15 до 24 лет [13, с. 102–103].

В современных условиях миграция молодежи едва ли не повсеместно направлена из внутрирегиональной периферии в региональные столицы [30]. В обратном направлении зачастую переселяются семьи с детьми, люди старших возрастов, но после молодежного пика миграция всегда была и сейчас остается менее интенсивной [17], и такая картина характерна и для развитых стран [45, 48, 49]. Начиная движение по своей жизненной орбите, молодежь демонстрирует высокий уровень пространственной мобильности и в межрегиональной миграции. Однако число и мощность барьеров, стоящих на пути межрегиональных мигрантов (молодых и более старших возрастов), представляются более высокими, чем на пути внутрирегиональных мигрантов. В качестве таких дополнительных барьеров описываются: информационные (худшее понимание ситуации на отдаленных территориях по сравнению с более близкими) [11], административно-институциональные (необходимость регистрации, прикрепления к учреждениям здравоохранения, образования в новом месте проживания) [14]; социально-психологические – необходимость построения новых социальных связей и социального окружения[3] и отрыва от привычной среды [22, 36, 51]; природно-климатические; необходимость более высоких начальных затрат на обустройство, дорогу и переезд. Специфическим барьером выступает также качество полученного образования и возможности его применения вне территориально близких условий. Исследование V. Venhorst с соавторами [53] для Нидерландов показало, что в поисках работы выпускники колледжей преодолевают меньшие расстояния, чем выпускники университетов. Исследователи предполагают, что условия местных рынков труда способны лучше удерживать выпускников, обладающих более низким уровнем образования.

В целом преодоление этих барьеров проще при переселении на сравнительно короткие расстояния. Вместе с тем переезд в пределах региона далеко не всегда позволяет реализовать цели, которые ставит перед собой переселенец. Вероятно, в случае дихотомии внутри- или межрегиональной миграции действует своеобразный "естественный отбор"[4], когда наиболее предприимчивые, образованные и здоровые уезжают дальше.

Однако было бы неверно рассматривать современную внутрирегиональную миграцию только как поток из сел в города: чем сложнее устроена региональная система расселения и дифференцированнее социально-экономические условия, тем неоднозначнее предстает система направлений миграции. В последние годы внимание исследователей привлекают пригороды, их аттрактивность для разных категорий мигрантов. Анализ мобильности между центрами, пригородами и внутрирегиональной периферией только начинается в России [3, 32], но давно стал важной темой зарубежных исследований. Впрочем и в России вполне традиционный сельско-городской сюжет в изучении миграции (а он характерен в первую очередь именно для внутрирегиональных перемещений), рассмотренный в 1970–80-е годы Т.И. Заславской [28], В.И. Переведенцевым [35], А.И. Игудиной и Г.В. Иоффе [15], Л.В. Корель [20], Л.П. Фуксом [42], А.И. Алексеевым [1], Ж.А. Зайончковской [13] и некоторыми другими исследователями, в последние десятилетия вытесняется попытками представления миграции как сложного процесса, связывающего поселения разного уровня иерархии. Одно из таких исследований [31] показало, что в современной сельско-городской миграции дифференциация между миграционными балансами пригородов, региональных центров и периферийных террито-

[3] При этом И.Б. Бритвина и М.В. Киблицкая на материалах своего исследования в Курганской области прямо указывают на то, что "процесс адаптации происходит легче у тех переселенок, которые учились здесь (часто приезжали) или долго жили в Шадринске" [4, с. 143].

[4] Термин, примененный впервые А.И. Алексеевым для описания сельских территориальных общностей Центральной России [2, с. 53] и, по нашему мнению, емко описывающий также глубинные различия между внутри- и межрегиональной миграцией.

Рис. 1. Регионы, данные о внутрирегиональной миграции в которых использованы в статье.
Примечание: без учета отдельных территорий Новосибирской области и Красноярского края, упомянутых в тексте.

рий является более выраженной, чем зональные (природные) различия. Внутрирегиональная миграция рассматривается как одна из составляющих усложняющейся мобильности населения [27], в контексте пульсирующей маятниковой миграции [25, 26].

Исследования на региональном уровне обычно ограничиваются описанием данных о соотношении внутри- и межрегиональной (иногда и международной) миграции в миграционном балансе отдельных территорий, выделением групп муниципальных образований по доле внутрирегиональной миграции или значениям коэффициентов внутрирегиональной нетто-миграции (например, для Башкортостана [6], Якутии [38, 39], Калмыкии [44], Курской области [21], Хабаровского [34] и Алтайского [37] краев и др.), реже – в историческом [5] или расселенческом контексте [10, 12, 41, 43, 47]. Особый интерес представляет исследование интенсивности миграционных связей муниципальных образований Алтайского края, выполненное Е.В. Тарасовой [40] на до этого не использовавшихся данных матриц внутрирегиональной (межрайонной) миграции. Анализ показал, что для всех муниципальных образований Алтайского края характерны преимущественно соседские миграции, т.е. переселения осуществляются между граничащими районами и городскими округами. Однако они несимметричны: у большинства муниципальных образований число территорий выхода мигрантов и территорий вселения во внутрикраевом обмене неоди-наково.

Иных работ, пытающихся представить внутрирегиональную миграцию комплексно, не с позиций отдельных потоков (село–город, город–город и т.п.) и одновременно показывающих внутреннюю связность пространства регионов, мы не обнаружили. Поэтому цель данного исследования – анализ перераспределения населения, между крупными частями регионов России: столицами, их пригородами и периферией, в которой выделяются субцентры, способные конкурировать со столицей в результате внутрирегиональной миграции.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В исследовании используются данные о долговременной[5] внутрирегиональной миграции за

[5] Росстат текущим учетом миграции фиксирует долговременную миграцию, или перемещения со сменой места жительства навсегда или на длительное время. С 2011 г. учету подлежат все перемещения, связанные с переменой места жительства и сопровождающиеся регистрацией по месту жительства или по месту пребывания на срок девять месяцев и более. Согласно положениям Росстата вне учета находится передвижение лиц, переехавших из одного сельского населенного пункта в другой сельский населенный пункт в пределах административного района или сменивших место жительства в пределах одного и того же населенного пункта (за исключением передвижений внутри городов, имеющих районное деление) (Методологические положения по статистике. Вып. 1. М.: Росстат, 1996. Раздел 2.1. https://gks.ru/bgd/free/B99_10/IssWWW.exe/Stg/d000/i000030r.htm (дата обращения 16.03.2020)). Однако, как показывает практика, внутригородская миграция учитывается не повсеместно (например, до появления Новой Москвы этого вообще не было в Москве и сейчас, по всей видимости, представлено только выборочно, но учитывается в Санкт-Петербурге). Исходя из имеющихся данных, можем предполагать, что в 2017 г. во внутрирайонной миграции учитывались переселения между отдельными сельскими поселениями, имеющими статус муниципального образования, а также отдельными населенными пунктами, входящими в городской округ. При этом непонятно, какая миграция учитывалась, например, в пределах городских округов, состоящих из одного (единственного) населенного пункта (г. Балашиха, г. Долгопрудный и т.п.).

Таблица 1. Фрагмент матрицы внутрирегиональной миграции по Республике Коми, прибытия, 2017 г.

Территория выбытия	Территория прибытия							
	МО Республики Коми, всего	Ижемский МР	Княжпогостский МР	Койгородский МР	Корткеросский МР	⟨...⟩	Усинск ГО	Ухта ГО
МО Республики Коми, всего	**18845**	**457**	**379**	**330**	**1076**		**478**	**2283**
Ижемский МР	**541**	106	3	1	7		12	107
Княжпогостский МР	**590**	1	70	5	10		3	134
Койгородский МР	**398**	0	2	122	8		8	5
Корткеросский МР	**1183**	5	4	11	387		9	16
⟨...⟩								
ГО Усинск	**496**	10	3	1	14		66	75
ГО Ухта	**2044**	87	72	9	10		62	456

Примечание. Заливкой выделены ячейки с данными по внутрирайонной (внутриокружной) миграции.
Источник: Комистат, данные, предоставленные по запросу.

2017 г.[6] (статистическая форма t_pt2n – "Внутрирегиональная миграция населения по территориям прибытия и выбытия"), полученные по запросам в территориальные органы Росстата. Запросы были направлены почти во все территориальные органы, в результате были получены данные из 39 регионов. Кроме того, по двум регионам получены данные не по всем муниципальным районам и городским округам (по Новосибирской области – по г. Новосибирску, Новосибирскому муниципальному району, г. Бердску; по Красноярскому краю – по г. Красноярску и территориям края, принадлежащим к районам Крайнего Севера и приравненным к ним местностям).

В результате в работе использованы данные о внутрирегиональной миграции по 1265 муниципальным районам и городским округам России, или 53.8% от их общего числа. В них проживало немногим более половины – 51.4% жителей России (на начало 2017 г.). Отсутствовали данные по многим ЗАТО, входящим в состав данных регионов, и их не всегда удавалось рассчитать. В итоге в исследовании в большей мере представлены регионы европейской части страны (рис. 1). Полагаем, однако, что получившийся перечень регионов достаточно репрезентативен для всей России, так как он охватывает все части страны и практически все типы регионов по уровню социально-экономического развития, особенностям расселения и т.п. базовым характеристикам.

[6] Данные за 2016 г. были предоставлены не по всем регионам, кроме того, первичные данные содержали необъяснимые несоответствия в размерах внутрирайонной (внутриокружной) миграции: в большинстве регионов число прибывших не соответствовало числу выбывших. При этом они балансировались по региону в целом, а общее число прибывших и выбывших соответствовало данным, размещенным в Базе данных показателей муниципальных образований (БДПМО) за соответствующий год.

На основе данных, полученных от территориальных органов Росстата, по каждому региону были сформированы матрицы прибытий, выбытий и нетто-миграции населения размерностью, соответствующей числу муниципальных образований (МО) ранга городского округа (ГО), муниципального района (МР) в каждом регионе. Например, для Республики Коми матрицы имели размерность 20 × 20 (табл. 1) и характеризовали 380 миграционных связей между ними, еще 20 ячеек матрицы содержали информацию о миграции внутри муниципальных районов/городских округов. По Алтайскому краю матрица имела размерность 69 × 69 и описывала 4692 двусторонние связи между МО региона и 69 ячеек с информацией о миграции в пределах МО.

Анализируя данные о внутрирегиональной миграции, необходимо учитывать и особенности муниципального территориального деления России, прежде всего произвольное формирование городских округов [7, 8]. В частности, во многих регионах бóльшая часть городских округов выделяются из состава района, в других же изучаемых регионах есть городские округа (иногда их много), сформированные на месте муниципальных районов. Чтобы добиться сопоставимости регионов при сравнении доли внутрирайонной (внутриокружной) миграции, городские округа в аналитических целях были объединены с одноименными муниципальными районами (ГО г. Моршанск с Моршанским МР, Тамбовская область) (табл. 2).

Поскольку целью исследования является оценка перераспределения населения между различными типами МО, для анализа использовались в основном абсолютные параметры внутрирегиональной миграции. На основании сформированных по каждому региону матриц рассчитывались агрегированные показатели нетто-миграции (в

Таблица 2. Распределение долговременных внутрироссийских мигрантов по направлениям переселений, миграционный оборот, 2017 г., %

Номер строки	Вид миграции	Внутрироссийская миграция, всего	в том числе внутрирегиональная миграция
1	Миграция в пределах МО	7.8	14.8
2	Миграция в пределах МО, если городские округа объединяются с их одноименными районами	9.8	18.6
3	Миграция, затрагивающая региональные столицы и их пригороды	17.3	32.8
4	в/из столицы, всего	13.2	25.0
5	в/из пригорода, всего	4.1	7.8
6	только между столицами и пригородами, всего	5.6	10.6
7	Миграция в/из других МО	27.6	52.4
8	Миграция в/из другого региона	47.3	–
9	Итого (строки 1, 3, 7, 8)	100.0	100.0

Источник: расчеты авторов на основе данных, полученных из территориальных органов Росстата, 38 регионов РФ (без учета МО Московской области, Новосибирской области и Красноярского края).

отдельных указанных случаях – миграционного оборота) во внутрирегиональной миграции для региональных центров, пригородных МО, региональной периферии и крупных субцентров. Основные методические сложности на этом этапе связаны с отнесением того или иного МО к одному из вышеназванных классов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общие итоги внутрирегионального перераспределения населения между муниципальными образованиями разных типов

В 2017 г. внутрирегиональная миграция составила 47.3% всех учтенных переселений в пределах России в исследуемых 39 регионах. Миграция в пределах МР и ГО, с учетом объединения ГО с одноименными МР, составила 9.8% всех внутристрановых переселений, или 18.6% всей внутрирегиональной миграции. Вычленение такого типа миграции имеет значение, например, для межстрановых сопоставлений, когда внутрироссийская миграция на уровне МО сравнивается с миграцией между соответствующими территориями других стран [18]: для более корректного сопоставления эти перемещения не должны рассматриваться.

Самыми крупными по численности жителей МО в каждом регионе являются региональные столицы, также мы выделяем пристоличные (пригородные) МО. Пригороды мы определяем по критерию ближайшего соседства с региональным центром, это может быть одно МО или несколько, почти все они имеют миграционный прирост населения, многие по интенсивности нетто-прироста опережают свои региональные центры[7]. Столица и ее пригороды вместе образуют Центр, притягивающий мигрантов из всех остальных МО данного региона. Согласно нашим расчетам, доля региональных столиц в населении рассматриваемых регионов составляла на начало 2017 г. в среднем 32.2%, их пригородов – 5.8% от общей численности населения данного региона. Примерно таков же, что и в населении, их удельный вес во внутрирегиональном миграционном обороте – 32.8% от всей миграции (см. табл. 2) и 38.5% от всей миграции без учета внутрирайонной и внутриокружной. На миграцию между всеми остальными МО приходится соответственно 52.4 и 61.5%. Таким образом, никаких особенно интенсивных переселений между региональными столицами и их пригородами и остальными территориями регионов (внутрирегиональной периферией) не происходит, а стягивание населения в центры определяет высокая результативность миграционных связей между ними и другими территориями регионов, т.е. преобладание прибытий над выбытиями.

Почти половина (45.7%) прибывших в региональные столицы – выходцы из территорий внутрирегиональной периферии, 45% – из других регионов, соответственно чуть больше 9% мигрантов перемещаются из пригородов.

Из региональных столиц выбывают чаще всего в другие регионы или собственные пригороды. Для пригородов очень большую роль (45% всех перемещений) играет миграция из региональных столиц, в региональные столицы так же выбывают 42% выбывающих из пригородов. Миграция с территориями внутрирегиональной периферии и с другими регионами для пригородов играет су-

[7] Подробнее методику выделения см. [32, 33].

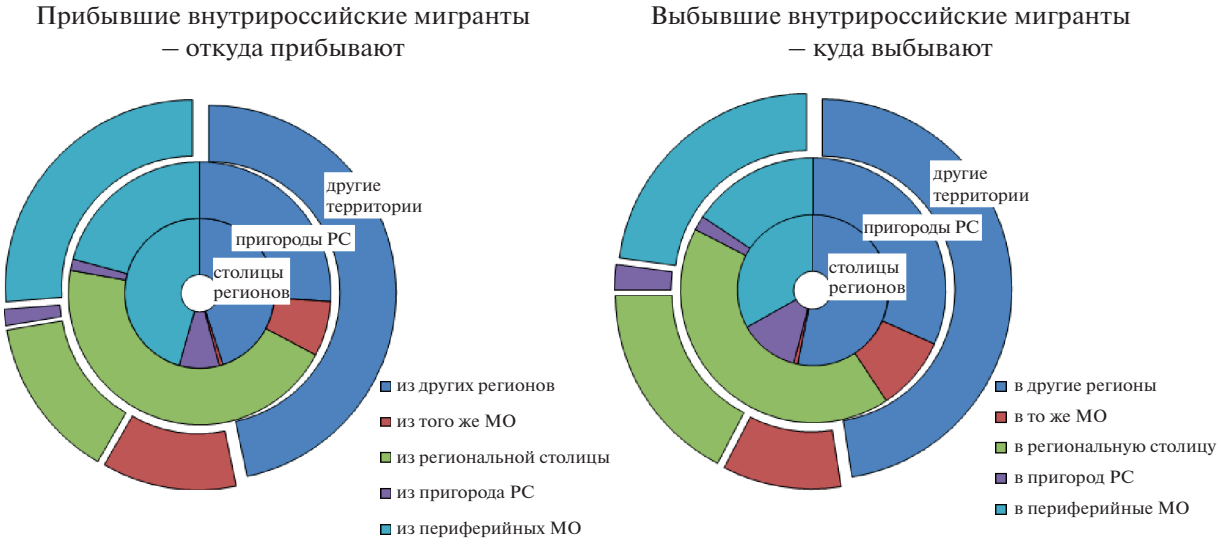

Рис. 2. Распределение прибытий и выбытий для территорий разных типов по основным направлениям, вся внутрироссийская миграция, 2017 г., %.
Источник: расчеты авторов на основе данных, полученных из территориальных органов Росстата, 38 регионов РФ (без учета МО Московской области, Новосибирской области и Красноярского края).

щественно меньшую роль (рис. 2). Территории внутрирегиональной периферии в равной мере вовлечены в миграцию как со своими центрами и их пригородами, так и с другими регионами, при этом выбывают в свои центры чаще, чем принимают мигрантов из них.

Таким образом, мы получили подтверждение об интенсивном миграционном обмене между столицами и их пригородами как территориями, являющимися ближайшими соседями, а также о равной вовлеченности их жителей, наряду с жителями периферийных территорий, во внутрирегиональную и межрегиональную миграцию. Это означает, что если жители периферии решаются на переезд, то фактор расстояния, на которое оно переезжают (относительно близкое – в рамках внутрирегиональной миграции или дальнее – в рамках межрегионального переселения), перестает играть преферентную роль.

Баланс миграции в региональных центрах

Необходимо понимать, что не все региональные столицы имеют прирост во внутрироссийской и даже во внутрирегиональной миграции. Если рассматривать баланс миграции наиболее крупных региональных столиц (табл. 3), с населением более 1 млн человек или немного не достигающих этого порога, видно, что все они испытывают отток населения в собственные пригороды. В большинстве регионов он перекрывается притоком из территорий внутрирегиональной периферии, что и обеспечивает в столицах общий положительный баланс внутрирегиональной миграции. Но, например, Самара не имела и этой миграционной подпитки за счет собственной периферии. И это несмотря на то, что она, наряду с 700-тысячным Тольятти, является одним из центров одной из крупнейших в России по числу жителей двухъядерной агломерации. Отток населения идет не только в пригороды, но и в расположенный за их пределами Красноярский МР, и даже в Кинель.

Происходит ли перераспределение населения в пределах территорий, отнесенных к пригородам?

Логика сложившихся региональных систем расселения и применяемая методика вычленения пригородных МО при отсутствии статистических данных по более низкому, чем муниципальные районы и городские округа, уровню иерархии не позволяют анализировать миграции внутри пригородов, так как в большинстве регионов пригородный пояс формируется всего одним МО. Однако можно попытаться ответить на данный вопрос путем рассмотрения миграции между МО Московской области, являющейся в своем роде “всероссийским” пригородом. Классификация МО Московской области по степени удаленности их центров от Московской кольцевой автодороги (МКАД) показывает стягивание населения в МО, расположенные наиболее близко к Москве (табл. 4). Однако масштабы этого перетока невелики, они существенно меньше того, что получает ближайший к столице пояс МО за счет притока из других регионов страны, в том числе, по всей вероятности, и из столицы. Согласно нашим расчетам, за счет межрегиональной миграции в 2012–2017 гг. территории Московской области, уда-

Таблица 3. Составляющие нетто-миграции населения крупнейших региональных столиц во внутрироссийской миграции, 2017 г., тыс. человек

Город	Всего	в том числе за счет миграции:			
		с другими регионами России	внутри-региональной	из нее миграция:	
				с пристоличными территориями	с остальными МО
Краснодар	11.0	7.3	3.8	−0.4	4.2
Казань	3.5	1.8	1.7	−3.0	4.6
Пермь	2.6	−1.4	4.0	−1.1	5.1
Уфа	1.6	−0.9	2.5	−2.6	5.1
Саратов	1.3	−2.1	3.4	−0.5	3.9
Красноярск	0.9	−1.0	1.9	−1.4	3.2
Челябинск	0.4	−2.2	2.5	−0.9	3.4
Новосибирск	0.3	1.6	−1.3	−2.3	1.0
Самара	−5.2	−2.2	−3.1	−3.1	0.1
Омск	−5.8	−7.7	1.8	−0.2	2.0
Итого	10.5	−6.7	17.2	−15.5	32.7

Таблица 4. Перераспределение населения между зонами* Московской области, разноудаленными от МКАД, 2016–2017 гг., тыс. человек**

Всего	Всего	Нетто-миграция для зоны, удаленной от МКАД, км:			
		0–30	31–60	61–100	свыше 100
	0.0	11.5	−0.5	−7.4	−3.6
В миграции с зоной, удаленной от МКАД, км:					
0–30	−11.5	0.0	−3.3	−5.8	−2.4
31–60	0.5	3.3	0.0	−2.0	−0.8
61–100	7.4	5.8	2.0	0.0	−0.5
Свыше 100	3.6	2.4	0.8	0.5	0.0

Примечание. * Зоны представляют группы МО, административные центры которых удалены от МКАД на соответствующее расстояние в км; ** без данных по ЗАТО Власиха, Юбилейный, Звездный городок.
Источник: Мособлстат, данные, предоставленные по запросу.

ленные менее чем на 30 км от МКАД, имели среднегодовой миграционный прирост населения за счет миграции с другими регионами страны в среднем в 64.7 тыс. человек в год.

В то же время, как показали расчеты, перераспределение населения между отдельными частями Московской области (севером, югом, западом и востоком), между отдельными лучами, расходящимися от столицы, практически отсутствует. Люди из Одинцово в Мытищи или Ногинск почти не переезжают. Получается, что регион без центра, каким по факту является Московская область, в миграции весь замкнут на Москву и слабо связан потоками миграции внутри себя, т.е. между МО. Возможно, в других пригородах также нет перетока населения между отдельными их частями, но статистически подтвердить это пока невозможно.

Связи региональных центров и пригородов

За немногими исключениями, наиболее привлекательны во внутрироссийской миграции пригороды региональных столиц. В целом их миграционный прирост, формируемый в основном за счет внутрирегиональной миграции, по интенсивности (т.е. в расчете на 1000 человек населения) превосходит прирост населения центров регионов [33]. С осторожностью констатируем, что, по-видимому, мы наблюдаем сейчас складывание новой для России тенденции – формирование устойчивого миграционного прироста пригородов за счет миграции с собственными региональными столицами. По аналогии с развитыми странами, этот тренд можно было бы приписать нарождающейся в России субурбанизации, однако однозначных статистических оснований для таких выводов нет, а полевые наблюдения свидетельствуют, как минимум, о равном весе много-

этажной и малоэтажной застройки в расплывающихся вокруг региональных центров пригородах, и значит о классической субурбии, массовой "одноэтажной Америке" в российских регионах говорить вряд ли возможно. Не выявляет такую классическую субурбанизационную историю и анализ покупателей недвижимости в Московской области [23, 24]. В некоторых республиках пригородные зоны, хотя и застраиваются малоэтажным жильем, но без городской инфраструктуры [3]. Это, скорее, анти-субурбанизация по отношению к той логике развития, улучшения качества жизни и создания однородной комфортной среды, которая заложена в идеях классической субурбанизации [46, 52].

Данные по внутрирегиональной миграции позволяют анализировать потоки между региональными столицами и их пригородами. Мы использовали информацию за 2017 г. по всему 41 рассматриваемому региону, однако у Калужской и Тульской областей, а также Ямало-Ненецкого АО выделить пригородные зоны не удалось. Данные по остальным 38 регионам показывают, что 80% региональных столиц теряли население в миграционном обмене с собственными пригородами. Наибольший по абсолютным масштабам переток населения в пользу пригородов отмечен в Самарской, Новосибирской областях, республиках Татарстан и Башкортостан, Красноярском крае, т.е. в регионах с очень крупными по численности населения региональными центрами и большими пригородными зонами. В то же время отток, например, из Омска невелик.

Статистически переток в пользу пригородов мог бы быть больше, но ряд региональных столиц (Владимир, Тюмень, Тула) прирастили свою территорию за счет ближайших пригородов, а такие, как Барнаул, Краснодар, Калуга, имеют в составе городского округа большое количество сельских населенных пунктов, которые не относятся к пригородным МО и по ним нет данных для отдельного анализа их миграционного баланса.

Миграционная убыль населения 38 региональных центров со своими пригородами в 2017 г. (рис. 3) составила 22.2 тыс. человек (подобный расчет за 2016 г. по неполному перечню регионов показал схожие результаты). Но в целом по стране миграционный баланс пригородов во многом зависит от размера перетока населения в крупнейших городских агломерациях. Данные о межрегиональной миграции показывают, что отток населения из Санкт-Петербурга в 2018 г. в Ленинградскую область составил 10.7 тыс. человек, а за 2011–2018 гг. – 20.6 тыс. Согласно тем же данным, Москва пока еще перетягивает мигрантов у Московской области: за 2011–2018 гг. миграционный прирост Москвы в обмене с областью составил 36.6 тыс. человек, хотя внутри этого периода были годы, когда область перетягивала население у Москвы. Однако исследования с использованием данных мобильных операторов показали, что население Москвы завышено, а Московской области, напротив, занижено, за счет неучтенной миграции в пользу области и "двудомности" многих москвичей [25]. И, конечно, считать всю территорию Московской и Ленинградской областей пригородами крупнейших российских городов не представляется верным. Вполне возможно, что переток в ближайшие к ним территории характеризуется иными параметрами.

Прямо экстраполировать результаты расчетов по 38 регионам на Россию в целом не вполне корректно, но полагаем, что не будет ошибкой оценить масштабы перетока населения из региональных столиц в их пригороды в размере 40–45 тыс. человек ежегодно. Это примерно соответствует миграционному приросту за счет внутрироссийской миграции населения Санкт-Петербурга (47 тыс. человек в 2017 г.) и в 1.5 раза больше соответствующего показателя Краснодарского края (28 тыс. в 2017 г.). Обмен с региональными столицами обеспечивает около 60% миграционного прироста населения их пригородов за счет внутрирегиональной миграции, остальное добавляет приток с периферии. Приведенные цифры очень усредненные: по данным исследований в Республике Бурятии, пригороды растут в основном за счет притока сельских жителей из районов республики [3]; в соседней Иркутской области, напротив, увеличение пригородов происходит в основном за счет переселения в них жителей Иркутска [9].

Внутрирегиональная миграция на периферии регионов

Известно, что внутрирегиональная периферия также внутренне неоднородна, отток населения наиболее силен из наиболее удаленных от региональных столиц территорий [24]. Одновременно в некоторых регионах на периферии возникают субцентры, стягивающие население из близлежайших МО. Чаще всего эти субцентры представлены большими (с населением свыше 100 тыс. человек) или средними (от 50 до 100 тыс.) городами (табл. 5).

Анализ показал, что лишь немногие субцентры[8], даже представленные большими городами, имели миграционный прирост населения во внутрироссийской миграции, но их миграционная убыль прежде всего связана с оттоком населения в другие регионы страны. Только ГО Сочи имел значительный миграционный прирост населения в миграции с другими регионами страны.

Неполный перечень регионов, по которым у нас есть статистические данные (напомним, в статье

[8] В качестве субцентров рассматривались нестоличные "вторые" города с численностью населения более 100 тыс. человек, не входящие в состав агломерации региональной столицы.

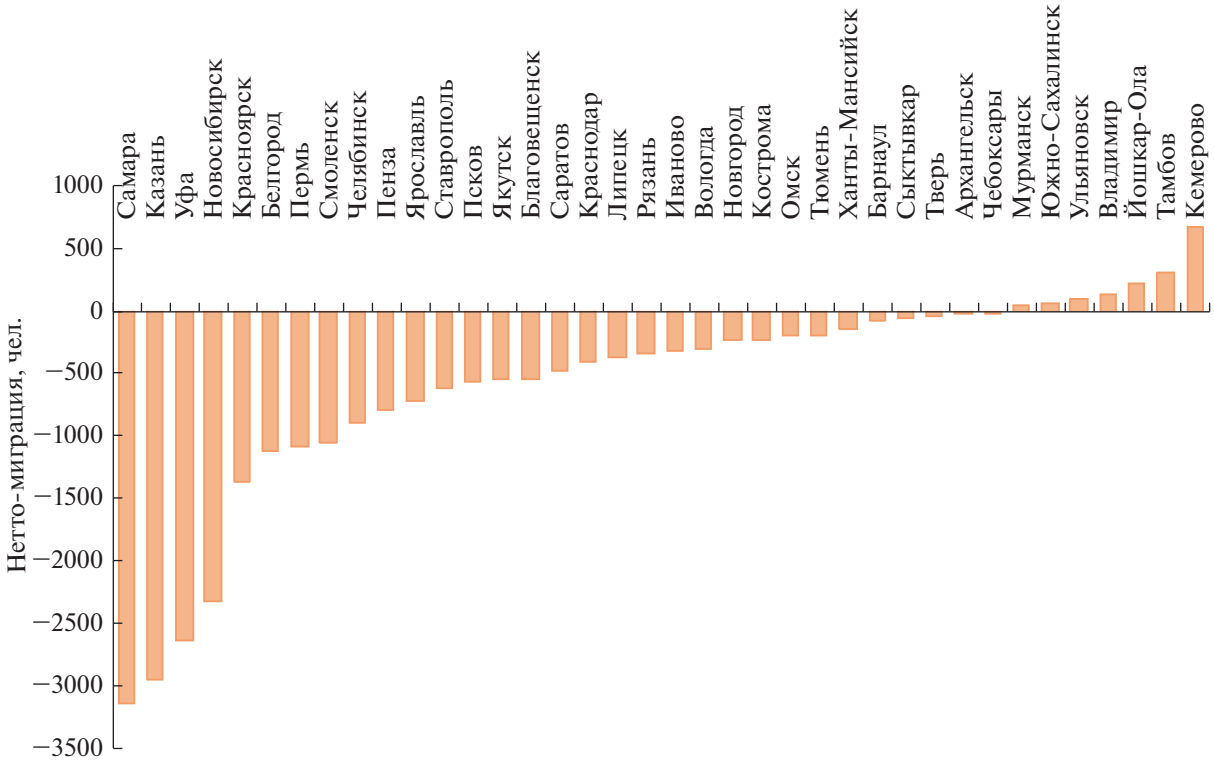

Рис. 3. Нетто-миграция населения региональных столиц со своими пригородами, 2017 г., человек.

рассматривается 41 регион), не позволяет делать количественных оценок относительно числа (доли) регионов, имеющих субцентры и давать их иные спецификации. Поэтому их роль во внутрирегиональной миграции мы рассмотрим на примерах Белгородской и Кемеровской областей.

Для каждой из этих областей на основе разницы нетто-миграции МО области с ее региональ-

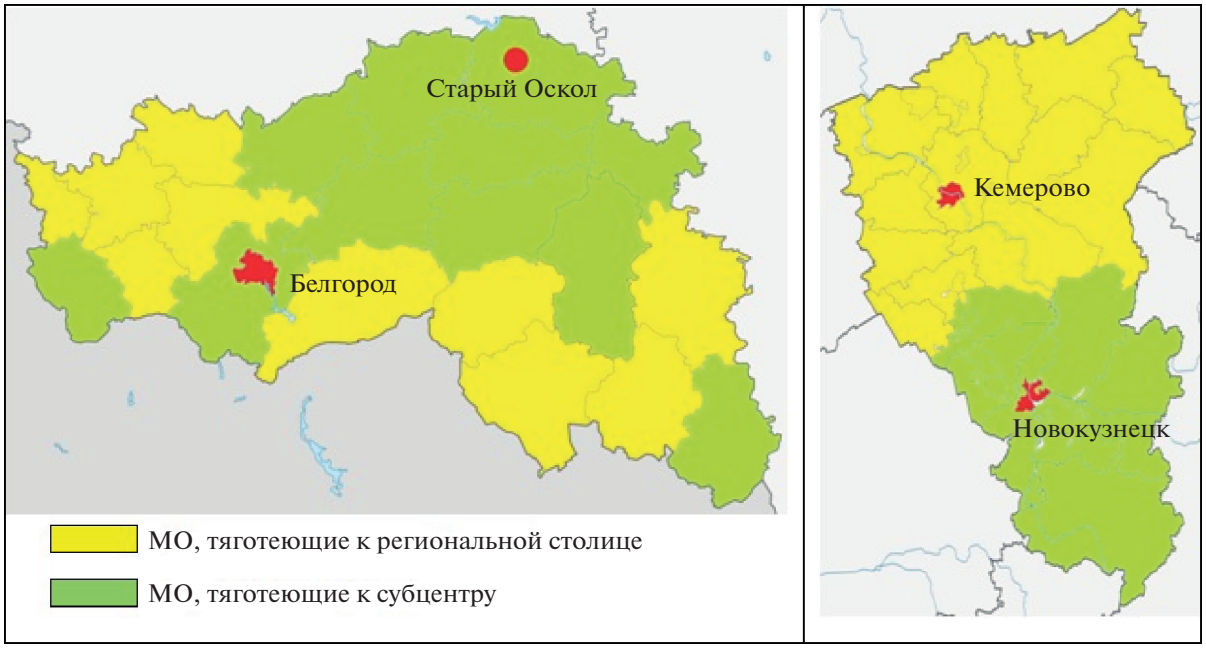

Рис. 4. Разделение зон тяготения во внутрирегиональной миграции между региональным центром и субцентром: пример Белгородской и Кемеровской областей, 2017 г.

Таблица 5. Составляющие нетто-миграции населения субцентров во внутрироссийской миграции, 2017 г., человек

Городской округ (муниципальный район)	Всего	в том числе за счет миграции:				
		с другими регионами России	внутрирегиональной	из нее миграция:		
				с региональной столицей	с пригородами региональной столицы	с остальными МО
Новокузнецк	−274	−2088	1814	48	19	1747
Набережные Челны	−142	−430	288	−676	−192	1156
Сочи	10729	9549	1180	49	−7	1138
Магнитогорск	−1351	−1619	268	−179	−23	470
Сургут	189	−908	1097	46	−16	1067
Череповец	−557	−933	376	78	28	270
Стерлитамак	−842	−941	99	−483	−25	607
Старый Оскол	−82	−310	228	37	−22	213
Балаковский МР (г. Балаково)	−1064	−1252	188	−79	−13	280
Бийск	−173	−657	484	−55	−2	541
Рыбинск	−88	−218	130	−170	−42	342
Северодвинск	−746	−1479	733	34	35	664
Сызрань	−957	−706	−251	−90	−41	−120
Пятигорск	−1094	−980	−114	−34	−5	−75
Березники	−1360	−643	−717	−579	−88	−50
Ковров	−236	−383	147	−104	24	227
Новомосковск	−687	−673	−14	−103	...	89
Обнинск	862	363	499	54	...	445
Новый Уренгой	114	−27	141	1	...	140
Димитровград	−459	−705	246	−68	2	312
Итого, субцентры	1782	−5040	6822	−2273	−368	9463

ным центром и субцентром мы выделили территории, тяготеющие в большей мере к первому или второму (рис. 4). Несмотря на то, что разница может составлять всего несколько человек, видно, что субцентр области практически на равных делит территорию региона с его столицей. Из рассматриваемых нами регионов подобные примеры наличия значительных зон миграционного влияния у субцентра можно найти в Вологодской (Череповец), Челябинской (Магнитогорск) областях, Республике Татарстан (Набережные Челны). Собственные зоны тяготения имеют крупные и средние города Республики Башкортостан[9]. В то же время не в каждом регионе есть субцентры, способные быть аттрактивными даже для населения рядом расположенной периферии; с точки зрения системы расселения главные причины этого – малые размеры городов-субцентров, большой вес региональных центров, близкое расположение региональных центров и субцентров относительно друг друга [16].

Кейсы курортных регионов

Интересным представляется случай Краснодарского края: здесь быстро растущая региональная столица является не только не единственным, но и не самым сильным центром миграционного притяжения. Городские округа черноморского побережья (Анапа, Новороссийск, Геленджик, Сочи) и Туапсинский муниципальный район, формирующие самую мощную курортную зону России, с суммарным населением почти 1.3 млн человек (на 01.01.2017 г.), по масштабам миграционного прироста не уступали Краснодару и его пригороду с числом жителей 1.1 млн человек. При этом суммарный приморский миллионник слабее стягивал население из других МО края и немного терял в миграции с Краснодаром и его пригородами, но существенно превосходил их по притоку межре-

[9] Зоны притяжения. Башкортостан. https://statistic-rus.livejournal.com/3459.html

Таблица 6. Нетто-миграция населения Краснодарского края во внутрироссийской миграции, по типам территорий, 2017 г., тыс. человек

Категория	Краснодарский край, всего	г. Краснодар и Динской район (пригородный)	ГО Анапа, Новороссийск, Геленджик, Сочи, Туапсинский МР (приморские МО)	Другие МО
Вся миграция в пределах России	28.6	12.9	13.7	2.0
Межрегиональная	28.6	8.5	12.7	7.4
Внутрирегиональная, всего	0.0	4.4	1.0	–5.4
Краснодар и Динской район (пригородный)	–4.4	0.0	–0.4	–4.0
Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсинский МР, Сочи (приморские МО)	–1.0	0.4	0.0	–1.4
Другие МО	5.4	4.0	1.4	0.0

Источник: данные, предоставленные Краснодарстатом.

гиональных мигрантов (табл. 6). Таким образом, предпочтения внутрирегиональных мигрантов, по сути, поделены между Краснодаром и приморскими МО, для межрегиональных мигрантов приморское положение оказывалось более значимым, чем институциональные выгоды региональной столицы.

Другая крупнейшая курортная территория – район Кавказских Минеральных Вод в Ставропольском крае с населением 0.5 млн человек, напротив, теряет много населения и в межрегиональной миграции, и в обмене с региональной столицей. Небольшой миграционный прирост в обмене с другими МО края практически не восполняет выезд в другие регионы страны. Таким образом, сравнение между собой двух курортных зон явно демонстрирует значимость не столько курортного функционала, сколько приморского положения и огромного притока инвестиций, в том числе в жилищное строительство, наблюдающегося в последние годы в Краснодарском крае.

ВЫВОДЫ

В течение долгого времени внутрирегиональная миграция в России являлась основой процесса концентрации населения в крупнейших городах, движущей силой урбанизации. Этот процесс продолжается, но во многих регионах России резервы этого переселения сильно истощены, прежде всего в результате длительного оттока населения, депопуляции и старения в сельской местности.

Миграция в региональные столицы и их пригороды, а также в обратном направлении является по масштабам наиболее заметной, но она не больше, чем их вес в населении регионов. Центростремительность внутрирегиональной миграции, приток населения в столицы и их пригороды несомненны, но в ряде регионов можно выделить конкурирующие центры притяжения населения, не сильно уступающие столицам. Естественно, на роль таких центров могут претендовать только крупные города, сопоставимые по численности населения со своими столицами и находящиеся на значительном от них удалении. Кроме того, имеющийся демографический потенциал таков, что на много субцентров в одном регионе его не хватает. Поэтому, например, в Алтайском крае центр, конкурирующий за мигрантов с Барнаулом, выделить сложно: Бийску, Рубцовску и Новоалтайску вероятных мигрантов не хватает.

Наиболее привлекательны для внутрирегиональных мигрантов не столько столицы регионов, сколько их пригороды. Кроме того, в них идет устойчивый переток населения из региональных столиц. На основании проанализированных данных мы не можем сделать вывод о том, что в России, наконец, получает развитие процесс субурбанизации (для этого данных о направлении переселений недостаточно), но уже видно, что миграция ведет к концентрации населения в пределах не только ядра агломерации, но и агломерационной зоны.

Пригороды как центр притяжения населения в России сравнялись по силе с крупнейшими центрами аттрактивности. Конечно, это центр размытый, условный и ни в коем случае не самостоятельный: стягивание населения в пригороды способствует формированию кумулятивных центров притяжения населения. В этой связи было бы правильнее говорить о миграционной привлекательности не регионального центра (города, городского округа), а всей формируемой им агломерации, но последние не выделены административно и крайне сложны как объект изучения.

Ограниченный выбор регионов для анализа и не вполне равномерное их распределение по огромной территории страны (см. рис. 1) не позволяет нам сделать вывод о влиянии дихотомии север–юг и запад–восток на внутрирегиональ-

ную миграцию. Размер регионального центра и характер региональной системы расселения являются в этих условиях определяющими.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета “Высшая школа экономики”.

FUNDING

This work is an output of a research project implemented as part of the Basic Research Program at the National Research University Higher School of Economics (HSE).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.И., Данилова И.А., Зубаревич Н.В., Никулин Е.И.* Современные переселения “город–село” в Нечерноземной зоне РСФСР (опыт изучения на примере Вологодской области) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 1979. № 1. С. 55–61.
2. *Алексеев А.И., Карачурина Л.Б.* Вынужденные мигранты и территориальные общности в России // Народонаселение: современное состояние и перспективы развития научного знания: Сб. докладов. Центр по изучению проблем народонаселения экономического факультета МГУ. М., 1997. С. 50–56.
3. *Бреславский А.С.* Незапланированные пригороды: сельско-городская миграция и рост Улан-Удэ в постсоветский период / науч. ред. М.Н. Балдано. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2014. 192 с.
4. *Бритвина И.Б., Киблицкая М.В.* Жизнь мигрантки в моногороде. М.: Книгодел, 2004. 371 с.
5. *Верещагин И.Ф.* Долговременные факторы внутрирегиональной миграции на территории Архангельской области в XX в. // Вестн. Северного (Арктического) фед. ун-та. Сер. Гуманитарные и социальные науки. 2015. № 1. С. 5–14.
6. *Гайнанов Д.А., Уляева А.Г.* Внутрирегиональная миграция как фактор усиления агломерационных процессов // Научное обозрение. Экономические науки. 2017. № 5. С. 5–13.
7. *Глезер О.Б.* Система местного самоуправления как составная часть институциональной среды расселения в современной России // Вопросы географии. Сб. 135: География населения и социальная география. М.: ИД “Кодекс”, 2013. С. 224–244.
8. *Глезер О.Б.* Непрекращающаяся муниципальная реформа в России и новации 2014–2015 гг. // Россия 2016: Ежегодный доклад Франко-российского аналитического центра Обсерво / под рук. А. Дюбьена. М.: Обсерво, 2016. С. 373–386.
9. *Григоричев К.В.* Субрегиональные миграции и формирование пригорода сибирского города // Мир большого Алтая. 2017. № 1. С. 31–42.
10. *Гунько М.С., Глезер О.Б.* Малые районные центры и окружающие территории в Центральной России в 1970–2010 гг.: динамика и распределение населения // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 1. С. 64–76. https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-1-64-76
11. Доклад о развитии человека 2009: Преодоление барьеров: человеческая мобильность и развитие. М.: Весь мир, 2009. 232 с.
12. *Егоров Д.О., Николаев Р.С.* Роль миграции в усилении поляризации расселения Республики Татарстан // Региональные исследования. 2019. № 1. С. 86–98. https://doi.org/10.5922/1994-5280-2019-1-8
13. *Зайончковская Ж.А.* Демографическая ситуация и расселение. М.: Наука, 1991. 132 с.
14. *Зайончковская Ж.А., Мкртчян Н.В.* Миграция в России. Правовая практика. М.: Центр миграционных исследований, 2007. 84 с.
15. *Игудина А.И., Иоффе Г.В.* Сдвиги в размещении сельского населения Нечерноземной зоны РСФСР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1985. № 5. С. 67–80.
16. *Карачурина Л.Б.* Динамика населения центров и вторых городов регионов в России: проявляются ли тенденции к полицентризму? // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 4. С. 7–21.
17. *Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В.* Межрегиональная миграция в России: возрастные особенности // Демографическое обозрение. 2016. Т. 3. № 4. С. 47–65. https://doi.org/10.17323/demreview.v3i4.3205
18. *Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В.* Внутренняя долговременная миграция в России и других странах // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2017. № 2. С. 74–80.
19. *Карышев Н.А.* К изучению наших отхожих промыслов // Русское богатство. 1896. № 7. С. 1–24.
20. *Корель Л.В.* Основные этапы развития миграционного обмена между городом и селом // Современные проблемы миграции / ред. Л.Л. Рыбаковский. М.: Мысль, 1985. С. 101–110.
21. *Кретова О.Г., Попкова Л.И.* Территориальная дифференциация миграционной подвижности населения Курской области // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. 2014. № 2. С. 8–16.
22. *Кузнецова С.А.* Миграционные установки как предмет социально-психологических исследований // Социальная психология и общество. 2013. № 4. С. 34–45.
23. *Куричев Н.К., Куричева Е.К.* Взаимосвязь жилищного строительства в Московской агломерации и миграции в столичный регион // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 1. С. 57–71.
24. *Куричева Е.К., Попов А.А.* Развитие жилищного строительства в 2010-е гг. как фактор трансформации Московской агломерации // Региональные исследования. 2015. № 1. С. 104–116.
25. *Махрова А.Г., Бабкин Р.А.* Анализ пульсаций системы расселения Московской агломерации с использованием данных сотовых операторов // Региональные исследования. 2018. № 2. С. 68–78.
26. *Махрова А.Г., Кириллов П.Л.* Сезонная пульсация расселения в Московской агломерации под влиянием дачной и трудовой маятниковой миграции: подходы к изучению и оценка // Региональные исследования. 2015. № 1 (47). С. 117–125.
27. Между домом и ... домом. Возвратная пространственная мобильность населения России / ред. Т.Г. Нефедовой, К.В. Аверкиевой, А.Г. Махровой. М.: Новый хронограф, 2016. 504 с.

28. Миграция сельского населения / под ред. Т.И. Заславской. М.: Мысль, 1970. 348 с.
29. *Мкртчян Н.В.* Миграционный баланс российских городов: к вопросу о влиянии размера и положения в системе центро-периферийных отношений // Научные труды ИНП РАН / гл. ред. А.Г. Коровкин. М.: МАКС Пресс, 2011. С. 416–430.
30. *Мкртчян Н.В.* Миграция молодежи в региональные центры России в конце XX – начале XXI века // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 6. С. 19–32.
31. *Мкртчян Н.В.* Миграция в сельской местности России: территориальные различия // Население и экономика. 2019. № 3. С. 39–51. https://doi.org/10.3897/popecon.3.e34780
32. *Мкртчян Н.В.* Пристоличные территории России: динамика населения и миграционный баланс // Что мы знаем о современных российских пригородах? / отв. ред. А.С. Бреславский. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2017. С. 26–36.
33. *Мкртчян Н.В.* Региональные столицы России и их пригороды: особенности миграционного баланса // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 6. С. 26–38.
34. *Мотрич Е.Л., Молодковец Л.А.* Хабаровский край в миграционном поле Дальнего Востока России // Вопросы статистики. 2017. № 5. С. 60–68.
35. *Переведенцев В.И.* Методы изучения миграции населения. М.: Наука, 1975. 231 с.
36. *Самошкина И.С.* Территориальная идентичность как социально-психологический феномен // Вопросы психологии. 2008. № 4. С. 99–107.
37. *Сергиенко А.М., Иванова О.А.* Миграция сельской молодежи как индикатор благополучия села // Социология в современном мире: наука, образование, творчество. Вып. 8 (2) / отв. ред. О.Н. Колесникова, Е.А. Попов. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2016. Ч. 2. С. 21–26.
38. *Сукнёва С.А.* Тенденции миграционной динамики в Республике Саха (Якутия) // Вестн. Северо-Восточного фед. ун-та им. М.К. Аммосова. Серия Экономика. Социология. Культурология. 2017. № 1. С. 31–40.
39. *Сукнёва С.А., Трубина А.В.* Внутрирегиональная сельско-городская миграция в Республике Саха (Якутия) // Региональная экономика: теория и практика. 2009. № 32. С. 139–144.
40. *Тарасова Е.В.* Миграционные связи муниципальных образований Алтайского края // Мир Большого Алтая. 2018. Т. 4. № 4. С. 576–590.
41. *Фомкина А.А.* Трансформация местных систем расселения слабоурбанизированных территорий Центральной России (на примере Тверской области): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2016. 26 с.
42. *Фукс Л.П.* Урбанизация и деревня // Вопросы географии. Сб. 132: Современное село: пути развития / ред. В.С. Беленький, Б.С. Хорев. М.: Мысль, 1988. С. 92–102.
43. *Шелудков А.В., Орлов М.А.* Топология сети населенных пунктов как фактор динамики сельского расселения (на примере Тюменской области) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. № 4. С. 46–62. https://doi.org/10.31857/S2587-55662019446-62
44. *Эльдяева Н.А, Кованова Е.С.* Оценка влияния внутренней трудовой миграции населения на социально-экономическое развитие региона // Экономика, статистика и информатика. Вестн. УМО. 2015. № 6. С. 106–111.
45. *Geist C., McManus P.* Geographical mobility over the life course: motivations and implications // Population, space and place. 2008. № 14. P. 283–303. https://doi.org/10.1002/psp.508
46. *Gibbs J.* The evolution of population concentration // Economic Geography. 1963. № 2. P. 119–129.
47. *Ioffe G., Zayonchkovskaya Zh.* Spatial shifts in the population of Moscow region // Eurasian Geography and Economics. 2011. № 52 (4). P. 543–566. https://doi.org/10.2747/1539-7216.52.4.543
48. *Kalogirou S.* Examining and presenting trends of internal migration flows within England and Wales // Population, Space and Place. 2005. № 11. P. 283–297. https://doi.org/10.1002/psp.376
49. *Millington J.* Migration and age: the effect of age on sensitivity to migration stimuli // Reg. Studies. 2000. № 34 (6). P. 521–533. https://doi.org/10.1080/00343400050085648
50. *Ravenstein E.G.* The laws of migration // J. Statistical Soc. 1885. № 48. P. 167–227.
51. *Tajfel H.* Intergroup behavior // Introducing social psychology / Tajfel H., Fraser C. (Eds.). NY: Penguin Books, 1978. P. 401–466.
52. Urbanization and Counterurbanization / Berry B.J.L. (Ed.). Beverly Hills, CA: Sage Publications, 1976.
53. *Venhorst V., Van Dijk J., Van Wissen L.* An analysis of trends in spatial mobility of Dutch graduates // Spatial Economic Analysis. 2011. № 6. P. 57–82. https://doi.org/10.1080/17421772.2010.540033

Intraregional Population Migration in Russia: Suburbs Outperform Capitals

L. B. Karachurina[1, *] and N. V. Mkrtchyan[1]

[1]National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

**e-mail: lkarachurina@hse.ru*

Intraregional migration in modern Russia plays a crucial role in the implementation of people's life plans. It also contributes to spatial configuration changes. Every second registered resettlement within Russia occurs within the borders of the regions. However, nothing is known about intraregional migration, except for its total volume and role in changing the population of individual municipalities. The statistical information collected by the authors on long-term intraregional migration for 1265 municipalities in 39 regions of Russia (51.4% of the country's population) for 2017 made it possible to generate arrival, departure, and net migration matrices for each region. This made it possible to analyze the intraregional migration flows and intraregional redistribution of the population between regional centers, suburban municipalities, and regional periphery. The analysis revealed that the population movement between regional centers, their suburbs and other mu-

nicipalities in all intraregional migration approximately corresponds to their share in the population. All types of municipalities are equally involved in migration. There is an intensive migration exchange between regional centers and their suburbs. Regional centers are not only inferior to the suburbs in terms of the intensity of migration growth: 80% of regional centers lose their population in the migration exchange with their own suburbs. In general, the redistribution of the population within the framework of intraregional migration in almost all the studied regions contributes to an increase in the concentration of the population in the agglomeration zone formed by regional centers and their suburbs. In some regions, there is another "zone" of population concentration, as a rule, much smaller: the sub-centers represented by large cities located at a considerable distance from regional centers. They form their own zones of positive net migration with the nearest peripheral municipalities. In most cases, this migration allows sub-centers to only compensate for the migration outflow to other regions of the country or to their own regional centers.

Keywords: rural-urban migration, periphery, regional centers, suburbs, directions of migration, metropolitan areas, municipalities

REFERENCES

1. Alekseev A.I., Danilova I.A., Zubarevich N.V., Nikulin E.I. Present city-to-village migration in the Non-Chernozem zone of the RSFSR (the experience of the study on the example of the Vologda oblast). *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 1979, no. 1, pp. 55–61. (In Russ.).
2. Alekseev A.I., Karachurina L.B. Forced migrants and territorial communities in Russia. In *Narodonaselenie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya nauchnogo znaniya* [Population: Current Status and Prospects for the Development of Scientific Knowledge]. Moscow: Tsentr izuch. probl. narodonaseleniya ekon. fakul'teta Mosk. Gos. Univ., 1997, pp. 50–56. (In Russ.).
3. Breslavskii A.S. *Nezaplanirovannye prigorody: sel'skogorodskaya migratsiya i rost Ulan-Ude v postsovetskii period* [Unplanned Suburbs: Rural-Urban Migration and the Growth of Ulan-Ude in the post-Soviet Period]. Baldano M.N., Ed. Ulan-Ude: BNTs SO RAN, 2014. 192 p.
4. Britvina I., Kiblitskaya M. *Zhizn' migrantki v monogorode* [Life of a Migrant in a Single-Industry Town]. Moscow: Knigodel Publ., 2004. 371 p.
5. Vereshchagin I.F. Long-term factors of intra-regional migration within the Arkhangelsk oblast in the 20th century. *Vestn. Sever. (Arkt.) Fed. Univ., Ser. Gumanitarnye i Sotsial'nye Nauki*, 2015, no. 1, pp. 5–14. (In Russ.).
6. Gainanov D.A., Ulyaeva A.G. Intraregional migration as a factor of strengthening agglomeration processes. *Nauchn. Obozr. Ekonom. Nauki*, 2017, no. 5, pp. 5–13. (In Russ.).
7. Glezer O.B. The local self-government system as an integral part of the institutional environment of the settlement pattern in present Russia. In *Voprosy geografii* [Problems of Geography]. Vol. 135: *Geografiya naseleniya i sotsial'naya geografiya* [Economic and Social Geography]. Moscow: Kodeks Publ., 2013, pp. 224–244. (In Russ.).
8. Glezer O.B. Ongoing municipal reform in Russia and novations of 2014–2015. In *Rossiya 2016: Ezhegodnyi doklad Franko-rossiiskogo analiticheskogo tsentra Observo* [Russia 2016: Annual Report of the Franco-Russian Analytical Center Observo]. Dubien A., Ed. Moscow: Observo, 2016, pp. 373–386. (In Russ.).
9. Grigorichev K.V. Subregional migrations and forming suburbs of Siberian city. *Mir Bol'shogo Altaya*, 2017, no. 1, pp. 31–42. (In Russ.).
10. Gunko M.S. Glezer O.B. Small district centers and the surrounding areas in Central Russia (1970-2010): Dynamics and distribution of population. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2015, no. 1, pp. 64–76. (In Russ.). doi 10.15356/0373-2444-2015-1-64-76
11. *Doklad o razvitii cheloveka 2009: Preodolenie bar'erov: chelovecheskaya mobil'nost' i razvitie* [Human Development Report 2009: Overcoming Barriers: Human Mobility and Development]. Moscow: Ves' Mir Publ., 2009. 232 p.
12. Egorov D., Nikolaev R. The role of migrations in the polarization of settlement pattern in the Republic of Tatarstan. *Reg. Issled.*, 2019, no. 1, pp. 86–98. (In Russ.). doi 10.5922/1994-5280-2019-1-8
13. Zayonchkovskaya Zh.A. *Demograficheskaya situatsiya i rasselenie* [Demographic Situation and Settlement Pattern]. Moscow: Nauka Publ., 1991. 132 p.
14. Zayonchkovskaya Zh.A., Mkrtchyan N.V. *Migratsiya v Rossii. Pravovaya praktika* [Migration in Russia. Legal Practice]. Moscow: Tsentr Migratsionnykh Issled., 2007. 84 p.
15. Igudina A.I., Ioffe G.V. Shifts in the distribution of the rural population of the Non-Chernozem zone of the RSFSR. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1985, no. 5, pp. 67–80. (In Russ.).
16. Karachurina L.B. Population dynamics of centers and secondary cities of Russia's regions: Trends towards polycentricity? *Reg. Res. Russ.*, 2018, vol. 8, no. 4, pp. 308–321. doi 10.1134/S2079970518040032
17. Karachurina L.B., Mkrtchyan N.V. Interregional migration in Russia: Age characteristics. *Demogr. Obozr.*, 2016, no. 3(4), pp. 47–65. (In Russ.). doi 10.17323/demreview.v3i4.3205
18. Karachurina L.B., Mkrtchyan N.V. Long-term internal migration of population in Russia and other countries. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2017, no. 2, pp. 74–80. (In Russ.).
19. Karyshev N.A. To the study of our seasonal labor migration. *Russkoe Bogatstvo*, 1896, no. 7, pp. 1–24. (In Russ.).
20. Korel' L.V. The main stages of the development of migration exchange between city and village. In: *Sovremennye problemy migratsii* [Modern Problems of Migration]. Rybakovskii L.L., Ed. Moscow: Mysl' Publ., 1985, pp. 101–110. (In Russ.).
21. Kretova O.G., Popkova L.I. Territorial differences in human mobility in the Kursk oblast. *Vestn. Voronezh. Gos. Univ., Ser. Geogr. Geoekol.*, 2014, no. 2, pp. 8–16. (In Russ.).

22. Kuznetsova S.A. Migration attitudes as the subject of social psychological research. *Sotsial'naya Psikhologiya i Obshhestvo*, 2013, no. 4, pp. 34–46. (In Russ.).
23. Kurichev N.K., Kuricheva E.K. Relationship of housing construction in the Moscow urban agglomeration and migration to the metropolitan area. *Reg. Res. Russ.,* 2018, vol. 8, no. 1, pp. 1–15. doi 10.1134/S2079970518010069
24. Kuricheva E.K., Popov A.A. Housing construction dynamics in the 2010s as a factor of transformation of the Moscow agglomeration. *Reg. Res. Russ*., 2016, vol. 6, pp. 9–20. doi 10.1134/S207997051601007X
25. Makhrova A.G., Babkin R.A. Analysis of Moscow agglomeration settlement system pulsations based on mobile operators data. *Reg. Issled.*, 2018, no. 2, pp. 68–78. (In Russ.).
26. Makhrova A.G., Kirillov P.L. Seasonal pulsation of settlement pattern in the Moscow agglomeration under the influence of dacha and work commuting: Approaches to studies and assessment. *Reg. Res. Russ.*, 2016, vol. 6, pp. 1–8. doi 10.1134/S2079970516010081
27. *Mezhdu domom i ... domom. Vozvratnaya prostranstvennaya mobil'nost' naseleniya Rossii* [Between Home and... Home. Return Spatial Mobility of the Population of Russia]. Nefedova T.G., Averkieva K.V., Makhrova A.G., Eds. Moscow: Novyi Khronograph Publ., 2016. 504 p.
28. *Migratsiya sel'skogo naseleniya* [Migration of the Rural Population]. Zaslavskaya T.I., Ed. Moscow: Mysl' Publ., 1970. 348 p.
29. Mkrtchyan N.V. Migration balance of Russian cities: On the role of population size and position in the system of central-peripheral relations. In *Nauchnye trudy INP RAN* [Research Works of the Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences]. Korovkin A.G., Ed. Moscow: MAKS Press, 2011, pp. 416–430. (In Russ.).
30. Mkrtchyan N.V. Migration of young people to regional centers of Russia at the end of the 20th and the beginning of the 21st centuries. *Reg. Res. Russ.*, 2013, vol. 3, pp. 335–347. doi 10.1134/S2079970513040096
31. Mkrtchyan N.V. Migration in rural areas of Russia: territorial differences. *Naselenie i Ekonomika*, 2019, no. 3(1), pp. 39–51. (In Russ.). doi 10.3897/popecon.3.e34780
32. Mkrtchyan N.V. Suburban areas of Russia: Population dynamics and migration balance. In *Chto my znaem o sovremennykh rossiiskikh prigorodakh?* [Who do We Know about Contemporary Russian Suburbs?]. Breslavskii A.S., Ed. Ulan-Ude: BNTs SO RAN, 2017, pp. 26–36. (In Russ.).
33. Mkrtchyan N.V. Regional capitals of Russia and their suburbs: Specifics of the migration balance. *Reg. Res. Russ.*, 2019, vol. 9, pp. 12–22. doi 10.1134/S2079970519010076
34. Motrich E.L. Molodkovets L.A. The place of the Khabarovsk krai in the Russian Far East's migration processes. *Vopr. Statistiki*, 2017, no. 5, pp. 60–68. (In Russ.).
35. Perevedentsev V.I. *Metody izucheniya migratsii naseleniya* [Methods of Studying Population Migration]. Moscow: Nauka Publ., 1975. 231 p.
36. Samoshkina I. Territorial identity as a social-psychological phenomenon. *Vopr. Psikhologii*, 2008, no. 4, pp. 99–107. (In Russ.).
37. Sergienko A.M., Ivanova O.A. Migration of rural youth as an indicator of rural well-being. In *Sotsiologiya v sovremennom mire: nauka, obrazovanie, tvorchestvo* [Sociology in the Modern World: Science, Education, Creativity]. Kolesnikova O.N., Popov E.A. Eds., Barnaul, 2016, vol. 8(2), pp. 21–26. (In Russ.).
38. Sukneva S. Migration trends in the Sakha Republic (Yakutia). *Vestn. Severo-Vostochn. Fed. Univ. im. M.K. Ammosova. Ser. Ekonomika. Sotsiologiya. Kul'turologiya*, 2017, no. 1, pp. 31–40. (In Russ.).
39. Sukneva S., Trubina A. Interregional rural-urban migration in the Sakha Republic (Yakutia). *Reg. Ekonomika: Teoriya i Praktika*, 2009, no. 32, pp. 139–144. (In Russ.).
40. Tarasova E.V. Migration links between municipal units of Altai krai. *Mir Bol'shogo Altaya*, 2018, vol. 4, no. 4, pp. 576–590. (In Russ.).
41. Fomkina A.A. Transformation of local settlement systems in low urbanized areas of Central Russia (on the example of Tver oblast). *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 2016. 26 p.
42. Fuks L.P. Urbanization and the countryside. In *Voprosy geografii. Sb. 132: Sovremennoe selo: puti razvitiya* [Problems of Geography. Vol. 132: Modern Village: Ways of Development]. Belen'kii V.S., Khorev B.S., Eds. Moscow: Mysl' Publ., 1988, pp. 92–102. (In Russ.).
43. Sheludkov A.V., Orlov M.A. Topology of a settlement network as a factor of rural population dynamics (a case study of Tyumen oblast). *Reg. Res. Russ.*, 2020, vol. 10, pp. 388–400. doi 10.1134/S2079970520030119
44. El'dyaeva N.A., Kovanova E.S. Assessment of internal labor migration impacts on regional socio-economic development. *Ekonomika, Statistika i Informatika. Vestn. UMO*, 2015, no. 6, pp. 106–111. (In Russ.).
45. Geist C., McManus P.A. Geographical mobility over the life course: Motivations and implications. *Population, Space and Place*, 2008, no. 14, pp. 283–303. doi 10.1002/psp.508
46. Gibbs J. The evolution of population concentration. *Econ. Geogr.*, 1963, vol. 39, no. 2, pp. 119–129.
47. Ioffe G., Zayonchkovskaya Zh. Spatial shifts in the population of Moscow region. *Eurasian Geogr. Econ.*, 2011, vol. 52, no. 4, pp. 543–566. doi 10.2747/1539-7216.52.4.543
48. Kalogirou S. Examining and presenting trends of internal migration flows within England and Wales. *Population, Space and Place*, 2005, vol. 11, no. 4, pp. 283–297. doi 10.1002/psp.376
49. Millington J. Migration and age: the effect of age on sensitivity to migration stimuli. *Regional Studies*, 2000, vol. 34, no. 6, pp. 521–533. doi 10.1080/00343400050085648
50. Ravenstein E.G. The laws of migration. *J. Statistical Society of London*, 1885, vol. 48, no. 2, pp. 167–235.
51. Tajfel H. Intergroup behavior. In *Introducing Social Psychology.* Tajfel H., Fraser C., Eds. N.Y.: Penguin Books, 1978, pp. 401–466.
52. *Urbanization and Counter-Urbanization*. Berry B.J.L., Ed. Beverly Hills, CA: Sage Publ., 1976. 329 p.
53. Venhorst V., Van Dijk J., Van Wissen L. An analysis of trends in spatial mobility of Dutch graduates. *Spat. Econ. Anal.*, 2011, vol. 6, no. 1, pp. 57–82. doi 10.1080/17421772.2010.540033

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 39–48

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА

УДК 332.132:519.865.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ МЕЖДУГОРОДНЕЙ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

© 2021 г. А. В. Мартыненко[a, b, *]

[a] *Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Россия*

[b] *Институт экономики УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

**e-mail: amartynenko@rambler.ru*

Поступила в редакцию 04.06.2020 г.
После доработки 14.09.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Многие аспекты функционирования транспортной сети и ее влияние на социально-экономическое развитие территории существенно зависят от ее морфологии. В частности, морфологические особенности сети лежат в основе сетевых эффектов, которые могут приводить к значительным изменениям транспортных затрат (как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения) при незначительных модификациях сети. Статья посвящена анализу факторов, наиболее значимых для морфологии междугородней транспортной сети, и математическому описанию механизмов реализации их влияния. Показано, что ключевым фактором является расположение вершин сети в пространстве, и предложено двухпараметрическое семейство моделей, позволяющих генерировать сети, близкие к реальным, только лишь на основе информации о пространственном расположении их вершин. Реализация предложенной модели продемонстрирована на примере междугородней сети автомобильных дорог Белоруссии. Для этой сети подобраны оптимальные значения параметров и показано, что полученная модель достаточно близка к исходной сети.

Ключевые слова: транспортная сеть, морфология транспортной сети, модель транспортной сети, факторы роста транспортной сети, сеть автомобильных дорог Белоруссии

DOI: 10.31857/S2587556621010118

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование транспортной сети и ее влияние на обслуживаемую территорию в значительной мере определяется ее топологической структурой, для обозначения которой обычно используют термины “начертание сети” или “морфология сети” [9].

Находясь на стыке географии, теории графов и инженерных задач по развитию транспортной инфраструктуры, морфология сети вызывает устойчивый научный интерес на протяжении последних десятилетий, что привело к появлению большого количества исследований в этой области. Один из основных подходов, применяемых для изучения транспортных сетей, заключается в том, что различные свойства сети (в том числе морфологические) описываются с помощью количественных характеристик, которые позволяют оценить взаимное влияние сети и обслуживаемой ею территории. По всей видимости, такой подход впервые был использован в 1960-е годы. К. Канским [14], который, рассматривая транспортную сеть как граф, предложил набор количественных характеристик сети (их теперь принято называть индексами Канского), имеющих высокий уровень корреляции с социально-экономическими показателями территории.

В дальнейшем индексы Канского и их модификации использовались многими зарубежными и отечественными исследователями (см., например, [1, 13] и обзорную работу [11]). Кроме того, работа К. Канского [14] дала мощный толчок исследованиям по конструированию количественных характеристик транспортной сети, позволяющих оценивать различные аспекты ее функционирования и влияния на территорию. Пережив некоторый спад в 1980-е годы, деятельность в этом направлении значительно активизировалась с конца 1990-х годов благодаря росту технических возможностей для расчета сложных сетевых характеристик [4, 6, 10] и тому, что анализ транспортных сетей начал использоваться как инструмент анализа инфраструктурных проектов [15] и программ территориального социально-экономического развития [12].

В перечисленных работах все многообразие транспортной сети сводится к набору числовых показателей, что приводит к значительной потере информации. Вместе с тем высокий уровень сложности транспортной сети делает практи-

чески невозможным ее непосредственное детальное описание и изучение и в любом случае требует определенного агрегирования ее морфологических свойств. Эффективный баланс между детализацией и агрегированием был достигнут С.А. Тарховым в [9]. Здесь для изучения сети были использованы морфологические субструктуры (циклы и дендриты), каждая из которых может состоять из десятков и сотен элементов. Такой подход позволил выявить фундаментальные закономерности эволюции транспортных сетей и сформулировать их в терминах самоорганизованного пространственного развития указанных субструктур. Разработанный в [9] исследовательский инструментарий был успешно применен к анализу многих реальных транспортных сетей (в последнее время в [5, 7, 8]).

Принципиально иной подход к исследованию транспортных сетей предлагается в [16–18] (см. также цитированную в них литературу). В этих работах для изучения транспортных сетей используется моделирование их естественного развития. Основная идея предложенных моделей заключается в следующем. Процесс развития сети разбивается на дискретные шаги, и на каждом шаге пользователи сети по определенным правилам формируют спрос на создание новых элементов сети. Если спрос высокий, то на следующем шаге соответствующий элемент создается, а если спрос на какой-то из существующих элементов низкий, то он удаляется. Полученные таким образом сети обладают многими свойствами реальных сетей (иерархичность структуры, самоорганизация и т.д.). Отметим, что существенным преимуществом использования моделирования является возможность работать с исходной сетью без значительного упрощения ее структуры (уровень детализации лимитируется только мощностью используемого компьютера).

Различные аспекты функционирования сети не сводятся только лишь к ее морфологии. Для полного описания сети важны свойства ее отдельных элементов (длина, количество полос, ширина проезжей части, качество дорожного покрытия и т.д.), которые могут быть сведены к нескольким числовым характеристикам. Например, к пропускной способности элемента и к (обобщенной) стоимости перемещения по нему. В качестве последней может выступать как непосредственно стоимость, так и время или расстояние, а также различные комбинации этих величин. Стоимость перемещения по каждому из элементов сети, наряду с ее морфологией, определяет маршруты наименьшей стоимости, по которым транспортные средства перемещаются между различными парами вершин.

Важность исследования именно морфологии сети (без учета характеристик ее элементов) обусловлена следующими соображениями. Стоимость перемещения по элементу сети непосредственно зависит от затрат на его обслуживание и развитие. При этом изменение отдельного элемента оказывает лишь локальное влияние на функционирование сети (изменение стоимости проезда между двумя любыми вершинами, полученное в результате изменения одного элемента сети, не превосходит изменения стоимости перемещения по этому элементу).

В отличие от стоимости перемещения по элементам сети морфологические свойства сети не зависят напрямую от затрат на ее создание и содержание в том смысле, что при одинаковых затратах могут быть получены две сети с существенно различной морфологией. Это вызвано тем, что затраты на сеть зависят от ее общей протяженности, характера рельефа, климата и степени освоенности территории, а не от морфологической структуры сети. При этом изменение морфологии может оказывать влияние на стоимость перемещения по сети вследствие возникновения так называемого сетевого эффекта, который заключается в том, что совокупность морфологических изменений сети может давать результат, превышающий сумму результатов, получаемых от каждого изменения в отдельности. Например, создание двух новых элементов сети может приводить к снижению стоимости перемещения между некоторыми вершинами на величину, которая будет превышать сумму снижений этой стоимости, получаемых в результате создания каждого из этих элементов в отдельности. В научной литературе сетевой эффект также называют эмерджентностью [18] или супераддитивностью [2] транспортной сети.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основной вопрос, возникающий при исследовании транспортных сетей, можно сформулировать так: почему транспортная сеть такая, как она есть? В более строгой и, возможно, самой сильной постановке его можно переформулировать следующим образом: что собой представляют универсальные закономерности (механизмы, алгоритмы, правила и т.п.), которые определяют, какие из всех потенциально возможных элементов сети будут существовать (и какими из всех потенциально возможных характеристик они будут обладать), а какие не будут существовать при всех возможных комбинациях всех факторов, влияющих на формирование сети? Если бы мы знали ответ на этот вопрос, то это означало бы, что, имея для некоторой территории всю необходимую информацию о всех необходимых факторах, мы могли бы однозначно восстановить сеть, обслуживающую эту территорию.

Естественно, в таком виде вопрос является чрезвычайно сложным и малопригодным для содержательного исследования, однако его удобно

использовать в качестве отправной точки для дальнейшего упрощения и конкретизации исследуемой проблемы.

В настоящей работе мы упростим указанный вопрос по нескольким направлениям. Во-первых, мы не будем учитывать характеристики отдельных элементов сети, т.е. будем рассматривать только морфологию сети. Во-вторых, мы не будем требовать, чтобы искомые закономерности однозначно детерминировали все элементы сети. Вместо этого мы будем говорить о закономерностях, которые определяют сеть, близкую по тем или иным свойствам к реальной сети, но не обязательно полностью совпадающую с ней. Отметим, что результаты именно такого типа были получены в [9]: установленные там закономерности не предсказывают развитие сети с точностью до всех ее отдельных элементов, а задают все ее возможные состояния в виде набора сетей, удовлетворяющих определенным свойствам. Наконец, мы не будем стремиться к тому, чтобы учесть все возможные факторы, влияющие на сеть, а попытаемся выделить среди них наиболее важные, которые определяют сущностные свойства сети.

Изучению влияния различных факторов на развитие транспортной сети посвящено много исследований. Краткий обзор полученных результатов можно найти в [9]. Там же приводится объемный перечень факторов, которые объединяются в 10 групп. С точки зрения моделирования сети все эти факторы удобно классифицировать следующим образом:

1) факторы, связанные с неоднородностью пространства (рельеф, речная сеть, форма территории, границы государств и т.п.);

2) факторы, связанные с неоднородностью вершин сети (людность населенных пунктов, являющихся вершинами сети, их экономическое развитие, промышленное производство, обеспеченность ресурсами и т.п.);

3) взаимное расположение вершин сети в пространстве.

Факторы из первой группы влияют только на затраты, необходимые для создания и содержания элементов сети. Факторы из второй группы влияют только на “спрос на связность”, т.е. на потребность вершин сети в существовании соединяющих их элементов. Третья группа состоит из одного фактора. Он не связан с неоднородностью пространства и вершин, но оказывает влияние как на затраты (чем больше расстояние между вершинами, тем больше затраты на строительство дороги между ними), так и на спрос (для близко расположенных вершин спрос на связность выше, чем для удаленных).

Если бы на сеть действовали только факторы из первой группы, т.е. если бы полностью отсутствовал спрос на связность, сеть бы вовсе не существовала. Если бы на сеть действовали только факторы из второй группы, т.е. если бы строительство и содержание дорог вообще не требовало затрат, сеть представляла бы собой полный граф (каждая пара вершин соединялась дорогой по кратчайшему расстоянию). Другими словам, действие каждой из первых двух групп факторов приводит к тривиальному результату.

Реальная сеть – это результат достижения равновесия (неустойчивого) между затратами и спросом, а взаимное расположение вершин – это единственный фактор, который влияет как на затраты, так и на спрос. Если на сеть будет действовать только лишь этот фактор, этого уже достаточно для возникновения сети с нетривиальной морфологией. В этом смысле взаимное расположение вершин является основным фактором развития сети.

Продолжая уточнять сформулированный выше вопрос, отметим, что закономерностям, о которых в нем идет речь, можно придать различную форму. В частности, ответ может быть представлен в виде модели, генерирующей транспортную сеть по некоторым исходным данным. Далее в качестве таких данных мы будем использовать информацию о взаимном расположении вершин сети.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Любую реальную междугороднюю транспортную сеть будем отождествлять с графом $G = (V, E)$, где V – множество вершин сети, E – множество дуг, соединяющих вершины сети. В качестве вершин сети выступают населенные пункты и пересечения (примыкания) дорог. Поскольку нас интересует только взаимное расположение вершин, далее мы не будем использовать какую-либо информацию о вершинах сети, кроме их координат. Также мы не учитываем характеристики отдельных дуг сети, поэтому мы будем считать, что все дуги обладают неограниченной пропускной способностью, и длина любой дуги равна расстоянию по воздуху между вершинами, которые она соединяет.

Под моделью реальной сети G^* мы далее будем понимать сеть $G^* = (V, E^*)$, в которой множество вершин V такое же, как в сети G, а множество дуг E^* генерируется с помощью некоторого условия. Такое условие является ключевым элементом модели и, если она достаточно близка к реальной сети, указанное условие можно рассматривать как искомую внутреннюю закономерность формирования сети. Очевидно, что для выбора такого условия существует много возможностей и более сложные условия обеспечивают более точные модели. В то же время компьютерная реализация моделей реальных сетей требует весьма значительных вычислительных ресурсов, и для сложных условий генерирование сети может быть не

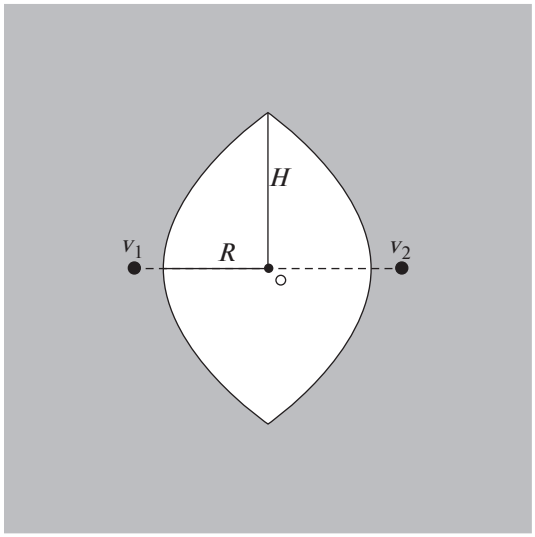

Рис. 1. Визуализация условия (1) при $a = 1.1$ и $b = 0.2$.

реализуемым. Поэтому в данной работе предлагается не очень сложное условие, которое допускает компьютерную реализацию за приемлемое время и при этом получающаяся модель достаточно точно описывает реальную сеть. Итак, дуги модели будут определяться следующим образом: *каковы бы ни были вершины* $v_1, v_2 \in V$, *множество* $E^* = E^*(a,b)$ *содержит дугу* (v_1, v_2) *тогда и только тогда, когда для любой вершины* $w \in V$, *отличной от* v_1 *и* v_2, *выполняется неравенство*:

$$a\max\{d(v_1,w),d(v_2,w)\} + b\min\{d(v_1,w),\ d(v_2,w)\} > d(v_1,v_2), \quad (1)$$

где a, b – параметры модели, $d(v, w)$ – расстояние по воздуху между вершинами v и w, $\max\{x, y\}$ и $\min\{x, y\}$ – наибольшее и наименьшее значения из чисел x и y соответственно.

Предложенное условие (1) является одним из возможных вариантов строгой формулировки простого эмпирического наблюдения, справедливого для реальных сетей: *если вблизи от середины отрезка, соединяющего вершины* v_1 *и* v_2, *есть другие вершины сети, то в большинстве случаев вершины* v_1 *и* v_2 *не соединяются дугой. Если же все остальные вершины находятся далеко от середины отрезка, соединяющего вершины* v_1 *и* v_2, *то в большинстве случаев вершины* v_1 *и* v_2 *соединяются дугой*. Связь этого наблюдения с условием (1) становится понятной, если обратить внимание на то, что в левой части неравенства (1) стоит взвешенная сумма расстояний от вершины w до вершин v_1 и v_2. В частности, в самом простом случае $a = b$ условие (1) превращается в неравенство:

$$d(v_1,w) + d(v_2,w) > \frac{1}{a}d(v_1,v_2), \quad (2)$$

которое, в силу своей симметричности относительно v_1 и v_2, задает удаленность вершины w от середины отрезка v_1v_2 (симметричность нужна для удаленности именно от середины, а не просто от отрезка). Неравенство (1) также является симметричным относительно v_1 и v_2, а веса a и b обеспечивают для него значительно большую гибкость по сравнению с условием (2).

На рис. 1 показана графическая интерпретация условия (1): если все остальные вершины лежат в серой области, то вершины v_1 и v_2 соединяются дугой в сети G^*, а если хотя бы одна вершина лежит в незакрашенной области, то дуги между v_1 и v_2 нет. Незакрашенная область на рис. 1 получена при $a = 1.1$ и $b = 0.2$. Она представляет собой выпуклую центральносимметричную фигуру с центром в точке O – середине отрезка v_1v_2. Данную фигуру можно охарактеризовать величинами R и H, показанными на рис. 1. Эти величины связаны с параметрами a и b следующими формулами:

$$a = \frac{2d(v_1,v_2)\left(\left|d(v_1,v_2)-2R\right| - \sqrt{4H^2 + d(v_1,v_2)^2}\right)}{\sqrt{4H^2 + d(v_1,v_2)^2}\left(\left|d(v_1,v_2)-2R\right| - d(v_1,v_2) - 2R\right)}, \quad (3)$$

$$b = \frac{2d(v_1,v_2)\left(\sqrt{4H^2 + d(v_1,v_2)^2} - d(v_1,v_2) - 2R\right)}{\sqrt{4H^2 + d(v_1,v_2)^2}\left(\left|d(v_1,v_2)-2R\right| - d(v_1,v_2) - 2R\right)}. \quad (4)$$

Отсюда следует, что в качестве параметров модели можно рассматривать безразмерные величины r и h, связанные с R и H соотношениями $R = d(v_1,v_2)r/2$ и $H = d(v_1,v_2)h/2$.

Для выбора значений параметров a и b, обеспечивающих наибольшую близость модели к реальной сети, нам необходима мера различия (или сходства) двух сетей с одинаковым набором вершин. Для измерения различия двух объектов существуют различные подходы, каждый из которых обладает определенными достоинствами и недостатками. В настоящей работе в качестве меры различия сетей G и G^* будем использовать меру

$$\varphi(G,G^*) = \frac{\|S(G) - S(G^*)\|_1}{\|S(G)\|_1}, \quad (5)$$

где $S(G)$ – матрица кратчайших расстояний между вершинами в графе G, $\|A\|_1$ – сумма абсолютных значений всех элементов матрицы $A = (a_{ij})$, т.е. $\|A\|_1 = \sum_{i,j}|a_{ij}|$.

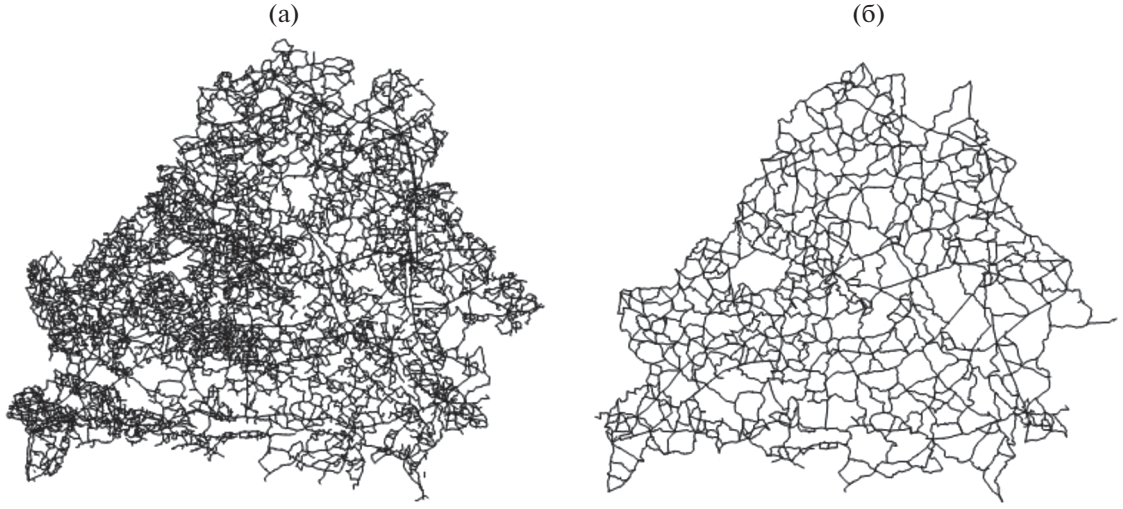

Рис. 2. Сеть автомобильных дорог Белоруссии: (а) исходная; (б) упрощенная (удалены дуги, обслуживающие малозначительные вершины).

Введенная таким образом мера $\varphi(G, G^*)$ отражает функциональное различие двух сетей. С точки зрения потребителя транспортных услуг две сети будут обладать сходством, если они одинаковым образом выполняют функцию по обеспечению транспортных потребностей вершин, т.е. если будут близки затраты на перемещения между вершинами сети. А это равносильно тому, что две сети будут иметь мало отличающиеся кратчайшие пути для всех пар вершин. Соответственно, если кратчайшие пути для всей совокупности вершин сильно различаются для исходной и модельной сетей, это означает, что сети сильно различаются с точки зрения своего функционирования.

Мера (5) является аналогом относительной погрешности: выражение в ее знаменателе – это затраты на перемещения между всеми вершинами реальной сети, а в числителе – разность между такими затратами для реальной сети и модели. Мера $\varphi(G, G^*)$ принимает неотрицательные значения. Если G и G^* полностью совпадают, то $\varphi(G, G^*) = 0$, а чем значительнее их отличия, тем больше значение $\varphi(G, G^*)$.

Как уже было сказано выше, на морфологию сети влияют три группы факторов. Поэтому для наиболее наглядной демонстрации возможностей описанного подхода нам необходима сеть, на формирование которой неоднородность пространства и вершин оказывают как можно меньшее влияние по сравнению с влиянием взаимного расположения вершин. Хорошим кандидатом на эту роль является сеть автомобильных дорог Белоруссии, поскольку эта страна имеет компактную и достаточно однородную территорию без существенных естественных преград, а неоднородность вершин (городов) хорошо коррелирует с их пространственным расположением (это снижает влияние неоднородности вершин как самостоятельного фактора).

В качестве исходных данных мы использовали материалы сайта[1] (векторные слои автомобильных дорог и городов в формате shp на основе данных проекта OpenStreetMap). Эти данные чрезмерно детализированы для целей данной статьи, поэтому мы удалили все внутригородские дуги, а также выполнили ряд других незначительных преобразований сети (более подробное описание подобных преобразований можно найти в [3, 4]). В итоге получили сеть с 10167 дугами и 6560 вершинами, из которых 4140 являются населенными пунктами (рис. 2а). При таком количестве вершин требуются очень существенные вычислительные мощности для построения модели и подбора оптимальных значений параметров (количество операций, необходимое для получения модели при конкретных значениях параметров a и b, пропорционально n^3, где n – количество вершин).

Значительная часть вершин рассматриваемой сети – это висячие вершины, являющиеся малолюдными населенными пунктами, а также вершины, в которых дуги, идущие от этих висячих вершин, соединяются с остальной сетью. Очевидно, что такие вершины не оказывают значимого влияния на остальную сеть. Поэтому можно упростить сеть без потери ее основных морфологических свойств за счет выделения основной части сети, соединяющей все населенные пункты, людность которых превышает 1000 чел. (таких пунктов насчитывается 444). В эту часть мы включаем все дуги сети, принадлежащие хотя бы

[1] OpenStreetMap Data Extracts. https://www.geofabrik.de (дата обращения 10.05.2020).

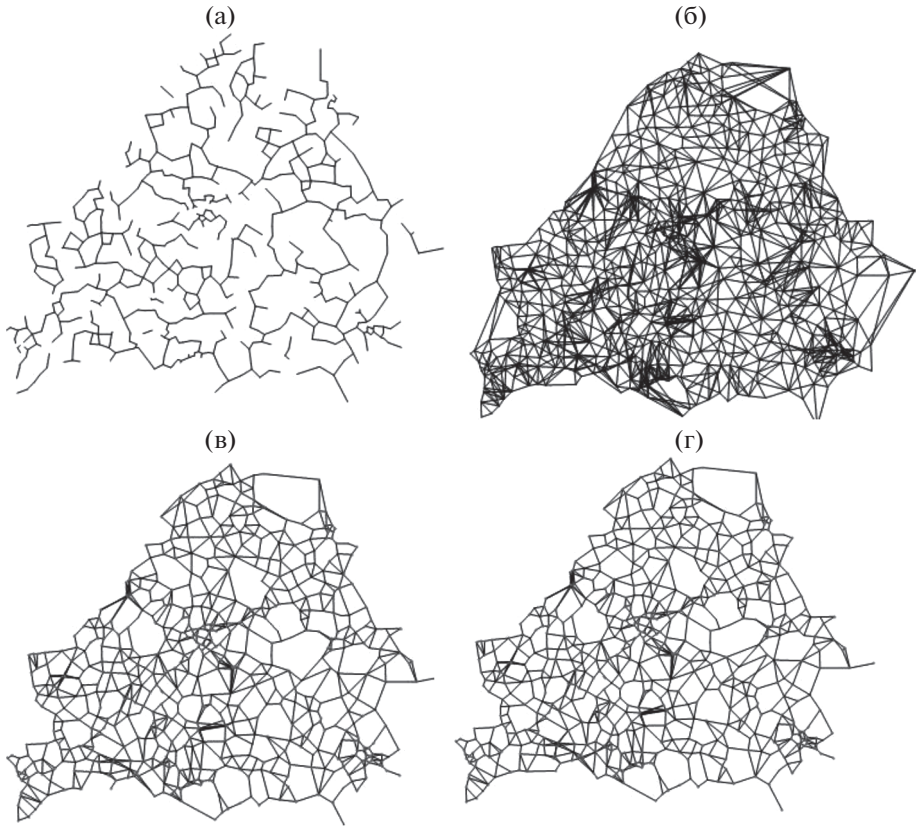

Рис. 3. Модели сети автомобильных дорог Белоруссии: (а) при $a = 1$ и $b = -0.11$; (б) при $a = 1.2$ и $b = 0.3$; (в) при $a = 1.164$ и $b = -0.007$; (г) при $a = 1.169$ и $b = 0.0$.

одному из кратчайших путей между всеми возможными парами рассматриваемых населенных пунктов. В итоге получается сеть с 1131 дугой и 626 вершинами, представленная на рис. 2б. Именно для этой сети будет далее построена модель в соответствии с условием (1).

Обработка исходных данных и создание моделей осуществлялось в среде Wolfram Matemathica 11, использование которой для работы с геоданными детально описано в [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В зависимости от значений параметров a и b на основе правила (1) можно сгенерировать существенно различные модели сети автомобильных дорог, изображенной на рис. 2б. Некоторое представление о многообразии возможных моделей можно получить из рис. 3. В частности, на рис. 3а изображена “бедная” модель, которая содержит значительно меньше дуг, чем реальная сеть. Значение меры различия для этой модели и реальной сети равно $\varphi = 1.02$. На рис. 3б изображена “богатая” сеть. Соответствующее ей значение меры различия равно $\varphi = 0.08$. Обе модели сильно отличаются от реальной сети и, более того, они крайне нереалистичны: первая демонстрирует явный дефицит циклов при чрезмерно ветвящихся дендритах и большом количестве компонент связности, в то время как вторая не является планарным графом и содержит очень много трехвершинных циклов[2].

Чтобы получить модель, наиболее близкую к реальной сети, необходимо минимизировать функцию $\varphi(a, b)$. Эта функция является разрывной и многоэкстремальной, поэтому для оптимизации мы применили метод перебора[3]. Перебор осуществлялся по сетке с шагом 0.01 для значений r и h из прямоугольника $\{0.2 \le r \le 1.2, 0.2 \le h \le 2\}$. По этим значениям вычислялись a и b с помощью формул (3) и (4), а по ним, в свою очередь, рассчитывалось значение функции $\varphi(a, b)$. Значения функции $\varphi(a, b)$ для некоторых значений ее аргу-

[2] Точные определения и описания терминов “дендриты” и “циклы” применительно к транспортным сетям можно найти в [9].

[3] Стандартный метод перебора, используемый для минимизации функции $\phi(a, b)$, заключается в том, что двумерную область изменения аргументов a и b покрывают сеткой, размер ячейки которой значительно меньше размера рассматриваемой области. Затем в узлах сетки вычисляют значения функции ϕ и выбирают из них наименьшее. Точность данного метода зависит от размера ячейки.

ментов представлены в табл. 1. Если исходить из визуализации, представленной на рис. 1, то можно сказать, что перебор был выполнен по незакрашенным областям для всех возможных пар R и H из указанного выше прямоугольника. В результате получили $\varphi_{\min} = 0.040$ при $a_{\min} = 1.164$ и $b_{\min} = -0.007$. Модель, соответствующая этим значениям, представлена на рис. 3в.

Полученное значение $b_{\min}$ во много раз меньше, чем $a_{\min}$ ($a_{\min}/b_{\min} \approx 166$), т.е. второй член в левой части условия (1) практически не оказывает влияния на конечный результат. Кроме этого, значение $b_{\min}$ является отрицательным, что затрудняет (хотя и не исключает) его содержательную интерпретацию. Поэтому достаточно естественно рассмотреть более простую модель сети с условием (1) при $b = 0$, т.е. модель, в которой существование дуги (v_1, v_2) определяется условием

$$a \max\{d(v_1, w), d(v_2, w)\} > d(v_1, v_2). \qquad (6)$$

Минимизация меры $\varphi(a)$ для модели, основанной на условии (6), дает $\varphi_{\min} = 0.041$ при $a_{\min} = 1.167$ (график функции $\varphi(a)$ представлен на рис. 4). Таким образом, редукция исходной модели к модели с условием (6) не приводит к сколько-нибудь значительному снижению качества (значение $\varphi_{\min}$ для второй модели больше, чем для первой всего лишь на $0.001/0.04 = 2.5\%$).

Модель сети, соответствующая оптимальному значению параметра a, представлена на рис. 3г. Хорошо видно, что сети на рис. 3в и 3г практически не имеют отличий, что еще раз подтверждает адекватность выполненной редукции.

Модельная сеть на рис. 3г выглядит достаточно реалистично (за исключением сгущений дуг в нескольких местах она не имеет визуально идентифицируемых особенностей, которые были бы несвойственны реальным сетям). Этот факт сам по себе представляет значительный интерес, поскольку он означает, что на основании условия (6) можно генерировать реалистичные сети. Однако нас в первую очередь интересует то, насколько полученная модель близка к реальной сети автомобильных дорог Белоруссии, изображенной на рис. 2б. В этом вопросе мы не можем полагаться на наблюдаемое визуальное сходство двух этих сетей, поскольку оно может быть следствием только лишь реалистичности модели и того, что любые реалистичные сети, имеющие высокую плотность дуг и связывающие одни и те же вершины, выглядят похожими. По причине высокой плотности дуг в реальной сети и в модели мы также не можем рассматривать относительно небольшое значение $\varphi_{\min} = 0.041$ как существенное подтверждение близости модели и реальной сети. Очевидно, что в сетях с высокой плотностью дуг кратчайшие пути между вершинами не могут значительно отличаться своей протяженностью, и поэтому матрица кратчайших расстояний модели будет близка к матрице кратчайших расстояний реальной сети. Мера φпозволяет сравнивать разные модели с точки зрения их близости к реальной сети, однако конкретное значение $\varphi_{\min}$ не очень информативно.

Таблица 1. Значения меры $\varphi(a, b)$

Значение параметров		Значение меры
a	b	
1.078	0.883	0.108
1.877	−0.757	0.105
3.057	−2.086	0.082
0.911	−0.016	0.981
1.138	−0.244	0.267

Для того чтобы убедиться в близости модели и реальной сети, рассмотрим следующие совокупности: $E \backslash E^*$ – совокупность всех дуг реальной сети, не являющихся дугами модели; $E \cap E^*$ – совокупность всех дуг общих для реальной сети и для модели; $E^* \backslash E$ – совокупность всех дуг модели, не являющихся дугами реальной сети. Количественные характеристики этих совокупностей даны в табл. 2, а их визуализация представлена на рис. 5.

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что доля дуг, являющихся общими для модели и реальной сети, значительно превосходит как долю дуг реальной сети, не генерируемых моделью, так и долю дуг модели, не существующих в реальной сети: $881/1131 = 78\%$ и $881/1283 = 69\%$ против $250/1131 = 22\%$ и $402/1283 = 31\%$. Полученные значения могут быть интерпретированы следующим образом: модель правильно предсказывает

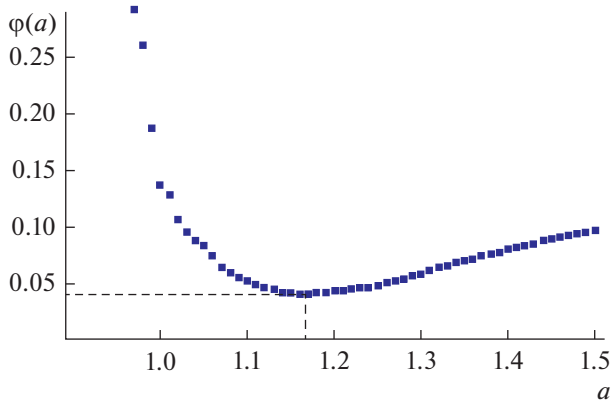

Рис. 4. Зависимость меры различия φ от параметра a для модели, основанной на условии (6).

Таблица 2. Сравнение реальной сети и модели

Совокупность дуг	Количество элементов
E	1131
E^*	1283
$E\backslash E^*$	250
$E \cap E^*$	881
$E^*\backslash E$	402

наличие дуги между вершинами для 78% дуг реальной сети. Однако 31% дуг, сгенерированных моделью, не существуют в реальной сети. Таким образом, модель демонстрирует некоторую асимметричность: ошибок, связанных с генерированием несуществующих дуг больше, чем ошибок, связанных с тем, что реально существующие дуги не генерируются моделью. По всей видимости, это является непосредственным следствием того, что в модели не учитывается рельеф, водные преграды и т.п., поскольку во многих случаях именно такие факторы имеют решающее значение при принятии решения о строительстве дороги.

Приведенные в табл. 2 количественные результаты можно дополнить рис. 5. В частности, на рис. 5а хорошо видно, что совокупность дуг $E \cap E^*$ содержит основную информацию о морфологии реальной сети, в то время как “остатки” модели на рис. 5а и 5в представляют собой случайные наборы дуг, равномерно распределенных по территории, которую обслуживает сеть, т.е. “остатки” не содержат структурно важной информации.

Таким образом, построенная модель основана на чрезвычайно простом условии (6) и использует только лишь информацию о взаимном расположении вершин, однако при этом она очень близка к реальной сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Непосредственным следствием выполненного моделирования является тот факт, что для конкретной транспортной сети автомобильных дорог Белоруссии взаимное расположение вершин оказывает значимое влияние на морфологию сети, причем в качестве механизма реализации этого влияния можно рассматривать достаточно простое условие (6). На наш взгляд, этот результат создает хорошие предпосылки для дальнейших исследований по нескольким направлениям.

Во-первых, предложенные условия в виде (6) или (1) можно использовать для моделирования других сетей (для других территорий и других видов наземного транспорта). Если модели для других сетей будут иметь такое же высокое качество, как и модель, полученная в данной работе, то тем самым мы сведем все морфологические свойства сети к значению одного (в случае условия (6)) или двух (в случае условия (1)) параметров. Это, в свою очередь, позволит классифицировать транспортные сети на основе указанных параметров.

Во-вторых, несмотря на высокое качество полученной модели, она может быть улучшена. Очевидно, что влияние взаимного расположения вершин на морфологию сети не исчерпывается только лишь соотношением (1). По всей видимости, его можно дополнить другими условиями так, чтобы модель была еще ближе к реальной сети. Например, на рис. 5в присутствуют скопления дуг, не характерные для реальных сетей, и они могут быть исключены путем введения некоторого дополнительного условия, запрещающего такие скопления для группы близких вершин.

Третье направление исследований связано с разработкой моделей более высокого качества за счет учета не только взаимного расположения вершин, но и других факторов, влияющих на сеть (неоднородность пространства и вершин). Например, необходимость в использовании инфор-

Рис. 5. Сравнение реальной сети и модели, соответствующей оптимальному значению $a_{\min} = 1.167$: (а) дуги реальной сети, не являющиеся дугами модели; (б) дуги, общие для реальной сети и модели; (в) дуги модели, не являющиеся дугами реальной сети.

мации о неоднородности вершин становится очевидной, если сравнить вид модели и реальной сети в окрестности Минска. Для формирования реальной транспортной сети политические и социально-экономические характеристики столицы Белоруссии играют основную роль по сравнению со всеми другими факторами, но построенная нами модель учитывает только взаимное расположение вершин, и поэтому она сильно отличается от реальной сети вблизи Минска.

Построенную в данной работе модель мы рассматриваем как отправную точку для дальнейших исследований в соответствии с перечисленными направлениями.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР УрГУПС (тема НИР № АААА-А20-120042190035-7).

FUNDING

The work was conducted in accordance with the research plan of Ural State University of Railway Transport (project no. АААА-А20-120042190035-7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бугроменко В.Н.* Транспорт в территориальных системах. М.: Наука, 1987. 112 с.
2. *Лившиц В.Н., Белоусова Н.И., Бушанский С.П., Васильева Е.М., Гук С.Н.* Анализ динамики технологических детерминант естественно-монопольных транспортных сетей при оптимальном их развитии // Аудит и финансовый анализ. 2011. № 4. С. 138–159.
3. *Мартыненко А.В.* Программа Wolfram Mathematica как универсальная среда для обработки и анализа географической информации // Географический вестн. 2016. № 4. С. 129–138.
4. *Мартыненко А.В., Петров М.Б.* Влияние начертания транспортной сети на показатели доступности (на примере Свердловской области) // Региональные исследования. 2016. № 2. С. 21–30.
5. *Панов Р.Д.* Эволюция пространственной структуры сетей крупнейших метрополитенов мира // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. № 1. С. 20–26.
6. *Селиверстов С.А.* Разработка показателей транспортной обеспеченности // Изв. Петербургского ун-та путей сообщения. 2015. № 4. С. 48–63.
7. *Тархов С.А.* Анализ топологических дефектов сухопутной транспортной сети регионов Сибири и Дальнего Востока // Региональные исследования. 2019. № 3. С. 53–62.
8. *Тархов С.А.* Пространственные закономерности роста высокоскоростных железных дорог в мире // Региональные исследования. 2016. № 4. С. 90–104.
9. *Тархов С.А.* Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск: Универсум, 2006. 386 с.
10. *Aldous D., Shun J.* Connected spatial networks over random points and a route-length statistic // Stat. Sci. 2010. V. 25. № 3. P. 275–288.
11. *Barthelemy M.* Spatial networks // Phys. Rep. Review Section of Phys. Lett. 2011. V. 499. № 1. P. 1–101.
12. *Böhme K., Toptsidou M., Holstein F., Martin D.* Territorial cooperation for the future of Europe. Luxembourg: ESPON, 2017. 104 p.
13. *Haggett P., Chorley R.* Network Analysis in Geography. London: Edward Arnold, 1969. 348 p.
14. *Kansky K.* Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics. Chicago: Univ. of Chicago Press, 1963. 155 p.
15. *Nes R.* Design of multimodal transport networks: a hierarchical approach (Ph.D. thesis). Delft: Technical Univ. of Delft, 2002. 304 p.
16. *Xie F., Levinson D.* Topological evolution of surface transportation networks // Comput. Environ. Urban Syst. 2009. V. 33. № 3. P. 211–223.
17. *Yerra B., Levinson D.* The emergence of hierarchy in transportation networks // Ann. Reg. Sci. 2005. V. 39. № 3. P. 541–553.
18. *Zhang L., Levinson D.* A model of the rise and fall of roads // J. Transport and Land Use. 2017. V. 10. № 1. P. 337–356.

Modeling the Morphology of the Intercity Highway Network

A. V. Martynenko[1, 2, *]

[1]*Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia*
[2]*Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia*
**e-mail: amartynenko@rambler.ru*

Many aspects of the functioning of the transport network and its impact on the territory socioeconomic development depend significantly on transport network morphology. In particular, the network morphological features are the basis for network effects, which can lead to significant changes in transportation costs (both downward and upward) with minor modifications of the network. The article is devoted to the analysis of factors that are most important for intercity transport network morphology and mathematical description of the mechanisms of their influence. It is shown that the key factor is the location of network vertices in space. Also, a two-parameter family of models is proposed for generating realistic networks based only on information about their vertices spatial location. The proposed model implementation is demonstrated on the example of the intercity highway network of Belarus. Optimal parameter values were selected for this network. It is shown that the resulting model is close enough to the original network.

Keywords: transport network, transport network morphology, transport network model, growth factors of the transport network, highway network of Belarus

REFERENCES

1. Bugromenko V.N. *Transport v territorial'nykh sistemakh* [Transportation in Territorial Systems]. Moscow: Nauka Publ., 1987. 112 p.
2. Livshits V.N., Belousova N.I., Bushanskii S.P., Vasil'eva E.M., Guk S.N. Analysis of the dynamics of technological determinants for natural monopoly transport networks under optimal expansion. *Audit i Finansovyi Analiz*, 2011, no. 4, pp. 138–159. (In Russ.).
3. Martynenko A.V. Program Wolfram Mathematica as a universal tool for processing and analyzing geographic information. *Geogr. Vestn.*, 2016, no. 4, pp. 129–138. (In Russ.).
4. Martynenko A.V., Petrov M.B. Influence of surface transportation network on accessibility (on the example of Sverdlovsk oblast). *Reg. Issled.*, 2016, no. 2, pp. 21–30. (In Russ.).
5. Panov R.D. Evolution of spatial structure of the world's biggest subway networks. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020, no. 1, pp. 20–26. (In Russ.). doi 10.31857/S2587556620010161
6. Seliverstov S.A. Development of indicators of transport provision. *Izv. Peterb. Univ. Putei Soobshcheniya*, 2015, no. 4, pp. 48–63. (In Russ.).
7. Tarkhov S.A. Analysis of topological defects of land transport network of Siberia and Russian Far East's regions. *Reg. Issled.,* 2019, no. 3, pp. 53–62. (In Russ.). doi 10.5922/1994-5280-2019-3-5
8. Tarkhov S.A. Spatial consistency of worldwide high-speed railways' growth. *Reg. Issled.,* 2016, no. 4, pp. 90–104. (In Russ.).
9. Tarkhov S.A. *Evolyutsionnaya morfologiya transportnykh setei* [Evolutional Morphology of Transport Networks]. Smolensk: Universum Publ., 2005. 386 p.
10. Aldous D., Shun J. Connected spatial networks over random points and a route-length statistic. *Stat. Sci.*, 2010, vol. 25, no. 3, pp. 275–288.
11. Barthelemy M. Spatial networks. *Physics Reports*, 2011, vol. 499, nos. 1–3, pp. 1–101.
12. Böhme K., Toptsidou M., Holstein F., Martin D. *Territorial Cooperation for the Future of Europe*. Luxembourg: ESPON, 2017. 104 p.
13. Haggett P., Chorley R. *Network Analysis in Geography*. London: Edward Arnold, 1969. 348 p.
14. Kansky K. *Structure of Transportation Networks: Relationships between Network Geometry and Regional Characteristics*. Chicago: Univ. of Chicago Press, 1969. 155 p.
15. Nes R. Design of multimodal transport networks: a hierarchical approach. *Ph.D. Thesis*. Delft: Tech. Univ. Delft, 2002. 304 p.
16. Xie F., Levinson D. Topological evolution of surface transportation networks. *Comput. Environ. Urban Syst.,* 2009, vol. 33, no. 3, pp. 211–223.
17. Yerra B., Levinson D. The emergence of hierarchy in transportation networks. *Ann. Reg. Sci.*, 2005, vol. 39, no. 3, pp. 541–553.
18. Zhang L., Levinson D. A model of the rise and fall of roads. *J. Transp. Land Use*, 2017, vol. 10, no. 1, pp. 337–356. doi 10.5198/jtlu.2016.887

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 49–58

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.4.042

СОВРЕМЕННАЯ ДЕНУДАЦИЯ В ГОРАХ И ЕЕ ВКЛАД В ГЛОБАЛЬНУЮ ДЕНУДАЦИЮ СУШИ

© 2021 г. А. М. Грачев[a], *, В. Н. Голосов[a, b], **

[a] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

[b] *Географический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

**e-mail: agrachev@igras.ru*

***e-mail: gollossov@gmail.com*

Поступила в редакцию 27.03.2020 г.
После доработки 09.06.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Повышенное внимание к количественной оценке современной денудации горных стран обусловлено значимостью преобразования рельефа в пределах данных территорий и ключевой ролью материала, формирующегося в процессе денудации гор, в суммарном объеме наносов, перемещаемых с суши в Мировой океан. Значительный прогресс, прежде всего, дистанционных методов изучения темпов отдельных экзогенных процессов и денудации в целом, произошедший за последние десятилетие благодаря существенному увеличению точности создаваемых на их основе цифровых моделей рельефа и упрощению обработки полученной информации, способствовал существенному росту количественных данных о динамике преобразования рельефа. В статье обобщены опубликованные результаты и систематизированы методы изучения современной денудации суши. Показано, что совместное использование набора методов прямых наблюдений и дистанционных методов позволяет наиболее детально характеризовать пространственно-временны́е изменения рельефа при различных масштабах исследований. Порядка 52% продуктов денудации на суше формируется на склонах с уклонами >15%. Для остальных территорий в горах темпы денудации определяются различным сочетанием набора факторов (сейсмотектоническая активность, метеорологические характеристики, литология и антропогенная нагрузка), максимальный совокупный эффект которых достигается в бассейнах малых рек. Так, именно благодаря оптимальному сочетанию перечисленных факторов чуть менее одной трети (6.8 млрд т) от суммарного объема наносов, поступающих с суши в Мировой океан, формируется за счет стока наносов малых и средних рек западного сектора Тихоокеанского огненного пояса.

Ключевые слова: горы, денудация, количественные методы, сток наносов

DOI: 10.31857/S2587556621010052

ВВЕДЕНИЕ

Оценка современных темпов денудации является важнейшей задачей геоморфологии. В частности, ее решение для горных стран имеет также и важное прикладное значение, так как позволяет более точно рассчитывать темпы заиления водохранилищ, ирригационных систем, определять вероятность формирования селей и определять затраты на сооружение транспортных коммуникаций. Еще до середины прошлого века, за редким исключением (например [14, 18]), отсутствовали методы и подходы, позволяющие на количественной основе судить об интенсивности отдельных экзогенных процессов и денудации в целом [26]. Начиная с 1950-х годов, благодаря работам С.С. Соболева [11], А. Страллера [42, 43], Н.И. Маккавеева [8] и других исследователей, получили развитие методы, позволяющие определять интенсивность денудационных процессов.

Классическим индикатором для оценки темпов денудации в речном бассейне служит объем стока взвешенных наносов. В этом случае редко учитывается сток влекомых наносов реки, так как до сих пор точность его определения невысока, что приводит к занижению фактического денудационного среза. Денудация в бассейне реки формируется за счет бассейновой (площадной) и русловой (речной) составляющих [10, 12]. В этой связи важно выявить самостоятельный вклад каждой из составляющих в сток наносов рек, а также оценить долю перемещаемого материала, отложившегося по пути транспортировки со склонов в постоянные водотоки и далее собственно в днищах речных долин. Это связано с тем, что полный баланс наносов не равен только лишь речному выносу [2,

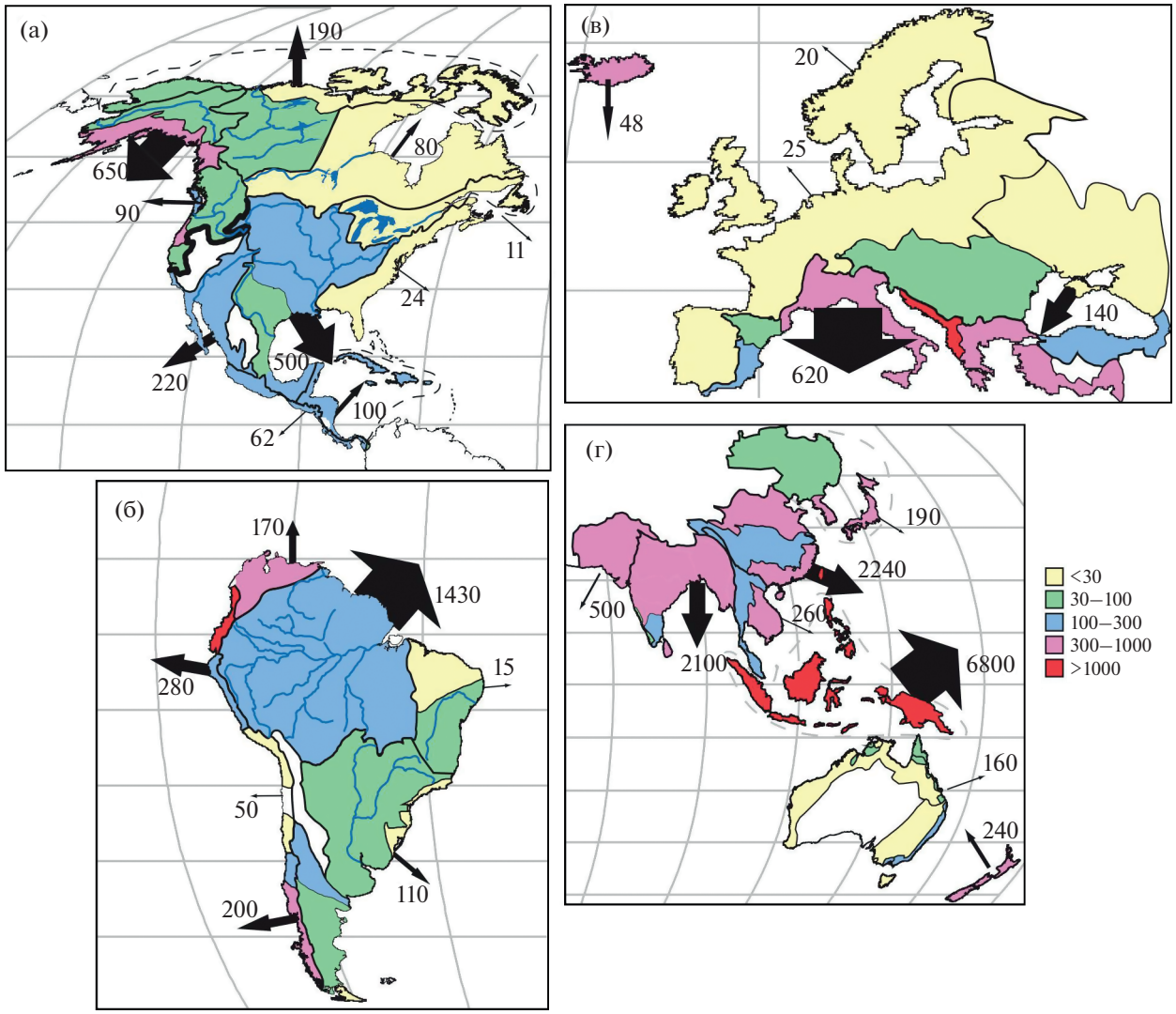

Рис. 1. Пространственная неоднородность стока наносов в глобальном масштабе (из [36]). Цифры со стрелками показывают общий сток наносов (млн т/год), цветом показаны темпы денудации (т/км^2/год).
Примечание. Используется с официального разрешения издательства.

8 и др.], а включает также наносы, переотложившиеся на склонах, в конусах выноса, шлейфах, днищах сухих долин, на речных поймах, а также в водоемах [4, 12]. Направление исследований, связанное с оценкой перераспределения наносов в различных звеньях флювиальной сети, начиная со ставших классическими работ Н.И. Маккавеева [8, 9], продолжает развиваться в нашей стране на передовом уровне [5, 12, 20].

Ранее выполненные глобальные оценки темпов денудации и выноса материала с суши в Мировой океан в своей основе также базируются на данных мониторинга стока наносов рек и их экстраполяции на неохваченные наблюдениями территории [7, 33, 34, 36, 39, 46 и др.]. Они свидетельствуют о высокой пространственной неравномерности выноса материала в Мировой океан с разных континентов и их частей (рис. 1). Причем значительная доля суммарного выноса приходится на малые горные реки Тихоокеанского пояса, водосборы которых располагаются в сейсмически активных районах, с максимумом, расположенным в юго-восточной Азии, где наблюдается значительное антропогенное воздействие на речные бассейны на фоне высокого слоя осадков [17, 35, 36].

В данной работе обобщены методы исследования современной денудации и рассмотрен вклад денудации горных территорий в глобальную денудацию суши, оцененный на основе анализа опубликованных данных.

Таблица 1. Применение различных методов оценки современной денудации в горах в разномасштабных исследованиях*

Метод	Локальная денудация			Региональная денудация	
	точечная оценка	склон	малый водосбор	речной бассейн	горная страна
Методы прямых наблюдений (мониторинг и датировки)					
Шпильки, репера (в том числе по глубине рыхлого горизонта), прокрашенные обломки, сетки-ловушки	+ + +	+ + +	–	–	–
Датировка отложений с помощью различных маркеров и радиоизотопных датировок (^{10}Be, ^{137}Cs, $^{210}Pb_{ex}$)	+ + +	+ + +	+ +	+ +	–
Оценка суммарных накоплений наносов в искусственно созданных водоемах с известным сроком эксплуатации	–	–	+	+ + +	–
Измерения стока взвешенных и влекомых наносов в реках	–	–	+	+ + +	+ + +
Дистанционные методы					
Лазерное наземное сканирование, фотографирование	–	+ + +	+	–	–
Лазерное сканирование, использование аэро- и космоснимков	–	+ + +	+ + +	+ + +	+

* Условно обозначена относительная частота использования указанного метода или группы методов для данного масштаба исследований (от "+++" – используется повсеместно до "–" – не используется).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ДЕНУДАЦИИ ГОРНЫХ СТРАН

В нашем обзоре методы оценки денудации для территорий различной площади, начиная от оценки в конкретной точке и заканчивая горной страной, объединены в две основные группы: методы прямых и дистанционных наблюдений (табл. 1).

Группа дистанционных методов и группа методов прямых наблюдений взаимно дополняют друг друга, так как, по сути, позволяют оценивать темпы денудации в интервале времени от единичных событий до нескольких десятилетий [6]. Мониторинг стока воды и наносов на гидрологических постах – наиболее традиционный и распространенный, но постоянно совершенствующийся метод оценки суммарного выноса материала за пределы водосбора за различные интервалы времени, начиная от единичного паводка и заканчивая общим периодом наблюдений, который в отдельных случаях может составлять до ста лет. Точность оценок суммарного объема наносов, проходящих через измеряемый створ, зависит от частоты и метода отбора проб воды на мутность [3]. При этом, к сожалению, расходы наносов при прохождении экстремальных паводков, характерных для горных рек, часто не фиксируются, так как автоматическая измерительная аппаратура полностью или частично приходит в негодность при их прохождении, а прямые измерения расходов воды и отбор проб на мутность в это время технически невозможны. Кроме того, до сих пор практически не проводятся на регулярной основе измерения расходов донных наносов, хотя все чаще встречаются исследования, где расход донных наносов фиксируется [38]. Тем самым оценка денудации, которая осуществляется на основе мониторинговых наблюдений на гидрологических постах, в целом приводит к ее занижению. При этом использование оптических методов измерения мутности, получившее распространение в последние десятилетия, способствовало упрощению определения расходов взвешенных наносов [1].

Дистанционные методы также давно используются для оценки темпов денудации. Они основаны на сопоставлении цифровых моделей рельефа (ЦМР) территории, выполненных с определенным временным интервалом (см. ссылки в работе [44]). Наземные приборы для проведения дистанционных съемок, начиная от фототеодолита и заканчивая 3D сканером, в основном ориентированы на изучение темпов отдельных экзогенных процессов или их групп в пределах склона или склонового водосбора. В то же время повторные съемки местности с большого расстояния, выполненные с использованием беспилотных летательных аппаратов (дронов), вертолетов, самолетов или космических спутников, при наличии фиксированных маркеров также позволяют строить с разной степенью точности ЦМР и использовать их для количественных оценок темпов денудации территорий разной площади. При этом временной интервал для проведения повторных съемок зависит от масштаба съемки и интенсивности трансформации рельефа за счет денудационно-аккумулятивных процессов. Так, съемка с дронов камерами высокого разре-

шения позволяет оценить темпы денудации за единичное эрозионное событие на участке склона или малом водосборе. При значительных трансформациях рельефа на горных склонах, которые могут происходить при сильных землетрясениях, одновременно сопровождаемых активизацией экзогенных процессов, целесообразно использование повторных съемок с самолета или спутника для большего охвата территории. Однако в большинстве случаев повторные аэросъемки ранее проводились с шагом в десятилетие и более. В настоящее время съемка из космоса территорий, охваченных катастрофическими событиями (сильные наводнения, землетрясения, прохождение мощных селей и т.п.), проводятся с высокой частотой. Следует учитывать, что точность оценок темпов денудации на основе использования дистанционных методов, помимо разрешающей способности используемой для съемок аппаратуры, зависит от проективного покрытия территории растительностью. Применение лазерного воздушного сканирования позволяет избегать и этих проблем, но пока оно используется недостаточно широко из-за высокой стоимости оборудования. Для повышения точности и верификации оценок темпов денудации на основе использования дистанционных методов желательно использовать наземные методы количественной оценки темпов отдельных, наиболее характерных для изучаемой территории экзогенных процессов. К числу этих методов относятся давно используемые методы реперов, шпилек, ловушек и их современные усовершенствованные аналоги [25, 28, 30 и др.].

Несмотря на существенно расширившийся набор методов изучения современных темпов денудации в горных странах, крайне ограничены исследования, в которых на количественной основе за известный интервал времени определены скорости бассейновой и русловой составляющих денудационного среза для речного бассейна [22]. Это объясняется трудоемкостью оценок перераспределения наносов по пути их транспортировки со склонов в постоянные водотоки и сложностью определения трансформаций русел малых рек с учетом перемещения донных наносов.

ВКЛАД ДЕНУДАЦИИ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В ГЛОБАЛЬНУЮ ДЕНУДАЦИЮ СУШИ

Глобальным изменениям денудационных процессов в XX–XXI вв. посвящено множество работ (см. [24, 39, 47, 48]). Деятельность человека на протяжении веков способствовала усилению денудации. Наиболее значительное влияние было связано с земледелием с момента его зарождения, а также вырубка леса. Создание водохранилищ, особенно активное при строительстве крупных гидроэлектростанций в XX в., напротив, способствовало усилению локальной аккумуляции продуктов денудации, транспортируемых реками. В глобальном масштабе, вероятно, не менее ~16% наносов задерживается в водохранилищах [45].

Глобальный сток наносов, поступающих в Мировой океан, оценивается в диапазоне 17–21 млрд т в год [9, 32, 35, 36, 39]. При этом вследствие антропогенного воздействия сток наносов рек претерпевает кратные изменения, с ростом в некоторых регионах в 100 раз и более (см. [21]). Так, по оценкам Миллимана и Савитски [35], в то время как глобальное поступление наносов в океан в середине XX в. было на уровне 20 млрд т/год, 2000–2500 лет назад эта величина составляла 10–12.6 млрд т/год [32], а в период до плиоцена – менее 6 млрд т/год [39]. Подобное увеличение обусловлено, прежде всего, развитием земледелия, что спровоцировало глобальный рост денудации в несколько раз (в 2–10 раз по оценкам [35, 39]). Показателен пример Шри-Ланки [21], где темпы палеоденудации, установленные на основе применения ^{10}Be, составляли 13–30 т/км^2/год, тогда как для этой же территории в настоящее время они достигают 130–2100 т/км^2/год.

Одновременно создание водохранилищ, суммарный объем которых вырос с 0.3×10^{12} м^3 в 1950 г. до 6.2×10^{12} м^3 в 2010 г. [15], способствует переотложению значительной части наносов внутри гидрографической сети [15]. Согласно оценкам, в настоящее время имеется достаточно большое число зарегулированных рек, сток наносов которых более чем на 90% перехватывается водохранилищами [36]. Среди них – достаточно крупные реки, такие как Нил и Колорадо.

Из общей площади суши, составляющей порядка 90 млн км^2, с которой взвешенное вещество (~20 млрд т/год) выносится реками в океан, около 6 млн км^2 приходится на водосборный бассейн Амазонки (сток наносов ~1.2 млрд т/год). Суммарный водосборный бассейн следующих девяти наиболее крупных рек составляет порядка 32 млн км^2. Но основной сток наносов формируется на водосборах малых горных рек, так как именно в их пределах максимальных значений достигают коэффициенты доставки наносов со склонов в постоянные водотоки. Для ненарушенных ландшафтов интенсивность денудационных процессов в горных районах в 20–30 раз превосходит интенсивность этих процессов в пределах равнин и низменностей [17]. Показателен пример бассейна р. Миссисипи, где сток наносов горных рр. Суситна, Купер и Стикайн, суммарная водосборная площадь которых составляет менее 4% от общей площади бассейна, составляет около трети наносов р. Миссисипи [35]. Главными факторами, определяющими формирование стока нано-

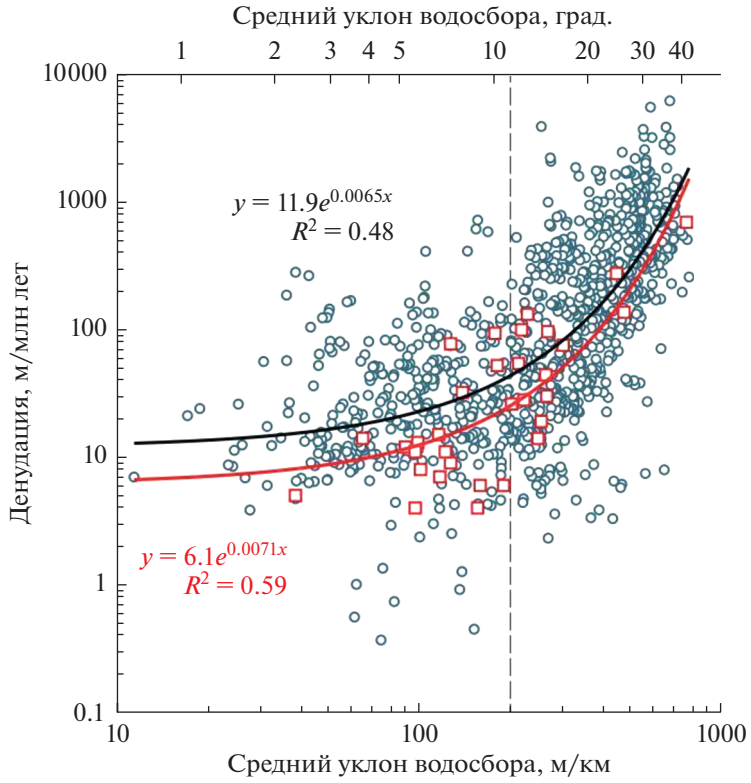

Рис. 2. Важнейший фактор, определяющий горную денудацию: средний уклон водосбора [49]. Красными символами показаны данные по стокам наносов рек, синими – данные по космогенным изотопам. Используется с официального разрешения издательства.

сов со склонов в горах, помимо климата, являются литология, тектоника и морфометрические характеристики рельефа (средняя высота речного бассейна и средний уклон водосборного бассейна) (см. [35, 37]). Так, для горных бассейнов малых рек альпийского пояса модуль стока наносов снижается от высокогорных рек, где он достигает 7000 т/км^2 в год, к среднегорным, где он как минимум на порядок ниже [23]. Установлена нелинейная зависимость скорости денудации с величиной среднего уклона водосбора (рис. 2), которая в равной мере прослеживается как для денудации, выявленной на основе оценки стока наносов рек, так и полученной с использованием ^{10}Be.

Наиболее активно процессы разрушения происходят на склонах с уклонами >15°, доля которых максимальна в высокогорном поясе, и существенно снижается уже в среднегорном и далее в низкогорном поясе, где подобные склоны характерны только для участков подмыва реками коренных склонов и бедлендов [23]. В целом, на долю горных склонов с уклонами >15° приходится 52% от общей денудации [29]. При этом, как показывают новейшие исследования, в высокогорной зоне доля малых речных водосборов, в пределах которых бóльшая часть продуктов денудации переоткладывается, не достигая постоянных водотоков, в целом сопоставима с числом водосборов с высокими коэффициентами доставки наносов [16]. Остальной объем глобальной денудации относительно равномерно распределяется между склонами с уклонами 1°–15° [29]. Причем для территорий с уклонами в данном диапазоне целый набор факторов определяет фактические темпы денудации в речном бассейне, включая как природные (литология, климат, сейсмическая и тектоническая активность, растительный покров), так и антропогенные (доля пашни, пастбищ, карьеров по добыче полезных ископаемых и т.п.) [7]. Именно поэтому для отдельных горных массивов, где антропогенная нагрузка в низкогорном поясе достаточно велика, среднегорный пояс наиболее устойчив к процессам денудации. Большое число возможных сочетаний факторов, определяющих темпы денудации в пределах малых речных бассейнов в горах, способствует их высокой пространственной вариабельности [40]. Следует отметить, что для горных территорий с низкой антропогенной нагрузкой доминирующими факторами, определяющими темпы современной денудации, являются литология и уклон водосборов, тогда как климатические характеристики, включая слой осадков, которые определя-

ют объем стока воды, играют подчиненную роль [13].

Согласно современным оценкам доля химической денудации составляет порядка 15% от суммарной денудации, связанной с выносом реками наносов в Мировой океан [29]. Но при этом интенсивность химической денудации в горах выше, чем на равнинах, и гораздо сильнее варьирует по площади, что обусловлено различиями в литологии слагающих горные массивы пород. Так, для Альп соотношение механической и химической денудации составляет примерно 1.5 [23].

Важнейшими факторами усиления темпов денудации в горах являются сейсмическая и тектоническая активность территории [19, 27, 31, 36]. Эти процессы достаточно сложно математически формализовать и соотнести с денудацией, так как по существу их проявление стимулирует процессы разрушения горных пород и активизации некоторых экзогенных процессов, например оползней [41], в связи с чем отсутствуют прямые корреляционные связи между сейсмической активностью территории и модулем стока наносов рек [45]. Тем не менее максимальный вынос наносов с суши в океан располагается в западном секторе Тихоокеанского огненного пояса (см. рис. 1). Здесь наблюдается наиболее полное сочетание всех основных факторов, способствующих проявлению максимальных темпов денудации: высокая сейсмотектоническая активность, регулярное прохождение тайфунов с большим количеством осадков, значительная антропогенная нарушенность и горный рельеф бассейнов малых и средних рек, для которых характерны высокие коэффициенты доставки наносов в устья, расположенные на морских побережьях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование современных методов количественной оценки темпов отдельных экзогенных процессов и денудации в целом на локальном и региональном уровнях, обусловленное в первую очередь увеличением точности и расширением технологий дистанционных методов исследования, способствует активному накоплению банка данных об интенсивности современных процессов трансформации рельефа горных стран. В настоящее время степень изученности различных горных массивов мира характеризуется высокой вариабельностью. Наряду с детально исследованными территориями (Альпы, некоторые районы Пиренеев и Эфиопского нагорья) существует большое число практически не исследованных в отношении современных темпов денудации горных стран (горы Средней Азии, Иранское нагорье, Саяны и др.). Для таких территорий основным источником информации о темпах денудации по-прежнему остаются достаточно отрывочные данные наблюдений за стоком наносов рек.

Согласно современным оценкам, максимальные темпы современной денудации наблюдаются в западном секторе Тихоокеанского огненного кольца, на долю которого приходится порядка трети от суммарного выноса наносов в Мировой океан. Следует отметить, что значительный объем продуктов денудации, транспортируемых реками, задерживается в искусственно созданных водохранилищах. Только в крупных водохранилищах мира, в основном расположенных в горах или предгорьях, согласно расчетам, выполненным на 2010 год, накопилось 6.2 млрд т наносов. Однако и малые водохранилища в горах являются накопителями наносов. Так, подсчитано, что в европейских Альпах 45% транспортируемых наносов перехватываются искусственно созданными водоемами различных размеров [23].

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Раздел данной работы по методам подготовлен в рамках госзадания № 0148-2019-0005 (АААА-А19-119021990091-4). Работа над другими разделами велась в рамках проекта РНФ № 19-17-00181 “Количественная оценка бассейновой составляющей стока наносов и ее изменений в голоцене на реках Кавказа”.

FUNDING

The section devoted to the methods was prepared within the framework of the state-ordered research theme no. 0148-2019-0005 (AAAA-A19-119021990091-4). Work on the other sections was carried out within the framework of the Russian Science Foundation project no. 19-17-00181 “Quantitative Assessment of the Slope Sediment Flux and Its Changes in the Holocene for the Caucasus Mountain Rivers”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Айбулатов Д.Н., Зотов Л.В., Фролова Н.Л., Чалов С.Р.* Современные возможности использования методов дистанционного зондирования для получения информации о водных объектах // Земля из космоса: наиболее эффективные решения. 2015. № 5. С. 34–37.
2. *Алексеевский Н.И.* Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 201 с.
3. *Белозерова Е.В., Чалов С.Р.* Определение мутности речных вод оптическими методами // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2013. № 6. С. 39–45.
4. *Голосов В.Н.* Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
5. *Голосов В.Н., Ермолаев О.П.* Пространственно-временные закономерности развития современных процессов природно-антропогенной эрозии на

Русской равнине. Изд-во АН Респ. Татарстан, 2019. 372 с.

6. *Грачев А.М., Голосов В.Н.* Оценка темпов палеоденудации в горах: основные подходы и результаты // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. Т. 84. № 5. С. 704–714.
7. *Дедков А.П., Мозжерин В.И.* Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во КГУ, 1984. 264 с.
8. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 346 с.
9. *Маккавеев Н.И.* Некоторые особенности эрозионно-аккумулятивного процесса // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 8. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. С. 5–16.
10. *Мозжерин В.В.* Расчленение стока взвешенных наносов рек Северной Евразии на русловую и бассейновую составляющие и его геоморфологическая интерпретация // Региональные исследования природно-территориальных комплексов / ред. В.В. Сироткин, Р.Р. Денмухаметов. Казань: Меддок, 2012. С. 93–100.
11. *Соболев С.С.* Развитие эрозионных процессов на территории европейской части СССР и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1948. Т. 1. 305 с.
12. *Чалов Р.С., Сидорчук А.Ю., Голосов В.Н.* Эрозионно-русловые системы. М.: ИНФРА-М, 2017. 702 с.
13. *Aalto R., Dunne T., Guyot J.L.* Geomorphic controls on Andean denudation rates // J. Geol. 2006. V. 114. P. 85–99.
14. *Bagnold R.A.* The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London: Methuen, 1941. 265 p.
15. *Basson G.* Reservoir sedimentation – An overview of global sedimentation rates and predicted sediment deposition // Abstracts of the Workshop on Erosion, Transport and Deposition of Sediment. Bern, Switzerland, 2008.
16. *Carrivick J.L., Heckmann T., Turner A., Fischer M.* An assessment of landform composition and functioning with the fist proglacial system dataset of the central European Alps // Geomorphology. 2018. V. 321. P. 117–128.
17. *Dedkov A.P., Moszherin V.I.* Erosion and sediment yield in mountainregions of the world // Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions (Proceedings of the Chengdu Symposium, July, 1992). 1992. № 209. IAHS Publ. P. 29–36.
18. *Gilbert G.K.* Hydraulic-Mining Debris in the Sierra Nevada // U.S. Geological Survey Professional Paper. 1917. 154 p.
19. *Golosov V., Zhang X.B., He X.B., Tang Q., Zhou P.* Principal denudation processes and their contribution to fluvial suspended sediment yields in the Upper Yangtze River Basin and Volga River Basin // J. Mountain Sci. 2015. V. 12. P. 101–122.
20. *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.
21. *Hewawasam T., von Blackenburg F., Schaller M., Kubik P.* Increase of human over natural erosion rates in tropical highlands constrained by cosmogenic nuclides // Geology. 2003. V. 31. P. 597–600.
22. *Hinderer M.* From gullies to mountain belts: a review of sediment budgets at various scales // Sediment. Geol. 2012. V. 280. P. 21–59.
23. *Hinderer M., Kastowski M., Kamelger A., Bartolini C., Schlunegger F.* River loads and modern denudation of the Alps – A review // Earth-Sci. Rev. 2013. V. 118. P. 11–44.
24. IAHS-ICCE Erosion and sediment yields in the changing environment // Proceedings of an IAHS International Commission on Continental Erosion symposium held at the Institute of Mountain Hazards and Environment. IAHS Press, 2012.
25. *Johnson J.P.L., Whipple K.X., Sklar L.S.* Contrasting bedrock incision rates from snowmelt and flash floods in the Henry Mountains, Utah // Geol. Soc. Am. Bull. 2010. V. 122. P. 1600–1615.
26. *Keller E., Adamaitis C., Alessio P., Anderson S., Goto E., Gray S., Gurrola L., Morell K.* Applications in geomorphology // Geomorphology. 2019. V. 366. 106729.
27. *Kober F., Zeilinger G., Hippe K., Marc O., Lendzioch T., Grischott R., Christl M., Kubik P.W., Zola R.* Tectonic and lithological controls on denudation rates in the central Bolivian Andes // Tectonophysics. 2015. V. 657. P. 230–244.
28. *Kolb A., Barth E., Koch R., Larsen R.* Time-of-flight cameras in computer graphics // Computer Graphics Forum. 2010. V. 29. P. 141–159.
29. *Larsen I.J., Montgomery D.R., Greenberg H.M.* The contribution of mountains to global denudation // Geology. 2014. V. 42. P. 527–530.
30. *Lawler D.M.* Advances in the continuous monitoring of erosion and deposition dynamics: Developments and applications of the new PEEP-3T system // Geomorphology. 2008. V. 93. P. 17–39.
31. *Li G., West A.J., Densmore A.L., Jin Z., Zhang F., Wang J., Clark M., Hilton R.J.* Earthquakes drive focused denudation along a tectonically active mountain front // Earth Planet. Sci. Lett. 2017. V. 472. P. 253–265.
32. *McLennan S.M.* Weathering and global denudation // J. Geol. 1993. V. 101. P. 295–303.
33. *Milliman J.D., Meade R.H.* World-wide delivery of sediment to the oceans // J. Geol. 1983. V. 91 P. 1–21.
34. *Milliman J.D.* Fluvial sediment in coastal seas: flux and fate // Nature and Resources. 1990. V. 26. P. 12–22.
35. *Milliman J.D., Syvitski J.P.* Geomorphic tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers // J. Geol. 1992. V. 100. P. 525–544.
36. *Milliman J.D., Farnsworth K.L.* River discharge to the coastal ocean: A global synthesis. Cambridge Univ. Press, 2013. 394 p.
37. *Mishra A.K., Placzek C., Jones R.* Coupled influence of precipitation and vegetation on millennial-scale erosion rates derived from ^{10}Be // PLoS ONE. 2019. V. 14. e0211325.
38. *Morche D., Schmidt K.H., Sahling I., Herkommer M., Kutschera J.* Volume changes of Alpine sediment stores in a state of post-event disequilibrium and the implications for downstream hydrology and bed load transport // Norw. J. Geogr. 2008. V. 62. P. 89–101.

39. *Panin A.* Land-ocean sediment transfer in palaeotimes, and implications for present-day natural fluvial fluxes // Sediment transfer through the fluvial system / Golosov V., Belyaev V. and Walling D.E. (Eds.). IAHS, 2004. V. 288. P. 115–124.

40. *Schlunegger F., Norton K.P., Caduff R.* Hillslope processes in temporate environments // Treatise in Geomorphology. Mountain and Hillslope Geomorphology / Marston R., Stoffel M. (Eds.). London: Elsevier, 2011. V. 3.

41. *Sidle R.C., Ochiai H.* Landslides: Processes, prediction, and land use. American Geophysical Union, 2006. 312 p.

42. *Strahler A.N.* Dynamic basis of geomorphology // Geol. Soc. Am. Bull. 1952. V. 63. P. 923–938.

43. *Strahler A.N.* Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography // Geol. Soc. Am. Bull. 1952. V. 63. P. 1117–1142.

44. *Turowski J.M., Cook K.L.* Field techniques for measuring bedrock erosion and denudation // Earth Surface Processes and Landforms. 2017. V. 42. P. 109–127.

45. *Vanmaercke M., Poesen J., Broeckx J., Nyssen J.* Sediment yield in Africa // Earth-Sci. Rev. 2014. V. 136. P. 350–368.

46. *Walling D.E., Webb B.W.* Patterns of sediment yield // Background to Palaeohydrology / K.J. Gregory (Ed.). Chichester, UK: Wiley, 1983. P. 69–100.

47. *Walling D.E.* Human impact on land–ocean sediment transfer by the world's rivers // Geomorphology. 2006. V. 79. P. 192–216.

48. *Walling D.E.* The impact of global change on erosion and sediment transport by rivers: current progress and future challenges. Paris, France: UNESCO, 2009. 26 p.

49. *Willenbring J.K., Codilean A.T., McElroy B.* Earth is (mostly) flat: Apportionment of the flux of continental sediment over millennial time scales // Geology. 2013. V. 41. P. 343–346.

Modern Denudation in the Mountains and Its Contribution to the Global Land Denudation

A. M. Grachev[1, *] and V. N. Golosov[1, 2, **]

[1]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[2]*Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

**e-mail: agrachev@igras.ru*

***e-mail: gollossov@gmail.com*

Increased attention to the quantitative assessment of the modern denudation of mountainous territories is due to the significance of the relief transformation within these territories and the key role of the material formed in the process of denudation of the mountains in the total volume of sediments transferred from land to the World Ocean. Significant progress in, first of all, remote sensing techniques for studying the rates of individual exogenous processes and denudation in general, which has occurred over the past decade, contributed to the significant quantitative data increase related to the dynamics of relief transformation. This was enabled by two factors: a significant increase in the accuracy of digital elevation models created using remote sensing methods and the simplification of the processing of the data obtained. The article summarizes the published results and systematizes the methods for studying modern land denudation. It is shown that the combined usage of a set of direct observation methods and remote sensing methods allows the most detailed characterization of space-time changes in the relief at various scales of the studies. About 52% of land denudation products are formed on slopes with inclinations >15%. For the remaining territories in the mountains, the rates of denudation are determined by a different combination of a set of factors: seismotectonic activity, meteorological characteristics, lithology, and anthropogenic load. The maximum cumulative effect of these factors is achieved in the basins of small rivers. It is due to the optimal combination of the above factors that slightly less than one third (6.8 billion tons) of the total volume of sediment supplied from land to the world ocean is formed due to the sediment yield of small and medium-sized rivers of the western sector of the Ring of Fire of the Pacific Ocean.

Keywords: mountains, denudation, quantitative methods, sediment yield

REFERENCES

1. Aibulatov D.N., Zotov L.V., Frolova N.L., Chalov S.R. Modern possibilities for the use of remote sensing methods to obtain information about water bodies. *Zemlya iz Kosmosa: Naibolee Effektivnye Resheniya*, 2015, no. 5, pp. 34–37. (In Russ.).

2. Alekseevskii N.I. *Formirovanie i dvizhenie rechnykh nanosov* [Formation and Movement of River Sediments]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1998. 201 p.

3. Belozerova E.V., Chalov S.R. Determination of turbidty of river waters by optical methods. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2013, no. 6, pp. 39–45. (In Russ.).

4. Golosov V.N. *Erozionno-akkumulyativnye protsessy v rechnykh basseinakh osvoennykh ravnin* [Erosion-Accumulative Processes in River Basins of Developed Plains]. Moscow: GEOS Publ., 2006. 296 p.
5. Golosov V.N., Ermolaev O.P. *Prostranstvenno-vremennye zakonomernosti razvitiya sovremennykh protsessov prirodno-antropogennoi erozii na Russkoi ravnine* [Spatio-Temporal Patterns of Development of Modern Processes of Natural and Anthropogenic Erosion on the Russian Plain]. Kazan: Akad. Nauk Respubl. Tatarstan, 2019. 372 p.
6. Grachev A.M., Golosov V.N. Evaluation of the paleodenudation rates in the mountains: Main approaches and results. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020, vol. 84, no. 5, pp. 704–714. (In Russ.).
7. Dedkov A.P., Mozzherin V.I. *Eroziya i stok nanosov na Zemle* [Erosion and Sediment Yield on Earth]. Kazan: Kazan. Gos. Univ., 1984. 264 p.
8. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* [River Channel and Erosion in Its Basin]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1955. 346 p.
9. Makkaveev N.I. Some features of the erosion-accumulative process. *Eroziya Pochv i Ruslovye Protsessy*, 1981, no. 8, pp. 5–16. (In Russ.).
10. Mozzherin V.V. Dividing the runoff of suspended sediment from rivers of Northern Eurasia into channel and basin components and its geomorphological interpretation. In *Regional'nye issledovaniya prirodno-territorial'nykh kompleksov* [Regional Studies of Natural and Territorial Complexes]. Sirotkin V.V., Denmukhametov R.R., Eds. Kazan: Meddok Publ., 2012, pp. 93–100. (In Russ.).
11. Sobolev S.S. *Razvitie erozionnykh processov na territorii evropeiskoi chasti SSSR i bor'ba s nimi* [Development of Erosion Processes in the European Part of the USSR and Counteracting Them]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1948, vol. 1, 305 p.
12. Chalov R.S., Sidorchuk A.Yu., Golosov V.N. *Erozionno-ruslovye sistemy* [Erosion-Channel Systems]. Moscow: INFRA-M Publ., 2017. 702 p.
13. Aalto R., Dunne T., Guyot J.L. Geomorphic controls on Andean denudation rates. *J. Geol.*, 2006, vol. 114, no. 1, pp. 85–99.
14. Bagnold R.A. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. London: Methuen Publ., 1941. 265 p.
15. Basson G. Reservoir sedimentation – An overview of global sedimentation rates and predicted sediment deposition. In *Abstracts of the Workshop on Erosion, Transport and Deposition of Sediment*. Bern, Switzerland, 2008.
16. Carrivick J.L., Heckmann T., Turner A., Fischer M. An assessment of landform composition and functioning with the fist proglacial system dataset of the central European Alps. *Geomorphology*, 2018, vol. 321, pp. 117–128.
17. Dedkov A.P. Moszherin V.I. Erosion and sediment yield in mountain regions of the world. In *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions* // Walling D.E., Davies T.R., Hasholt B., Eds. Wallingford, UK: IAHS Press, 1992, pp. 29–36.
18. Gilbert G.K. *Hydraulic-Mining Debris in the Sierra Nevada*. U.S. Geological Survey Professional Paper no. 105. Washington, DC: USGS, 1917. 154 p.
19. Golosov V., Zhang X.B., He X.B., Tang Q., Zhou P. Principal denudation processes and their contribution to fluvial suspended sediment yields in the Upper Yangtze River Basin and Volga River Basin. *J. Mt. Sci.*, 2015, vol. 12, pp. 101–122.
20. 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, vol. 327, pp. 230–247.
21. Hewawasam T., von Blackenburg F., Schaller M., Kubik P. Increase of human over natural erosion rates in tropical highlands constrained by cosmogenic nuclides. *Geology*, 2003, vol. 31, pp. 597–600.
22. Hinderer M. From gullies to mountain belts: a review of sediment budgets at various scales. *Sediment. Geol.*, 2012, vol. 280, pp. 21–59.
23. Hinderer M., Kastowski M., Kamelger A., Bartolini C., Schlunegger F. River loads and modern denudation of the Alps – A review. *Earth-Sci. Rev.*, 2013, vol. 118, pp. 11–44.
24. *Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment.* Collins A.L., Golosov V., Horowitz A.J., Lu X., Stone M., Walling D.E., Zhang X., Eds. Proc. IAHS Int. Commission on Continental Erosion Symp. Held at the Institute of Mountain Hazards and Environment. IAHS Press, 2012. 462 p.
25. Johnson J.P.L., Whipple K.X., Sklar L.S. Contrasting bedrock incision rates from snowmelt and flash floods in the Henry Mountains, Utah. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 2010, vol. 122, pp. 1600–1615.
26. Keller E., Adamaitis C., Alessio P., Anderson S., Goto E., Gray S., Gurrola L., Morell K. Applications in geomorphology. *Geomorphology*, 2019, vol. 366, 106729. doi 10.1016/j.geomorph.2019.04.001
27. Kober F., Zeilinger G., Hippe K., Marc O., Lendzioch T., Grischott R., Christl M., Kubik P.W., Zola R. Tectonic and lithological controls on denudation rates in the central Bolivian Andes. *Tectonophysics*, 2015, vol. 657, pp. 230–244.
28. Kolb A., Barth E., Koch R., Larsen R. Time-of-flight cameras in computer graphics. *Comput. Graph. Forum*, 2010, vol. 29, pp. 141–159.
29. Larsen I.J., Montgomery D.R., Greenberg H.M. The contribution of mountains to global denudation. *Geology*, 2014, vol. 42, pp. 527–530.
30. Lawler D.M. Advances in the continuous monitoring of erosion and deposition dynamics: Developments and applications of the new PEEP-3T system. *Geomorphology*, 2008, vol. 93, pp. 17–39.
31. Li G., West A.J., Densmore A.L., Jin Z., Zhang F., Wang J., Clark M., Hilton R.J. Earthquakes drive focused denudation along a tectonically active mountain front. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2017, vol. 472, pp. 253–265.
32. McLennan S.M. Weathering and global denudation. *J. Geol.*, 1993, vol. 101, pp. 295–303.
33. Milliman J.D., Meade R.H. World-wide delivery of river sediment to the oceans. *J. Geol.*, 1983, vol. 91, no. 1, pp. 1–21.
34. Milliman J.D. Fluvial sediment in coastal seas: flux and fate. *Nature and Resources*, 1990, vol. 26, no. 4, pp. 12–22.

35. Milliman J.D, Syvitski J.P. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *J. Geol.*, 1992, vol. 100, pp. 525–544.

36. Milliman J.D., Farnsworth K.L. *River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis*. Cambridge Univ. Press, 2013. 394 p.

37. Mishra A.K., Placzek C., Jones R. Coupled influence of precipitation and vegetation on millennial-scale erosion rates derived from ^{10}Be. *PLoS ONE*, 2019, vol. 14, no. 1, e0211325. doi 10.1371/journal.pone.0211325

38. Morche D., Schmidt K.H., Sahling I., Herkommer M., Kutschera J. Volume changes of Alpine sediment stores in a state of post-event disequilibrium and the implications for downstream hydrology and bed load transport. *Norw. J. Geogr.*, 2008, vol. 62, pp. 89–101.

39. Panin A. Land-ocean sediment transfer in palaeotimes, and implications for present-day natural fluvial fluxes. In *Sediment Transfer Through the Fluvial System: Proceedings of the International Symposium Held at Moscow, Russia, from 2 to 6 August, 2004*. Golosov V., Belyaev V., Walling D.E., Eds. IAHS, 2004, pp. 115–124.

40. Schlunegger F., Norton K.P., Caduff R. Hillslope processes in temporate environments. In *Treatise in Geomorphology. Mountain and Hillslope Geomorphology*. Marston R., Stoffel M., Eds. San Diego: Academic Press, 2013, vol. 7, pp. 337–354.

41. Sidle R.C., Ochiai H. *Landslides: Processes, Prediction, and land use*. Washington, DC: Am. Geophys. Union, 2006. 312 p.

42. Strahler A.N. Dynamic basis of geomorphology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1952, vol. 63, pp. 923–938.

43. Strahler A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1952, vol. 63, pp. 1117–1142.

44. Turowski J.M., Cook K.L. Field techniques for measuring bedrock erosion and denudation. *Earth Surf. Process. Landf.*, 2017, vol. 42, pp. 109–127.

45. Vanmaercke M., Poesen J., Broeckx J., Nyssen J. Sediment yield in Africa. *Earth-Sci. Rev.*, 2014, vol. 136, pp. 350–368.

46. Walling D.E., Webb B.W. Patterns of sediment yield. In *Background to Palaeohydrology*. Gregory K.J., Ed. Chichester, UK: Wiley, 1983, pp. 69–100.

47. Walling D.E. Human impact on land–ocean sediment transfer by the world's rivers. *Geomorphology*, 2006, vol. 79, pp. 192–216.

48. Walling D.E. *The Impact of Global Change on Erosion and Sediment Transport by Rivers: Current Progress and Future Challenges*. Paris: UNESCO, 2009. 26 p.

49. Willenbring J.K., Codilean A.T., McElroy B. Earth is (mostly) flat: Apportionment of the flux of continental sediment over millennial time scales. *Geology*, 2013, vol. 41, no. 3, pp. 343–346.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 59–69

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 581.5:422.2

ВТОРИЧНЫЕ СУКЦЕССИИ И СТРУКТУРА ТРОПИЧЕСКИХ МУССОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ВЬЕТНАМА

© 2021 г. Нгуен Данг Хой[a], *, А. А. Тишков[b], **

[a] *Вьетнамско-Российский тропический центр, Ханой, Вьетнам*

[b] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**e-mail: danghoi110@gmail.com*

***e-mail: tishkov@biodat.ru*

Поступила в редакцию 06.04.2020 г.
После доработки 08.10.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Исследования антропогенной динамики растительности мусонных ландшафтов Вьетнама показали, что за последние десятилетия их основные площади заняла вторичная растительность, представленная разными стадиями послелесной сукцессии. Изучены особенности восстановления тропических муссонных лесов после воздействия на них химической (экоцидной) обработки и напалма в ходе военных действий, а также после промышленных рубок в разных ландшафтах. Показано, что несмотря на некоторую инвариантность структуры лесов Вьетнама, их региональная сукцессионная система способна обеспечить восстановительный процесс после разного типа антропогенных нарушений. Это свидетельствует о длительности хозяйственного освоения вьетнамских тропических лесов и о формировании сукцессионной системы за счет растений разного сукцессионного статуса. Выявлено, что тренд естественного развития лесной растительности проявляется уже после 25–30 лет после нарушений. На основе установленных закономерностей вторичной сукцессии мусонных ландшафтов Вьетнама можно прогнозировать состояние их растительности на разные периоды, вносить коррекцию в территориальные планы и стратегии регионального развития.

Ключевые слова: Вьетнам, муссонный тропический ландшафт, химическое (экоцидное) воздействие на тропические леса, напалм, промышленные рубки, сукцессионная система, вторичная сукцессия

DOI: 10.31857/S2587556621010088

ВВЕДЕНИЕ

Первые оценки площади лесов Вьетнама к началу 1940-х годов составляли около 14.3 млн га (43% площади страны): 10.0 млн га занимали естественные леса и 4.0 млн га – лесопосадки. После продолжительной и разрушительной для природы и хозяйства войны в 1962–1973 гг. площадь лесов сократилась, а их распространение и состав претерпели значительные изменения. Их причинами послужили прежде всего обработки леса дефолиантами типа “Agent Orange” и напалмом в процессе военных действий, а также механическое уничтожение древостоев тяжелой техникой. Масштабное применение армией США в войне химикатов привело к экоцидным, по сути, последствиям: почти полностью были уничтожены или трансформированы мангровые леса (500 тыс. га), поражено около 1000 тыс. га муссонных тропических лесов и более 100 тыс. га вторичных равнинных лесов[1]. Но не менее существенными для динамики лесной растительности Вьетнама оказались послевоенные промышленные рубки.

В итоге к началу 1990-х годов площадь лесов здесь составляла 25–28%. За последние 30 лет лесопокрытые площади в стране выросли до 48.0% территории страны[2]. И это несмотря на то, что промышленные рубки во Вьетнаме продолжались все эти годы [2]. Этот парадокс связан с тем, что земли, высвобожденные из-под девственного тропического леса для сельскохозяйственного использования, через 5–7 лет теряют плодородие, а забрасываемые аграрные угодья в течение нескольких лет сравнительно быстро зарастают так называемым вторичным лесом. Его типичной чертой считается обедненный (однообразный) видовой состав деревьев-эдификаторов. В отличие от естественного тропического леса, где дре-

[1] https://vietnews.ru/media-about-vietnam/katastroficheskie-posledstviya-voyny-vo-vetname (дата обращения 10.10.2020).

[2] https://knoema.ru/atlas/VN (дата обращения 10.10.2020).

востой представлен десятками и сотнями видов с разной степенью светолюбия (от светолюбивых высокоствольных до теневыносливых низкорослых деревьев нижних ярусов и подлеска), во вторичных тропических лесах доминируют древесные породы, отличающиеся относительным светолюбием, быстрым ростом, значительной семенной продукцией и способностью самостоятельно и эффективно рассеивать семена. Важно, что по мере развития вторичного тропического леса он физиономически становится сходным с первичным древостоем, хотя никак не соотвествует ему по биоразнообразию и объемам экосистемных услуг.

Лесопосадки, которые сравнительно широко использовались во Вьетнаме еще в колониальный период в 1950-х годах, не компенсировали потери от промышленных рубок и расчисток под сельскохозяйственные угодья. К тому же для лесопосадок часто использовались растения-интродуценты. Некоторый успех в восстановлении лесов в стране дало содействие естественному лесовозобновлению (оставление вырубок для вторичной сукцессии), начатое в конце 1980-х годов. Этими мероприятиями, по нашим оценкам, в том числе дистанционным, было охвачено более 2 млн га. К сожалению, естественное лесовосстановление происходит в основном в труднодоступных местах, где обезлесивание было не столь катастрофичным, нет интенсивной антропогенной эрозии почв и нет перспектив аграрного освоения земель. Лесная промышленность редко возвращается к использованию таких вторичных насаждений, так как они низкого качества и представлены малоценными видами, их древесина не имеет достаточного спроса.

Значительные площади лесных ландшафтов Вьетнама относятся к тропической муссонной ландшафтной системе. Это одни из самых продуктивных и имеющих высокое биологическое разнообразие типов леса Юго-Восточной Азии. Наиболее широко они представлены в ***Центральном Вьетнаме***, где в результате военных действий в 1962–1973 гг. и послевоенных промышленных рубок произошла значительная перестройка всей их сукцессионной системы, способной восстанавливать тропические муссонные леса до близкого к естественному состоянию [1–5, 7–9, 13, 15]. Поэтому необходимо понять, как такие масштабные (часто фронтальные) действия по разрушению лесного покрова страны, приводящие к диаспорическому голоду (отсутствию семян коренных древесных пород для восстановления обезлесенных территорий) и развитию плоскостной эрозии, повлияли на развитие вторичных сукцессий в агроландшафтах в ареале мусонных лесов и на формирование здесь вторичного лесного покрова. Этим вопросам и посвящена настоящая статья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований были природные, природно-антропогенные и антропогенные ландшафты в границах распространения тропических мусонных лесов Центрального Вьетнама. Современный растительный покров представлен собственно первичными и вторичными лесами, кустарниковой саванной, посадками леса на разных стадиях развития, аграрными угодьями, включая многолетние культурные насаждения.

Исследования проводились в рамках сотрудничества Российской академии наук и Вьетнамской академии наук и технологий, в том числе в связи с анализом состояния растительного покрова страны после публикации Национального атласа Вьетнама [6], в подготовке которого принимали участие сотрудники Института географии РАН, а также в процессе работы Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (Ханой). Среди публикаций данного Центра, близких по тематике настоящей статье, выделим монографию и диссертацию А.Н. Кузнецова [2], публикации одного из авторов настоящей статьи [8, 9]. Теоретические положения анализа вторичных сукцессий тропических лесов сформулированы в [9].

По материалам продукта *MEaSUREs Vegetation Continuous Fields (VCF) Yearly Global 0.05 Deg* (проект *LP DAAC*, продукт *VCF5KYR v001*)[3] было проведено сопоставление показателей облесенности территории Вьетнама с начала 1980-х годов по настоящее время (материалы Р.Б. Сандлевского). Для этого попиксельно на космических снимках оценивалась доля лесных насаждений в ячейке 30 км^2 (0.05° × 0.05°). По разности параметров облесения территории страны в 1982 г. (спустя 8 лет после прекращения военных действий и масштабных послевоенных рубок) и в 2016 г. – на период завершения реализации Стратегии развития лесного хозяйства Вьетнама (2006–2020 гг.), полученных при анализе дистанционной информации, определялся тренд состояния лесного покрова страны в целом.

Полевые обследования лесных территорий проводились с целью сбора данных о характере природной и антропогенной динамики, истории эксплуатации и уничтожения (включая сроки и интенсивность военного химического воздействия). Для объектов с датированными нарушениями и известными сроками прекращения воздействия человека, представляющих разные стадии восстановительной сукцессии, применялись геоботанические описания на стандартных по площади участках: для травянистых и кустарниковых сообществ – 10 × 10 м, для низкорослых

[3] https://lpdaac.usgs.gov/products/vcf5kyrv001 (дата обращения 10.10.2020).

вторичных лесов – 25 × 25 м, для зрелых высокоствольных фрагментов девственных и слабонарушенных лесов – 50 × 50 м. Названия семейств и родов цветковых растений соответствуют классификации, используемой в [13].

Для наглядности представления результатов анализа применялся графический метод отображения ландшафтной структуры и вторичной сукцессии, так называемый метод хроно-хорологических рядов лесной растительности с датированными нарушениями и фиксацией ее состояния на пробных площадках за последние 50 лет [1–5, 7, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Систематическое изучение особенностей вторичной сукцессии лесных ландшафтов в районах распространения мусонных тропических лесов Вьетнама позволило выявить их общие закономерности и особенности протекания в зависимости от масштаба нарушений, состояния почвенного покрова, микроклимата, развития плоскостной эрозии, удаленности от сохранившихся участков лесов, интенсивности хозяйственного использования после нарушения и пр. [7, 13].

Сама концепция вторичной сукцессии вполне согласуется с ландшафтной парадигмой. Выявляемые по градиенту богатства почв, влажности и характеру грунтов ряды и серии сукцессии проявляются на уровне урочищ и фаций. В данном случае растительность индицирует изменения других компонентов ландшафта – почв, микрорельефа, микроклимата, динамики органического вещества и влажности. Фация обретает динамический статус, для которого характерны свои скорости и доминанты стадий восстановления, а урочище становится “ареной” однонаправленной демутации с близкими стартовыми характеристиками [6, 8, 14]. Таким образом, состояние ландшафта в процессе восстановительной сукцессии проходит все стадии – от пионерной (в первые годы после нарушения) через длительнопроизводную с доминированием многолетней вторичной растительности (травянистой, кустарниковой, древесной) до близких к исходному состоянию, правильнее сказать – конвергентному с исходным состоянием. Для исследованного региона – это муссонные тропические леса с доминированием деревьев семейств диптерокарповых *Dipterocarpus intricatus*, *Shorea vulgaris*, *Hopea odorata*, *Anisoptera cochinsinensis*, бобовых, как, например, *Sindora cochinchinensis*, *Pterocarpus pedatus*, *Dalbergia bariensis*, *Xylia dolabriformis*, а из листопадных пород – *Lagerstroemia tomentosa*, *Termilia divers* и др.

1. Результаты исследования ландшафтов ***Центрального нагорья Вьетнама*** показывают, что здесь многообразие стадий вторичных сукцесий лесной растительности – долгосрочных последствий военных действий в 1960-х годах – связано с обработкой дефолиантами слабонарушенных на момент начала войны диптерокарповых лесов (рис. 1). Полевые наблюдения и анализ снимков Landsat-4 и Landsat-8 за разные годы выявили, что в западной части приграничных районов Нгок Хой (Ngoc Hoi), Ша Тхаи (Sa Thay) и Йа Хдрай (Ia H’Drai) кустарниковые саванны с отдельно стоящими деревьями и сухие полулистопадные леса с деревьями семейств *Lythraceae, Dipterocarpaceae* и *Myrtaceae* на относительно равных поверхностях сформировались в результате восстановительной сукцессии на месте сведенных в процессе химического воздействия на ландшафт муссонных тропических лесов с доминированием *Dipterocarpaceae*. Гербицид почти полностью уничтожил естественную лесную растительность в 1964 г., но спустя 55 лет на ее месте сформировались кустарниковые саванны в сухие полулистопадные леса (см. рис. 1а).

Выявлены ряды вторичной сукцессии: (1) в долинах рек и ручьев, где через 25–30 лет сформировались полулистопадные тропические леса с доминированием относительно засухоустойчивых древесных пород из *Lythraceae, Dipterocarpaceae* и *Myrtaceae* (см. рис. 1а); (2) в агроландшафте, где за счет переложной системы использования земель формируется комплекс: антропогенные вторичные леса, поля с однолетними культурами, многолетними техническими культурами с 5–10-летним циклом использования (см. рис. 1б); (3) направленное формирование травяно-кустарниковых пирогенных комплексов (кустарниковых саванн), которые существуют в субклимаксном состоянии за счет преднамеренных или непреднамеренных палов в сухом сезоне при обороте огня, не позволяющем сформироваться вторичному древостою (рис. 1в).

В итоге вторичные сукцессии тропической муссонной растительности в ландшафтах Центрального нагорья Вьетнама создали в регионе природно-антропогенную ландшафтную мозаику, формирующуюся как за счет природных процессов самовосстановления лесов, так и за счет редукции вторичной сукцессии при использовании палов, сенокошения или выпаса скота на травяно-кустарниковой стадии восстановления, либо за счет формирования плантаций многолетних технических культур, как бы имитирующих длительно производную стадию сукцессии. С одной стороны, такое динамическое состояние ландшафта позволяет сохранять потенциал для восстановления растительности при разных ее нарушениях (рубки, пожары, эрозия и пр.), а с другой – обеспечивает население биологической продукцией разного качества. Новые формы трансформации первичных тропических муссонных лесов, которые проявились в процессе химического и механического воздействия на них (де-

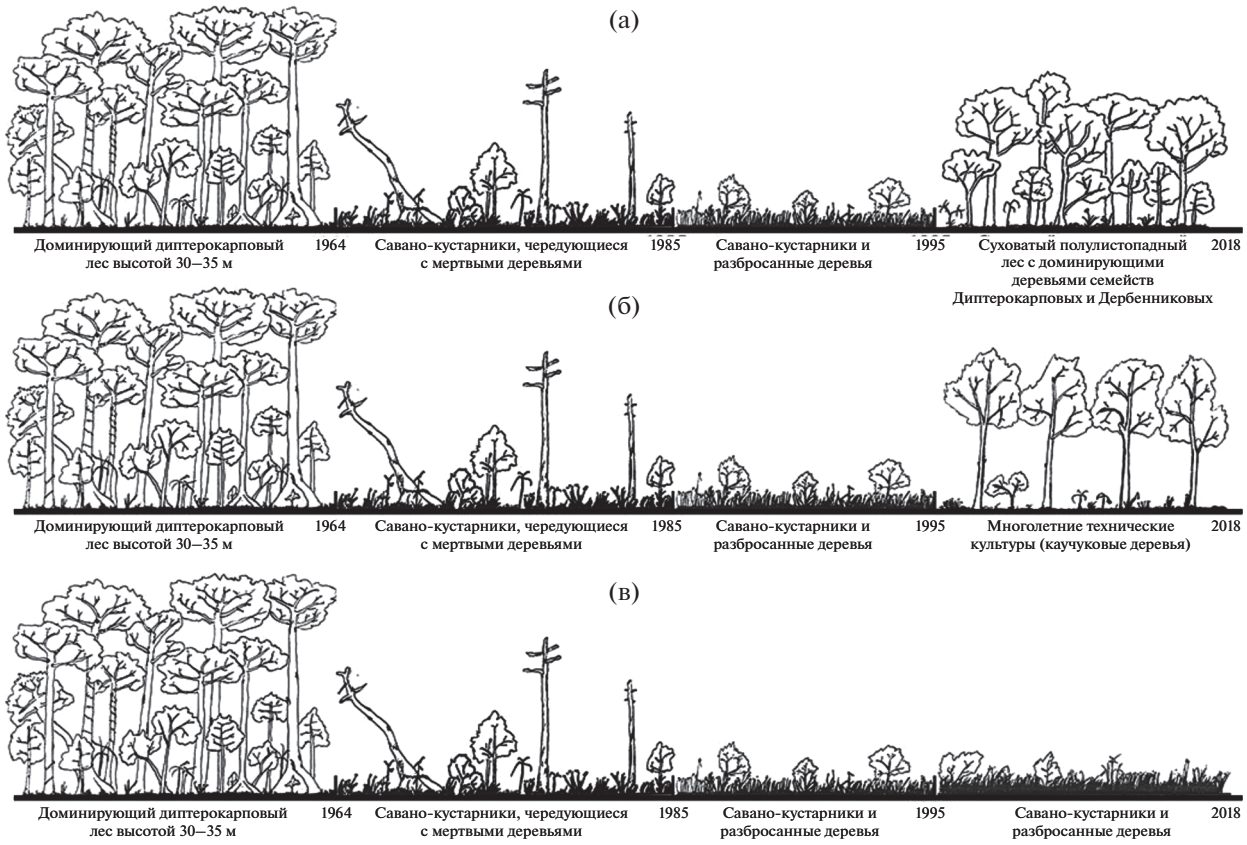

Рис. 1. Вторичная сукцессия растительности в долинах Шатхаи после химического военного воздействия на природные муссонные леса.

фолианты, напалм, использование тяжелой техники), привнесли и новые особенности в региональную сукцессионную систему, в том числе за счет увеличения площадей нарушений, проявления диаспорического голода (трудностей заноса семян для восстановления полноценного леса) и формирования бедных и дренированных поверхностей, испытавших после военных действий и масштабных промышленных рубок дополнительное воздействие плоскостной эрозии. Здесь в ряде случаев можно наблюдать эффект сочетания процессов первичной и вторичной сукцессии, существенно дополняющий “мозаику” ландшафта и расширяющий период становления и восстановления лесов.

2. В ландшафтах ***низко- и среднегорья Чалий*** на севере Шатхаи выявлены особенности протекания вторичной сукцессии. Соответственно, региональные ландшафты имеют три основных тренда восстановления после нарушений: (1) после уничтожения первичных лесов гербицидами и напалмом образуются ландшафты кустарниковой саванны и/или создаются плантации лесных культур (*Pinus kesiya*) (рис. 2а); (2) довольно похоже на первую тенденцию, когда на смену кустарниковой саванне приходят плантации масличной и лекарственной культуры – литсеи клейкой (*Litsea glutinosa*) (рис. 2б); (3) сукцессия “останавливается” при применении направленных палов в сухой сезон (рис. 2в) и использовании ландшафтов в земледелии или животноводстве.

Лесные ландшафты национальных парков и природных заповедников Центрального Вьетнама, как и окружающие их территории, имеют преимущественно вторичную растительность, сохраняя все многообразие видов растений, участвующих в восстановительных сукцессиях. К этому следует добавить, что на этих особо охраняемых природных территориях ведется ограниченная хозяйственная деятельность. Так, первичные лесные ландшафты в национальном парке Чу Мом Рай (провинция Кон Тум на границе Вьетнама, Лаоса и Камбоджи) в прошлом и в настоящем подвергались и подвергаются воздействию человека. Представленные здесь на разных высотах тропические и субтропические (преимущественно широколиственные) леса даже в условиях заповедности сохраняют черты вторичности. Кроме того, на отдельных территориях парка расположены сельскохозяйственные поселения и ведется лесохозяйственная деятельность.

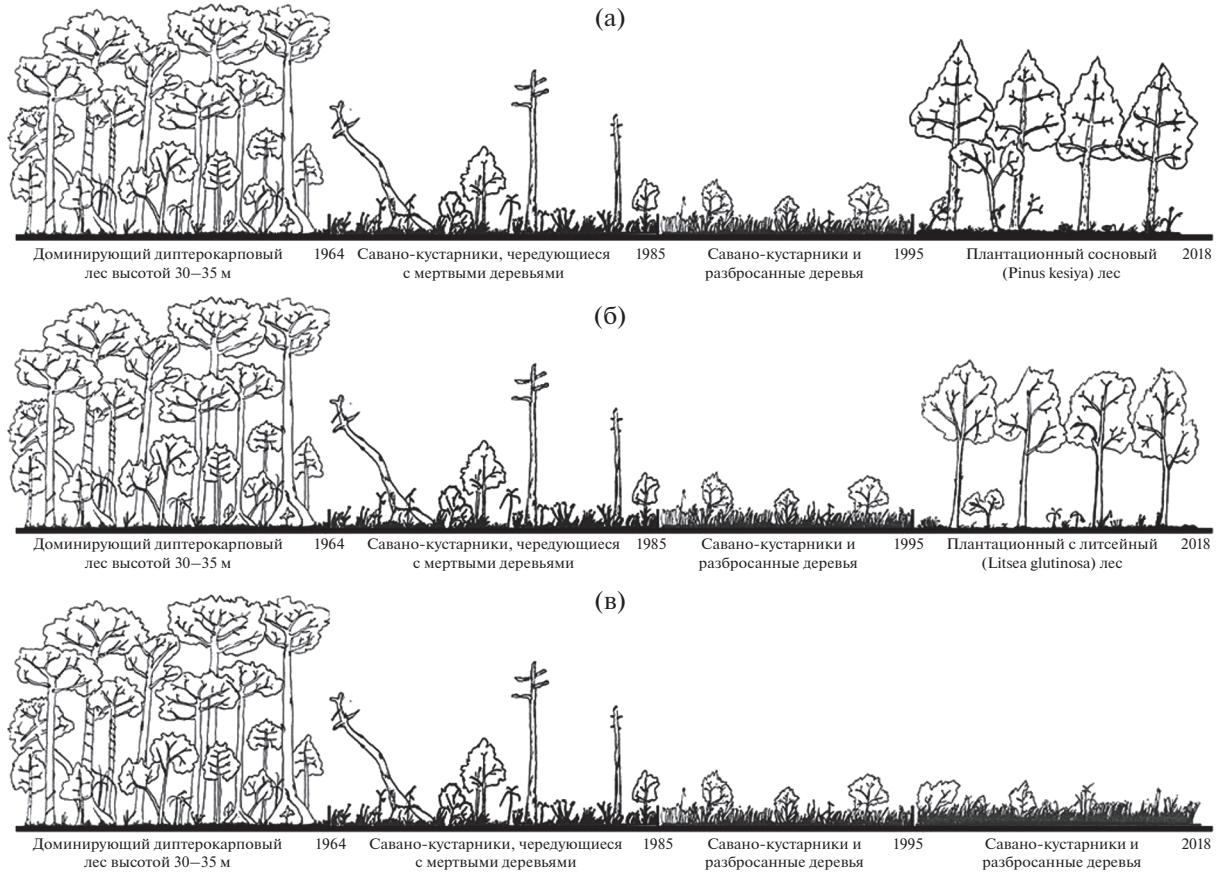

Рис. 2. Вторичная сукцессия растительности в горном районе Чалий после военного химического воздействия на природные муссонные леса.

С одной стороны, заповедный режим, наличие фрагментов первичной растительности и мелкоконтурность нарушений (вырубки, расчистки для аграрного использования, создание плантаций многолетних технических культур) в национальном парке способствуют тому, что вторичные сукцессии лесной растительности происходят быстрее, чем на участках старого освоения и на месте лесов, пострадавших в период войны от химического воздействия. Но с другой стороны, традиционный "оборот" и цикл использования земель (переложная система вовлечения земель для выращивания сезонных, однолетних и многолетних культур) имеют более короткие сроки. Это касается и времени существования деревни, и формирования на месте аграрных земель вторичной кустарниковой саванны, и продолжительности эксплуатации плантаций технических культур и пр. Например, циклы существования в агроландшафте кустарниковых саванн – всего 3–7 лет, что обусловлено традициями аграрного производства у местных этнических групп За Рай (Gia Rai), Сэданг (Xe Dang) и Зечиенг (Gie Trieng) на ***плато Центрального Вьетнама***. А внутриландшафтные трансформации, связанные с заменой плантаций одной технической культуры на другую, – 5–10 лет. И то, и другое не способствует развитию восстановительной сукцессии, но входят в систему управления традиционным агроландшафтом и, несомненно, экономически и экологически эффективны, поскольку предотвращают деградацию земель, развитие эрозии и обеднение почв, а следовательно, и качества окружающей среды традиционного ландшафта.

3. В районах, испытавших наиболее интенсивное воздействие дефолиантов в процессе военных действий в 1962–1973 гг. (***провинции Куанг-Чи (Quang Tri), Туа-Тхиен-Хюэ (Thua Thien-Hue), Кон-Тум (Kon Tum)*** и др.), на больших территориях в течение десятилетий на месте уничтоженных лесов сохраняются ландшафты кустарниковых саванн (рис. 3), на которых вторичная сукцессия "замедлилась" из-за "диаспорического голода" – отсутствия полноценного заноса семян, а также в результате развития плоскостной эрозии после промышленных рубок (см. рис. 3а) и выжигания остатков нарушенной воздействием гербицидов растительности с помощью напалмовых бомб (см. рис. 3б). В этих районах восстановление лесов, т.е. переход стадии кустарниковой или тра-

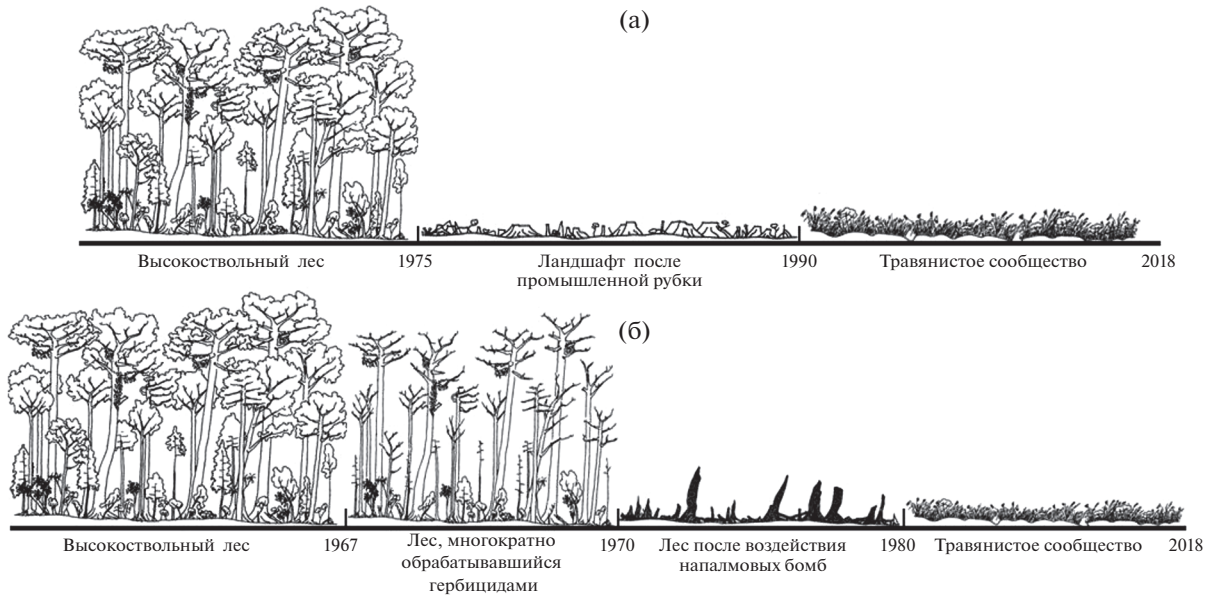

Рис. 3. Вторичные сукцессии тропических мусонных лесов после многократного воздействия гербицидов (влияние химической войны) и промышленных рубок.

вяной саванны в лесную стадию, осуществляется очень трудно из-за физических ограничений развития вторичной растительности (режим температуры и влажности), особенно в сухой период , и обязательного вовлечения ее в аграрное использование [12–14, 15, 16].

Пионерные и длительнопроизводные стадии сукцессии, формирующиеся в условиях микроклимата и освещенности участков многократной обработки гербицидами, промышленных рубок и гарей (в том числе образовавшихся от действия напалмовых бомб) в районах Золинь и Камло (провинции Куангчи); районах Шат-Хай, Нгокхой и Йа Хдрай (провинции Контум) и во многих других районах Вьетнама, образуются видами: *Litsea cubeba* (*Lauraceae*); *Macaranga trichocarpa*; *Sapium discolor*, *S. sebiferum (Euphorbiaceae*); *Melastoma osbeckoides* (*Melastomataceae*); *Trema orientalis*, *T. velutina* (*Ulmacea*e); *Anthocephalus chinensis* (*Rubiaceae*); *Euodia lepta*, *Zanthoxylum rhetsa* (*Rutaceae*); *Brucea javanica* (*Simaroubaceae*).

4. Анализ современных ландшафтов ***национального парка Кон-Ка-Кинь (Kon Ka Kinh) и заповедника Кон-Чы-Ранг (Kon Chu Rang)*** центральной части хребта Чыонгшон показал, что в этих районах отмечается сочетание естественных и антропогенных сукцессионных процессов и циклов аграрного использования. К последним можно отнести переложную систему вовлечения растительности ранних стадий вторичной сукцессии (травяных) в аграрное использование (сенокосы, пастбища), создание многолетних плантаций на месте вырубок и гарей, формирование антропогенных заболоченных (переувлажненных) участков с мелкими водоемами и вторичной гидрофильной растительностью и лесопосадок (рис. 4).

В буферной зоне национального парка Кон-Ка-Кинь под влиянием традиции аграного производства этнической группы Ба-На (Ba Na) с 1960-х годов до настоящего времени после войны и промышленных рубок тропических муссонных лесов сложившийся традиционный агроландшафт пережил 3–4 цикла внутриландшафтной перестройки и развития восстановительной сукцессии. На месте тропических и субтропических вечнозеленых лесов с доминантами деревьев из семеств *Dipterocarpaceae, Fagaceae, Magnoliaceae* сформировались вторичные леса, кустарниковая саванна, заросли бамбука и плантации лесных и технических культур.

Выявлено несколько тенденций развития ландшафтов муссонных тропических лесов и их фрагментации [10]: (1) формирование участков кустарниковой саванны с отдельно стоящими мертвыми деревьями, а затем редкостойного низкорослого леса с кустарниковой саванной под пологом, сохранившейся до наших дней (см. рис. 4а); (2) расчистка первичных лесов и создание на их месте аграрных угодий для выращивания сезонных, однолетних и многолетних культур, в том числе создание плантаций технических культур (см. рис. 4б); (3) цикл, включающий расчистку участка первичного тропического леса под продолжительное аграрное использование, затем по мере истощения почв – забрасывание и восстановление на месте полей и травянистых угодий вторичного леса с отличным от исходного видовым составом древостоя (см. рис. 4в). В про-

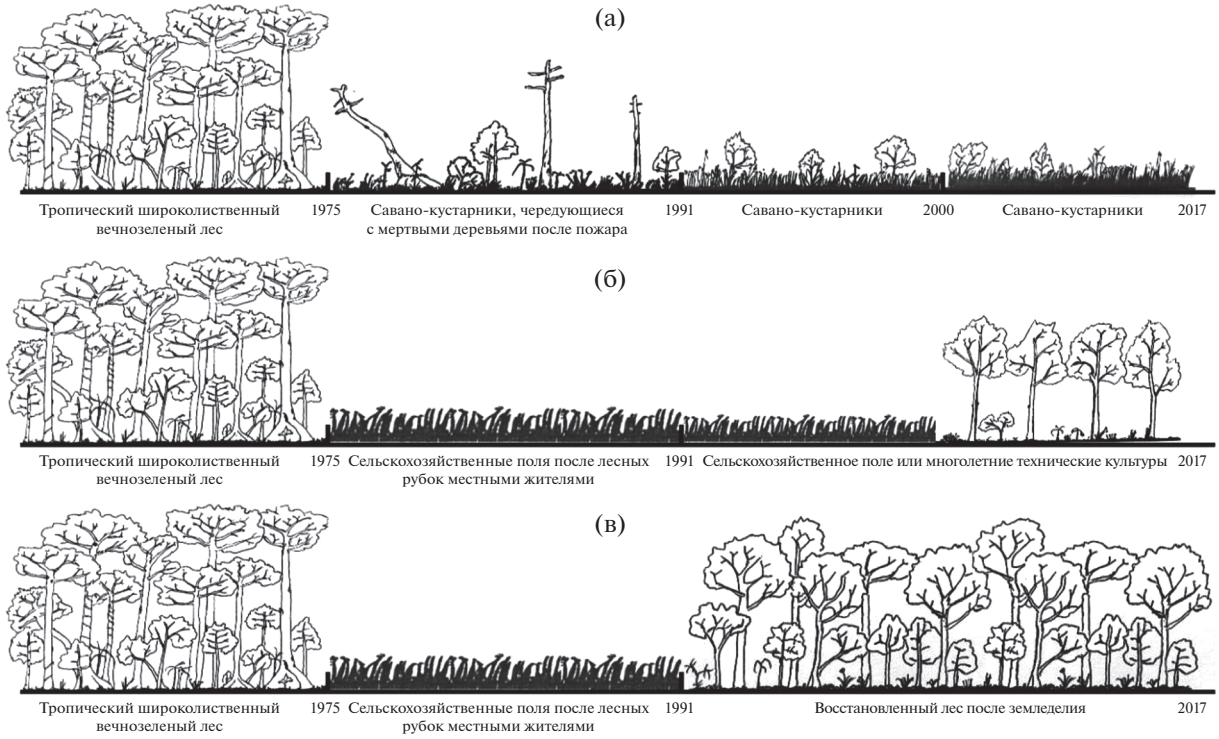

Рис. 4. Вторичная сукцессия тропического леса в буферной зоне национального парка Кон-Ка-Кинь.

странственном выражении все три тренда проявляются в в разной степени фрагментированном ландшафте [17, 18], который по определению можно рассматривать как агроландшафт.

В зависимости от местоположения и степени антропогенного воздействия восстановительная сукцессия в данном регионе проходит 3–4 стадии. Например, в провинции Контум за послевоенный период многие участки разрушенных первичных лесов проходили только три стадии восстановления до вторичного леса, физиономически близкого к исходному, но с обедненным составом древостоя. Это вполне согласуется с наблюдениями авторов в других регионах Центрального Вьетнама – Золинь (провинция Куангчи), Кон-Ка-Кинь и Кон-Чу-Занг (провинция Зялаи) [7, 13, 15]. Это существенно меньше, чем наблюдается в ландшафтах умеренного пояса, где демутация зонального леса проходит до 6 стадий, включая вторичный древостой [8, 9]. Например, на горе Чалий до 1964 г. существовал первичный муссонный лес, 20 лет спустя на месте уничтоженного леса сформировалась кустарниковая саванна с редкими мертвыми древьями, устойчиво существовавшая также около 20 лет, а затем здесь была создана лесная плантация (см. рис. 2а). Исследования сукцессии тропических мангровых лесов в прибрежной зоне Cananéia-Iguape (Бразилия) [10] зафиксировали 4 стадии до формирования мангровых лесов с обилием *Avicennia schaueriana*.

5. В ***горных районах Золинь (провинция Куангчи) и Шатхаи (провинция Контум)*** описаны сформировавшиеся по границе массивов естественных мусонных лесов пространственные сочетания высокоствольного леса, низкоствольного свотолюбивого древостоя “переходной зоны” (“опушки”) и вторичной кустарниковой саванны (рис. 5). Как отмечено в [14], несмотря на близость природного массива с высоким генеративным потенциалом в отношении поступления семян непосредственно от “стенки” леса, на опушку поступает ограниченное количество семян нескольких видов деревьев (в основном низкоствольных, светолюбивых, но достаточно быстро растущих). В итоге восстановление леса до близкого к исходному состоянию охватывает период 50–80 лет, т.е. из-за более короткого периода переложного использования лесов в лесном и аграрном производстве наблюдать завершение вторичной сукцессии в данном случае практически невозможно [14].

В то же время в районах Золинь (провинция Куангчи) и Шатхаи (провинция Контум) отмечено расширение площади массивов лесов за счет “опушечного эффекта”, когда восстановительная сукцессия в теневой полосе леса интенсивно сдвигает границы ландшафта кустарниковой саванны.

6. Реализация Стратегии развития лесного хозяйства Вьетнама (2006–2020 гг.) дала положительные результаты. Однако, как показано на

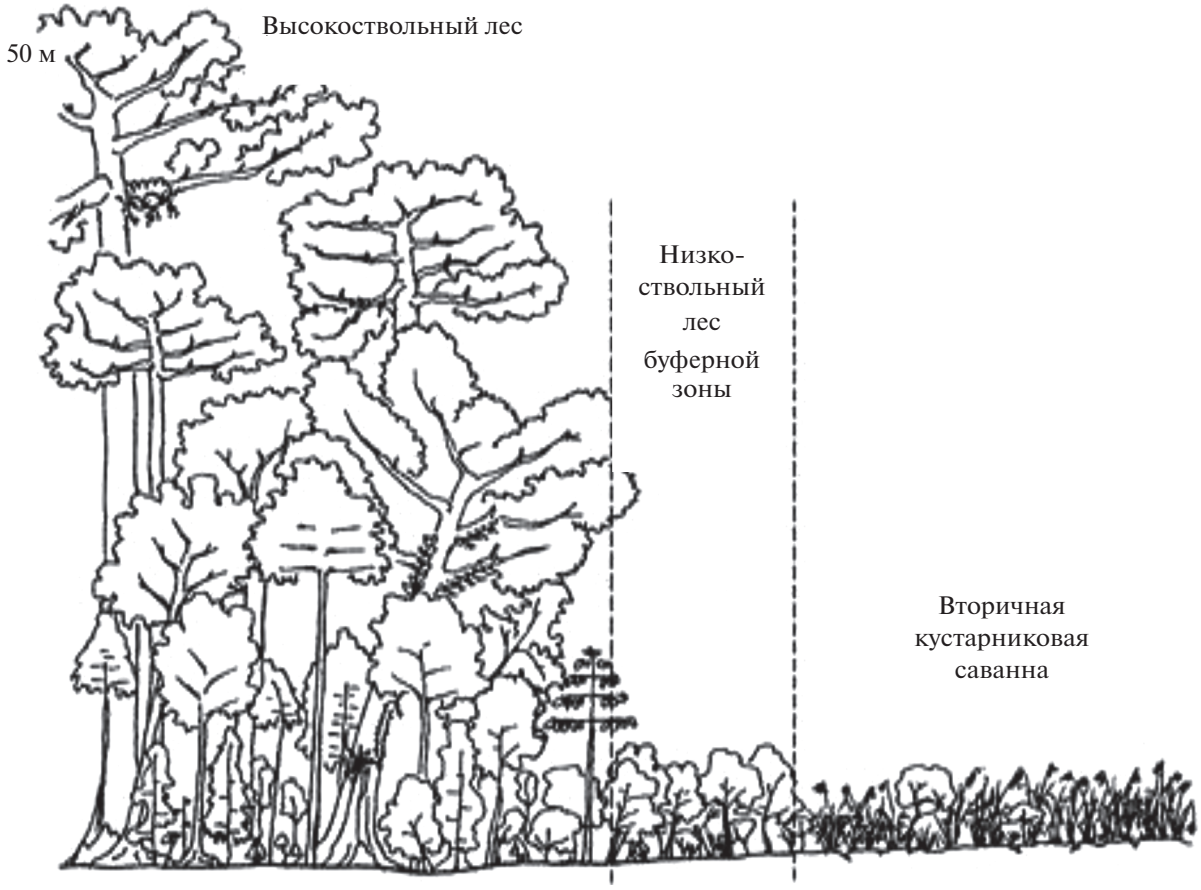

Рис. 5. Пространственные сочетания высокоствольного леса, низкоствольного светолюбивого древостоя "переходной зоны" ("опушки") и вторичной кустарниковой саванны [4].

рис. 6, рост лесопокрытых площадей отмечался только в северных и центральных областях страны, в то время как в южных и юго-западных районах идет активный процесс снижения лесистости и замещения вторичных лесов аграрными угодьями. Как показывает анализ дистанционной информации, это не касается собственно мангровых лесов дельты р. Меконг, где после продолжительного сокращения площади лесной растительности наметился ее рост.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процессы восстановительной сукцессии, охватившие центральную часть Вьетнама после применения США в войне 1962–1973 гг. экоцидных методов (воздушной обработки лесов гербицидами и напалмом и механического уничтожения лесной растительности), существенно расширили разнообразие вторичной растительности в регионе. Послевоенный период в Центральном Вьетнаме характеризовался также масштабными промышленными рубками лесов, что приводило к катастрофическим процессам плоскостной эрозии (особенно в горных районах) и появлению новых субстратов для демутации растительности. В большинстве случаев после уничтожения первичных муссонных тропических лесов на их месте за последние 50 лет сформировались: производные низкорослые леса с обедненным составом, заросли бамбука, многолетние плантации технических и плодовых культур, кустарниковые саванны и травянистые угодья, вовлекаемые в аграрное производство. Можно заключить, что региональная сукцессионная система мусонных тропических лесов Центрального Вьетнама, сложившаяся в последние тысячелетия, существенно отличается от таковой для муссонных лесов Северного Вьетнама, где терминальная стадия сукцессии включает многие субтропические листопадные и полулистопадные виды деревьев, и, соответственно, от лесов южного Вьетнама, в том числе интразональных мангровых лесов, сосредоточенных в дельте Меконга.

В современной ландшафтной мозаике Центрального Вьетнама, судя по статистике лесовосстановления в последние десятилетия, преобладают леса на разной стадии вторичной сукцессии.

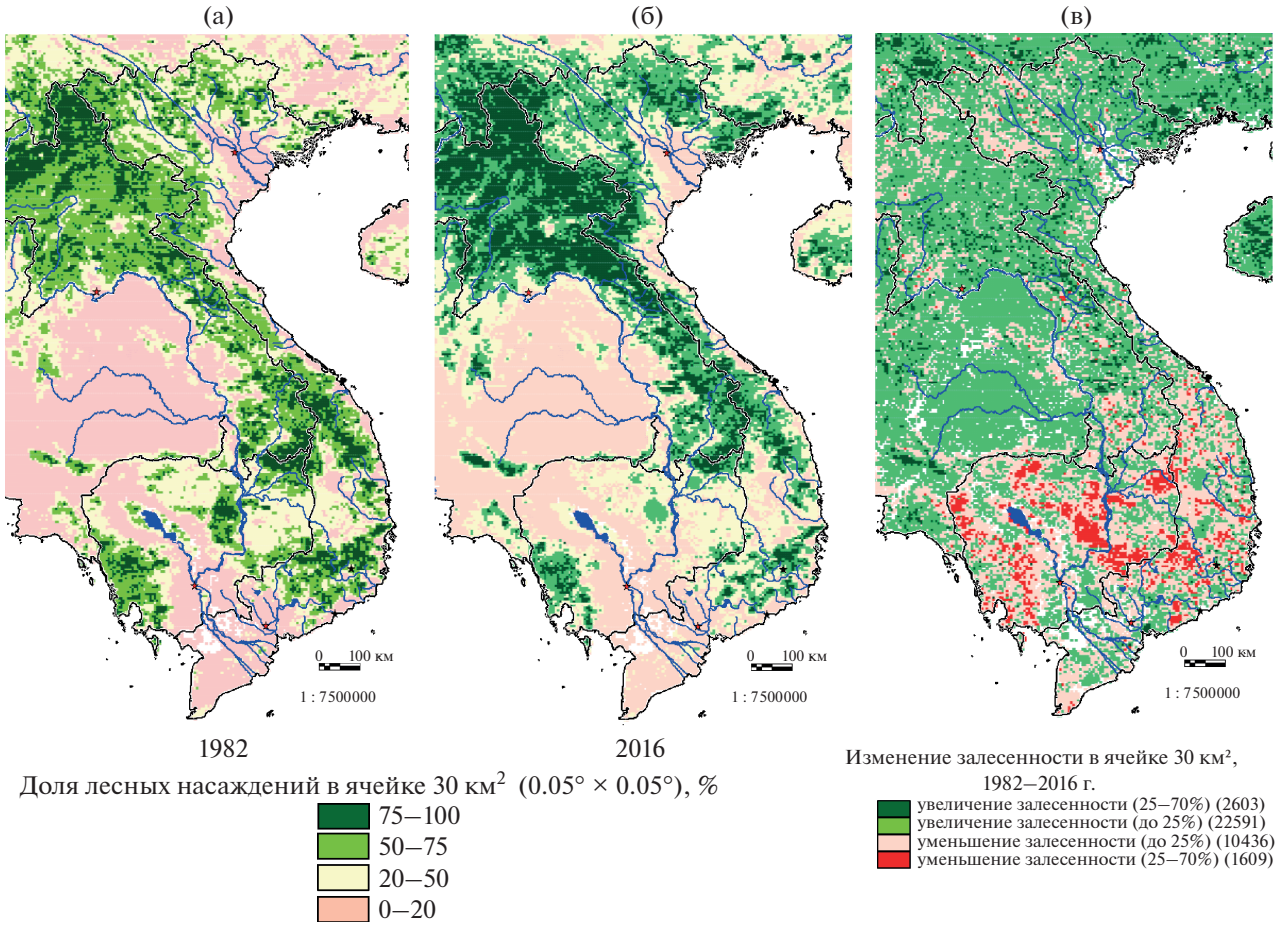

Рис. 6. Изменение лесистости с 1982 г. (а) до 2016 г. (б) и ее тренды (в) на территории Вьетнама. По результатам анализа дистанционных данных, проведенного Р.Б. Сандлевским.

Их площадь в целом по стране в начале 1940-х годов составляла около 14.3 млн га (43% территории): 10 млн га естественных и 4 млн га лесопосадок, а после разрушительной для природы и хозяйства войны 1962–1973 гг. и последующих промышленных рубок к концу 1980-х годов она составляла около 20%. И только за последние 30 лет лесопокрытые площади в стране выросли почти до 48.0%, но в основном за счет вторичных маловидовых и сравнительно низкорослых лесов.

Концепция ландшафта в сочетании с концепцией вторичной сукцессии позволяет реально охарактеризовать процесс формирования природно-антропогенной мозаки и ее динамичный характер, которые отражают и разный пространственный масштаб антропогенных нарушений, и разные скорости восстановительного процесса. По сравнению с прошлым, довоенным состоянием сукцессионной системы, сформировавшейся в условиях мелких по площади участков рубок и других нарушений, но с высоким “оборотом” их вовлечения в хозяйство, современный этап имеет дело с более крупными участками нарушений (площадей лесов с экоцидными разрушениями во время войны, промышленных рубок, последствий внедрения в аграрное производство “принципа большого поля”), когда нарушенные ландшафты стали испытывать дефицит семян для вторичной сукцессии (“диаспорический голод”). Сама ландшафтная мозаика стала более разнообразной именно за счет действия антропогенных факторов трансформации, роста “оборота нарушений” и замедления скорости восстановления лесной растительности до близкого к исходному состояния.

Если раньше (до середины XX в.) вторичная сукцессия определяла преимущественно возможность восстановления муссонных лесов после природных катастрофических нарушенияй (ветровала, пожаров, размножения вредителей леса, выпадения старых деревьев и пр.) и переложной системы мелкоконтурного сельского хозяйства, то в конце XX – начале XXI в. образовался выраженный тренд формирования сравнительно устойчивых антропогенных модификаций растительности и элементов ландшафта, представляю-

щих ранние и средние стадии восстановительной сукцессии с разным характерным временем образования: 25–30–50–80 лет – формирование близких к естественным лесам, 5–7 лет – для использования в аграрном производстве. В целом по своему статусу послелесные земли приобретают все черты агроландшафта.

Несмотря на фиксируемый дистанционными методами рост (восстановление) лесистости Вьетнама, эта тенденция в последнее десятилетие замедлилась и проявляется в северных и центральных районах страны. В южных и юго-западных районах формируется тренд снижения лесистости за счет замещения площадей вторичных лесов и саванн аграрными землями.

Выявленные закономерности важно учитывать в стратегии пространственного развития регионов Вьетнама, в территориальном планировании и прогнозировании, при определении перспектив лесного и сельского хозяйств и сохранения биоразнообразия муссонных тропических лесов страны. Они, к сожалению, не носят универсальный характер, так как национальные особенности землепользования в странах Юго-Восточной Азии очень сильно различаются.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Результаты получены в рамках темы “Эколан Э-1.2 – Сохранение, восстановление и устойчивое использование тропических лесных экосистем...” Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (Ханой) и темы Госзадания Института географии РАН № 0148-2019-0007.

FUNDING

The results reflected in the article were obtained within the framework of implementing the project E.1.2 “Researching structure and function of tropical forest ecosystems for conservation, restoration and sustainable use” of the Vietnam-Russia Tropical Center (Hanoi) and the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS, no. 0148-2019-0007.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарим Р.Б. Сандлерского за помощь в анализе дистанционной информации о состоянии лесов Вьетнама в 1982–2016 гг.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank R.B. Sandlersky for his help in analyzing remote sensing data on the forest situation of Vietnam in 1982–2016.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кузнецов А.Н.* Тропический диптерокарповый лес: на примере сомкнутого высокоствольного влажного равнинного диптерокарпового массива Ма Да, Южный Вьетнам. М.: ГЕОС, 2003. 140 с.
2. *Кузнецов А.Н.* Структура и динамика тропических муссонных лесов Вьетнама: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУ, 2015. 52 с.
3. *Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П., Фан Лыонг* Тропические леса южного Вьетнама после комплексного военного воздействия // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2010. Т. 115. Вып. 3. С. 32–45.
4. *Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П.* Сукцессии в тропических лесных растительных сообществах Вьетнама // Биосфера. 2011. Т. 3. № 1. С. 594–602.
5. *Кузнецов А.Н., Кузнецова С.П.* Особенности тропической лесной растительности Кардамоновых гор Камбоджи // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2012. Т. 117. Вып. 5. С. 39–50.
6. Национальный атлас Вьетнама. Ханой, 1996. 163 с.
7. *Нгуен Данг Хой, Нго Чунг Зунг, Данг Хунг Кыонг.* Антропогенная сукцессия ландшафтов западных провинций Вьетнама // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2019. № 1. С. 19–28.
8. *Тишков А.А.* Географические закономерности природных и антропогенных сукцессий: Дис. ... д-ра геогр. наук. М.: Институт географии РАН, 1994. 81 с.
9. *Тишков А.А.* Сукцессии растительности зональных экосистем: сравнительно-географический анализ, значение для сохранения и восстановления биоразнообразия // Изв. Самарского науч. центра РАН. Т. 14. № 1 (5). 2012. С. 1387–1390.
10. *Cunha-Lignon M., Mahiques M.M., Schaeffer-Novelli Y., Rodrigues M., Klein D.A., Goya S.C., Menghini R.P., Tolentino C.C., Cintron-Molero G., Dahdouh-Guebas F.* Analysis of mangrove forest succession, using sediment cores: a case study in the Cananéia–Iguape coastal system, São Paulo–Brazil // Brazilian J. Oceanography. 2009. V. 57. № 3. P.161–174.
11. *Kuznetsov A.* The Forest of Vu Quang Nature Reserve. Vietnam, Hanoi: WWF Indochina Programme, 2001. 102 p.
12. *Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.P., Nguyen Dang Hoi.* Changes of tropical monsoon hight-stem forests in Vietnam // J. Biology of Vietnamese Academy of Sci. and Technology. 2011. V. 33. № 1. P. 37–45.
13. *Kuznetsov A.N., Nguyen Dang Hoi, Phan Luong, Kuznetsova S.P.* Basic characteristics of Vietnam monsoon tropical forest // J. Natural Sci. and Technology. 2014. V. 30. № 1. P. 26–35.
14. *Guariguata M.R., Ostertag R.* Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics // J. Forest Ecology and Management. 2001. P. 185–206.
15. *Nguyen Dang Hoi, Kuznetsov A.N.* The structure and species composition of primary forests of the Phu Quoc National Park // J. Sci. Academy of Natural Sci. and Technology. Hanoi, 2011. V. 27. № 4S. P. 65–74.
16. *Thai Phien, Nguen Tu Siem.* Sustainable land use in Mountainous and haighlands. Hanoi: Agricultural Publ. haus, 2002. 152 p.
17. *Westing A.N.* Ecological consequences of the Second Indochina War. Stockholm, Sweden: Sipri, 1976. 119 p.
18. *Wu Jianguo.* Ecological Dynamics in Fragmented Landscapes // Princeton Guide to Ecology. Princeton Univ. Press, 2009. P. 438–444.

Secondary Successions and Structure of Monsoon Tropical Landscapes in Central Vietnam

Nguyen Dang Hoi[1, *] and A. A. Tishkov[2, **]

[1]*Vietnam-Russia Tropical Center, Hanoi, Vietnam*

[2]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: danghoi110@gmail.com*

***e-mail: tishkov@biodat.ru*

In the process of formation and development, landscapes undergo different stages and create their succession. In many cases, the vegetation is considered as the first sign and also the most important component that determines the change and succession of landscapes. Based on the system approach, the results of the study over the past 20 years show that the secondary ecological succession of landscape is an attribute and a basic characteristic of the tropical monsoon landscapes in Vietnam for about half of last century. Characteristics of natural factors, components and human factors decide the direction of secondary ecological succession, the length of landscape succession periods. After all the determinant tropical monsoonal nature covers the secondary ecological succession of landscape by regulating human behavior in landscape formation and tectonics, particularly at the level of kinds and facies. They are theoretical and practical bases in the study and design of landscapes, at the same time as the scientific basis for forecasting the developmental direction of landscapes in the future.

Keywords: Vietnam, monsoon tropical landscape, chemical impact (ecocidal) on vegetation, napalm, industrial logging, succession system, secondary succession

REFERENCES

1. Kuznetsov A.N. *Tropicheskii dipterokarpovyi les: na primere somknutogo vysokostvol'nogo vlazhnogo ravninnogo dipterokarpovogo massiva Ma Da, Yuzhny Vietnam* [Tropical Dipterocarp Forest: On the Example of a Closed High-Stemmed Moist Lowland Dipterocarp Area MA Da, South Vietnam]. Moscow: GEOS Publ., 2003. 140 p.
2. Kuznetsov A.N. Structure and dynamics of tropical monsoon forests in Vietnam. *Extended Abstract of Doctoral. (Biol.) Dissertation*. Moscow: Moscow State Univ., 2015. 52 p.
3. Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.P., Luong F. Tropical forests of South Vietnam after a complex military impact. *Byull. MOIP. Otd. Biol.*, 2010, vol. 115, no. 3, pp. 32–45. (In Russ.).
4. Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.P. Successions in tropical forest plant communities of Vietnam. *Biosfera*, 2011, vol. 3, no. 1, pp. 594–602. (In Russ.).
5. Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.P. Features of tropical forest vegetation of the Cardamom mountains of Cambodia. *Byull. MOIP. Otd. Biol.*, 2012, vol. 117, no. 5, pp. 39–50. (In Russ.).
6. *Vietnam: National Atlas*. Hanoi: Tong cuc dia chinh, 1996. 163 p.
7. Nguyen Dang Hoi, Ngo Chung Zung, Dang Hung Kyong. Anthropogenic succession of landscapes of the Western provinces of Vietnam. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2019, no. 1, pp. 19–28. (In Russ.).
8. Tishkov A.A. Geographical regularities of natural and anthropogenic successions. *Doctoral (Geogr.) Thesis*. Moscow: Inst. Geogr. Russ. Acad. Sci., 1994. 81 p.
9. Tishkov A.A. Succession of vegetation of zonal ecosystems: comparative geographical analysis, significance for conservation and restoration of biodiversity. *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra RAN*, 2012, vol. 14, no. 1(5), pp. 1387–1390. (In Russ.).
10. Cunha-Lignon M., Mahiques M.M., Schaeffer-Novelli Y., Rodrigues M., Klein D.A., Goya S.C., Menghini R.P., Tolentino C.C., Cintron-Molero G., Dahdouh-Guebas F. Analysis of mangrove forest succession, using sediment cores: a case study in the Cananéia–Iguape coastal system, São Paulo–Brazil. *Braz. J. Oceanogr.*, 2009, vol. 57, no. 3, pp. 161–174. doi 10.1590/S1679-87592009000300001
11. Kuznetsov A. The *Forest of Vu Quang Nature Reserve*. Vietnam, Hanoi: WWF Indochina Programme, 2001. 102 p.
12. Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.P., Nguyen Dang Hoi. Changes of tropical monsoon high-stem forests in Vietnam. *J. Biol. Vietn. Acad. Sci. Tech.*, 2011, vol. 33, no. 1, pp. 37–45. (In Vietnamese). doi 10.15625/0866-7160/v33n1.732
13. Kuznetsov A.N., Nguyen Dang Hoi, Phan Luong, Kuznetsova S.P. Basic characteristics of Vietnam monsoon tropical forest. *VNU J. Science: Natural Sciences and Technology*, 2014, vol. 30, no. 1, pp. 26–35. (In Vietnamese).
14. Guariguata M.R., Ostertag R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. *For. Ecol. Manag.*, 2001, vol. 148, nos. 1–3, pp. 185–206.
15. Nguyen Dang Hoi, Kuznetsov A.N. The structure and species composition of primary forests of the Phu Quoc National Park. *VNU J. Science: Natural Sciences and Technology*, 2011, vol. 27, no. 4S, pp. 65–74. (In Vietnamese).
16. Thai Phien, Nguen Tu Siem. *Sustainable Land Use in Mountainous and Haighlands*. Hanoi, Agricultural Publ., 2002. 152 p.
17. Westing A.H. *Ecological Consequences of the Second Indochina War*. Taylor & Francis, 1976. 119 p.
18. Wu Jianguo. Ecological dynamics in fragmented landscapes. In *Princeton Guide to Ecology*. Levin S., Ed. Princeton Univ. Press., 2009, pp. 438–444.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 70–83

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 631.4

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВ И ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЭПОХУ БРОНЗЫ ДЛЯ СТЕПИ КУБАНО-ПРИАЗОВСКОЙ РАВНИНЫ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КРУПНОГО КУРГАНА

© 2021 г. А. Э. Сверчкова[a], *, О. С. Хохлова[a]

[a] *Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия*

**e-mail: acha3107@gmail.com*

Поступила в редакцию 22.04.2020 г.
После доработки 19.09.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Исследованы почвы, погребенные под археологическим памятником – курганом эпохи бронзы, на Кубано-Приазовской равнине. Курган имел три разновременных конструкции, сооруженные за интервал времени от 4500 до 3600 л.н., под которыми были захоронены почвы, образовавшие педохроноряд. Проведен сравнительный анализ морфологических, физико-химических и магнитных свойств погребенных и современных почв хроноряда, а также анализ палинологических спектров из верхних горизонтов этих почв. Реконструкция палеоклиматических условий на основе изучения свойств палеопочв выявленного хроноряда позволила установить, что за время строительства кургана климат региона постепенно изменялся в сторону увеличения аридности. Во время сооружения третьей конструкции в кургане (катакомбная культура эпохи средней бронзы, XXI–XVI (XV) вв. до н. э.) климатические условия были максимально аридными. Палинологический анализ подтвердил выводы палеопочвенного исследования. В растительной ассоциации, охарактеризованной в целом как южная лесостепь, в катакомбное время заметно увеличилось процентное содержание травянистых растений, появились виды, типичные для степных участков.

Ключевые слова: палеопочвы, курганы, степная зона России, морфологический анализ, химические анализы, магнитная восприимчивость, палинологические спектры, черноземы

DOI: 10.31857/S2587556621010143

ВВЕДЕНИЕ

Исследования палеопочв, погребенных под земляными археологическими памятниками (курганами), с целью реконструкции условий палеосреды для прежних эпох широко проводятся как в России, так и за рубежом, начиная с 60-х годов XX в., но особенно активно в XXI в. [19–21, 23, 24, 26, 30, 32–34]. В современной геоархеологии по-прежнему велик интерес к исследованию погребенных почв под курганными и другими насыпями [10, 22, 25, 31, 35]. При этом имеются регионы, в которых такие исследования проведены пока на ограниченном числе памятников, и далеко не все временные интервалы охвачены. К таким регионам, в частности, относится Краснодарский край. Кроме этого, довольно редко проводятся исследования крупных курганов, включающих несколько разновременных конструкций, под которыми погребены разновременные палеопочвы [7, 18, 28]. Изучение палеопочв, погребенных под такими разновременными конструкциями в одном кургане, имеет ряд преимуществ по сравнению с ситуацией, когда под одним курганом в могильнике изучается одна палеопочва. В больших курганах разновременные палеопочвы располагаются компактно, на расстоянии не более нескольких десятков метров друг от друга, а также имеют определенный порядок погребения: раньше погребены палеопочвы в центре кургана и позже – на его периферии. Это позволяет изучить хроноряд палеопочв, сформированных в заведомо одина-ковых литолого-мезогеоморфологических условиях с известным хронологическим порядком погребения.

Цель данной работы – выявление направленных изменений свойств почв коротковременного педохроноряда, погребенного под курганом, и реконструкция изменений климата за время строительства археологического памятника. Для достижения поставленной цели были изучены и сопоставлены свойства палеопочв под разновременными конструкциями кургана и современные почвы, а также проведен палинологический анализ.

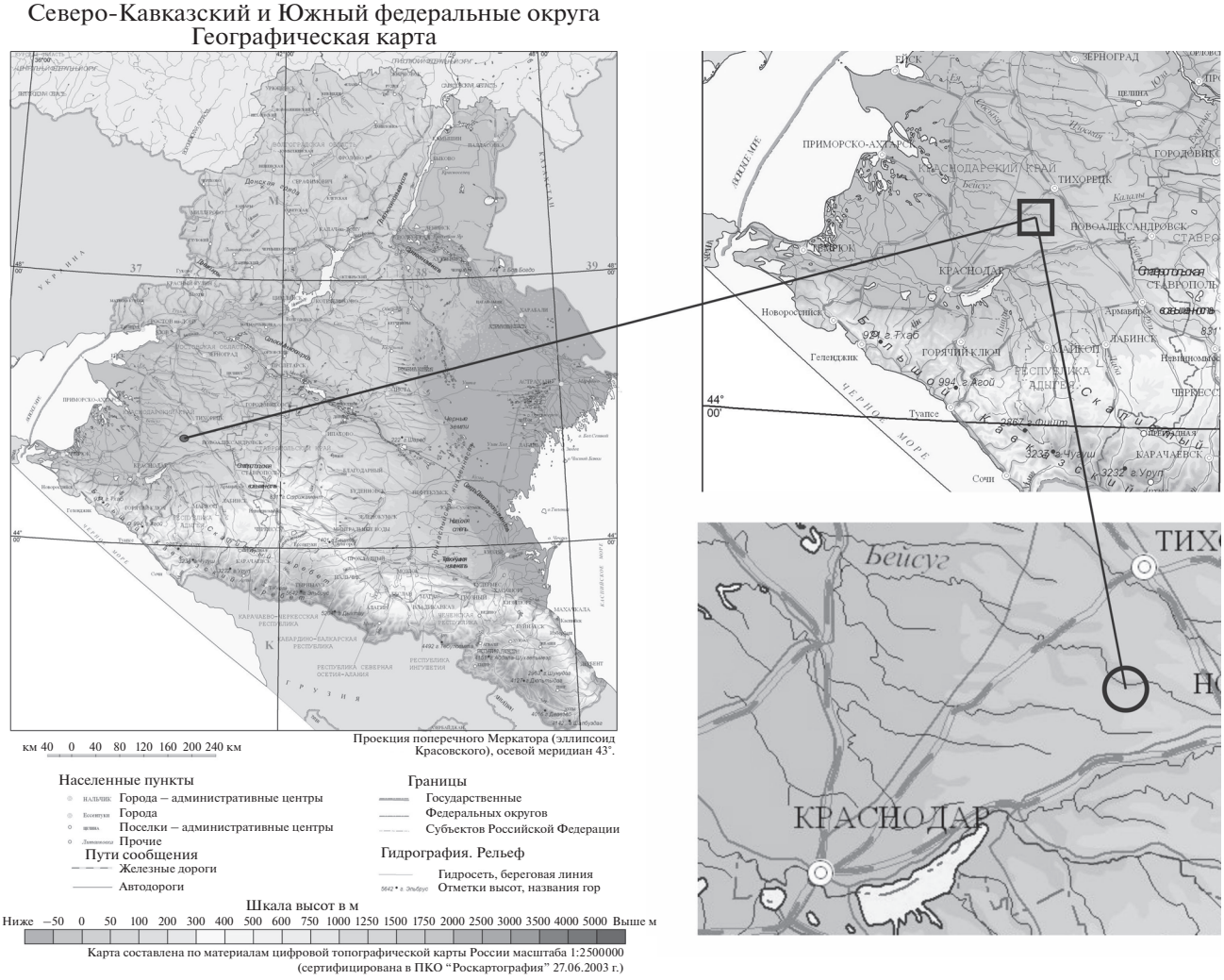

Рис. 1. Физико-географическое положение кургана 1 в курганной группе "Бейсужек-9" (http://hge.spbu.ru/).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследуемый объект, курган 1 в курганной группе Бейсужек-9, расположен в границах Кореновского района Краснодарского края (45°28′47″ N, 39°20′44″ E) (рис. 1). Курган попал в зону строительства железнодорожной ветки через Краснодарский край в сторону Крыма (пунктир на рис. 1) и раскапывался археологами Научно-исследовательского центра по сохранению культурного наследия, г. Саратов, в ходе охранно-спасательных работ под руководством Ю.В. Половинкиной, А.Б. Белинского. Высота кургана составляла более 4 м, диаметр – около 100 м.

В геоморфологическом отношении это Кубано-Приазовская низменность, для которой характерен равнинный рельеф и сглаженные междуречья. Курган 1 расположен на первой либо второй надпойменной террасе р. Левый Бейсужек. Четвертичные отложения представлены песчано-галечниковыми, глинистыми и суглинистыми породами мощностью от 100 до 200 м. Сверху залегает слой лёссовидных карбонатных суглинков, которые выступают в роли почвообразующей породы.

В кургане 1 археологами были выделены три этапа строительства и совершения захоронений в кургане (рис. 2). Первый и второй этапы по археологическим данным относятся к новотиторовской культуре, конец раннего – начало среднего бронзового века, XXVII (XVI)–XXII (XXI) вв. до н. э. Третья конструкция сооружена представителями катакомбной культуры, XXI–XVI (XV) вв. до н. э., в эпоху средней бронзы. Датирование погребений и сооруженных над ними курганных конструкций было проведено в соответствии с разработками хронологии археологических культур для Краснодарского края [6]. Каждая из последующих конструкций перекрывала и выходила за границы предыдущей: вторая перекрывала первую и также нетронутую почву рядом с первой; и третья пере-

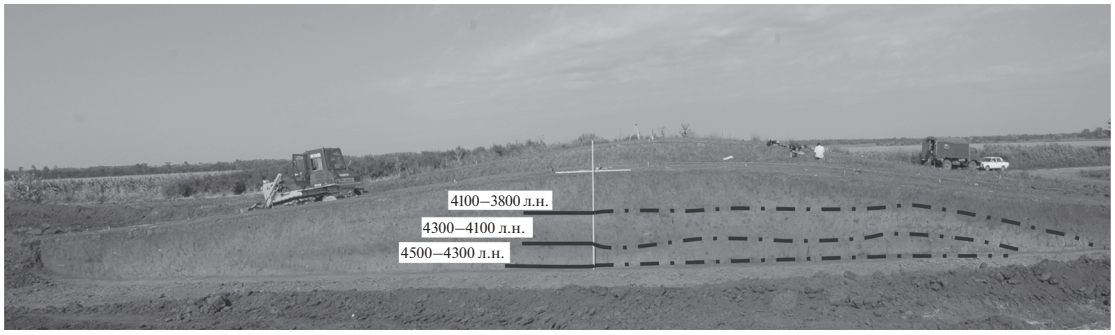

Рис. 2. Курган 1 курганного могильника Бейсужек-9, восточная бровка, восточный фас. Нижняя пунктирная линия проведена по дневной поверхности погребенной почвы Бсж1п-17.

крывала вторую полностью и также не перекрытую ранее почву рядом со второй конструкцией.

Климат исследуемой территории характеризуется как степной: умеренно континентальный полусухой, с неустойчивым увлажнением. Годовая амплитуда температур 25–28°С. Лето очень теплое (средняя температура июля 21–24°С), зима умеренно холодная (средняя январская температура от –2 до –5°С). Снежный покров большей части территории маломощный и часто неустойчивый. Осадков за год выпадает 450–600 мм. Максимум приходится на май месяц, а минимум на август (http://russia.pogoda360.ru).

Исследуемая территория относится к зоне разнотравно-типчаково-ковыльной степи. В настоящее время почти вся она распахана и превращена в сельскохозяйственные поля. Почвы классифицируются как миграционно-мицеллярные или сегрегационные черноземы, Haplic Chernozems Loamic или Calcic Chernozems Loamic по [11] и [27] соответственно. С учетом того, что все почвы вокруг кургана были распаханы, они классифицированы как агрочерноземы миграционно-мицелярные, Haplic Chernozems Aric Loamic.

Проведен сравнительный анализ погребенных и фоновой почв на основе полевых и лабораторных работ. От центра к периферии кургана было заложено три разреза (Бсж1п-17, Бсж2п-17 и Бсж3п-17), все они были четко отделены от курганных конструкций материалом из глубоких горизонтов почв, перемещенным наверх при копке могил. Разрез Бсж1п-17 был заложен в центре кургана, таким образом он перекрыт наибольшей по мощности насыпью – около 4 м. Разрез Бсж2п-17 был заложен около центральной бровки, западный фас, 16 м к югу от центра кургана. Мощность насыпи в месте заложения разреза – около 2 м. Разрез Бсж3п-17 заложен у западной бровки, восточный фас, южное окончание бровки – более 20 м к югу от центра кургана. Мощность бровки в месте заложения разреза – около 180 см. Фоновый разрез получил номер Бсж4ф-17 (буква “п” в номере разреза указывает, что почва погребенная, буква “ф” – фоновая/современная). В силу разновременности сооружения курганных конструкций и погребения под ними почв мы получили горизонтальный хроноряд почв, погребенных под одним курганом (см. рис. 2). Палеопочвы Бсж1п-17 и Бсж2п-17 погребены в первой трети суббореального периода в интервале 4700 (4600)–4200 (4100) л.н., а палеопочва Бсж3п-17 – в середине суббореального периода, в интервале 4100–3600 (3500) л.н.

Проведено полевое морфологическое описание почвенных профилей, цвет горизонтов определяли по шкале Манселла, индекс горизонтов – по [27]. В каждом изученном разрезе были отобраны образцы с интервалом 10 см из верхнего метра и 20 см – из второго метра профиля. Также были отобраны образцы для спорово-пыльцевого (палинологического) анализа с глубины 0–5 см из профилей погребенных почв.

В лаборатории были выполнены следующие анализы: содержание органического углерода – метод Тюрина в модификации Антоновой и др., [14], при этом содержание выделившегося при окислении CO_2 определяли на хроматографе; CO_2 карбонатов – манометрически по разнице давлений в контроле и образце в герметичных сосудах с резиновыми пробками, в которых образцы реагировали с 10%-ной соляной кислотой, результаты затем пересчитаны на С [4]; pH водной вытяжки; гигроскопическая влага; SO_4 гипса – весовым методом; сумма обменных оснований – методом вытеснения раствором ацетата аммония, с последующим определением K и Na пламенно-фотометрическим методом, а Ca и Mg – комплексонометрически [2]; гранулометрический состав – методом пипетки с использованием пирофосфата натрия для диспергирования, фракции рассчитаны на абсолютно сухую навеску с учетом определения гигроскопической влаги [3]. Измерения

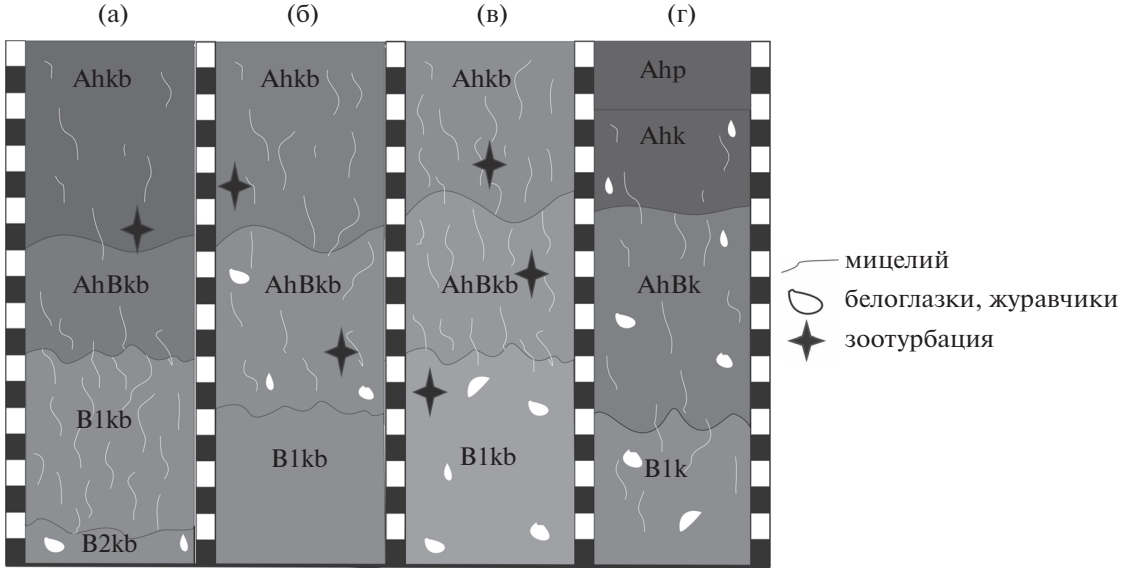

Рис. 3. Схематическое изображение изученных профилей почв.

показателя магнитной восприимчивости проводились в лабораторных условиях с помощью прибора “KAPPABRIDGE KLY-2”. Величина магнитной восприимчивости зависит от факторов почвообразования. Как показали исследования последних лет [17], существует прямая связь между приростом магнитной восприимчивости в почвенном профиле и среднегодовыми атмосферными осадками: чем больше осадков, тем больше магнитная восприимчивость в автоморфных почвах степной зоны. Это объясняется реакцией железоредуцирующих бактерий, находящихся в гумусовом горизонте, которая меняется в ответ на климатические изменения [9].

Из основных горизонтов изученных почв отобраны образцы с ненарушенным строением, из которых изготовлены шлифы. Микроморфологический анализ шлифов проведен на микроскопе AxioScope A1 Carl Zeiss. Микроскоп и магнитометр принадлежат Центру коллективного пользования ИФХиБПП РАН, г. Пущино.

Спорово-пыльцевой анализ проведен Т.Ф. Трегуб (Воронежский государственный университет) по модифицированной методике, разработанной В. П. Гричуком [8]. Модификации позволяют утилизировать в процессе обработки образцов нежелательные примеси: 1) железоалюмосиликатную пленку, которая может снижать выход органической фракции после мацерации; 2) сильно набухающие глинистые минералы, которые могут прилипать к споровым и пыльцевым зернам и мешать разделению минеральной и органической фракций. Применяемая методика способствовала насыщению образцов спорами и пыльцой даже в условиях однократного обогащения обрабатываемых отложений [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфологический анализ показал, что погребенные почвы имели следующее строение профиля: Ahkb (глубина до 70 см), AhBkb (до 130 см), B1kb (до 180 см), B2kb (до 200 см), вскипали от HCl с поверхности.

Гумусовый горизонт разр. Бсж1п-17 характеризуется серо-коричневой окраской (7.5 YR 5/3) и ореховато-зернистой структурой, карбонатный мицелий выражен слабо. Карбонатный мицелий хорошо виден в средней части профиля, а в нижней, глубже 150 см, мицелий сменяется небольшими белоглазками (рис. 3).

В разр. Бсж2п-17 цвет гумусового горизонта почти такой же, 7.5 YR 5/2 – коричневый, карбонатный мицелий виден более отчетливо; встречается также редкая и мелкая белоглазка. В средней части белоглазка и мицелий наиболее выражены; в нижней части карбонатных скоплений не выявлено. В гор. AhBkb появляются единичные кротовины и вертикальные ходы корней, заполненные материалом темно-серого цвета, они протягиваются вплоть до нижней части почвенного профиля.

В разр. Бсж3п-17 гумусовый горизонт резко осветляется, 7.5 YR 6/3 – светло-коричневый, карбонатный мицелий занимает до 40% среза горизонта, в целом верхняя и средняя часть профиля этой почвы имеет седоватый оттенок. Хорошо видна трещинная сеть на вертикальной высохшей стенке в верхней части профиля. В нижней части

отмечены мягкие и твердые карбонатные конкреции. Только в этой палеопочве в верхней части профиля имеются следы активной зоотурбации, а вертикальные ходы корней, заполненные материалом темно-серого цвета, распространены на глубину всего профиля.

В профиле современной почвы (разр. Бсж4ф-17) пахотный горизонт имеет мощность 25 см, а ниже начинают встречаться мицелий и белоглазка, при сильном просыхании в профиле ниже пахотного горизонта хорошо выражена трещинная сеть, следы зоотурбации отсутствуют.

Микроморфологический анализ позволил выявить в гумусово-аккумулятивном горизонте разр. Бсж1п-17 и Бсж2п-17 следы деятельности мезофауны, для отдельных микрозон характерна губчатая микроструктура, поры каналовидные и сложные, из-за длительного погребения гумусовые агрегаты четко не видны, хотя в порах и можно заметить отдельные мелкие зернистые агрегаты (рис. 4а, 4б). В разр. Бсж3п-17 в этом горизонте масштабы биотурбации поменьше, почвенная масса уплотнена (рис. 4в, 4г), появляются порыкамеры и в отдельных порах – карбонатные кутаны (см. рис. 4в, 4г, желтые стрелки), которые на макроуровне были видны как карбонатный мицелий. Почвенная масса обогащена удлиненными крупными (см. рис. 4в, 4г, белые стрелки) и округлыми сравнительно мелкими зернами литогенного кальцита, внедренного в тонкодисперсный материал.

В средней части профиля в разр. Бсж1п-17 тонкодисперсная масса слабо пропитана карбонатами, отчетливы зерна литогенного кальцита (рис. 4д). В разр. Бсж2п-17 в порах и в почвенной массе вокруг пор заметна аккумуляция карбонатов, но эти аккумуляции имеют нечеткие очертания и границы с вмещающей почвенной массой (рис. 4е). Тогда как в разр. Бсж3п-17 в порах видны четко очерченные и довольно большого размера (0.5 мм в ширину и до 1 мм в длину) скрытокристаллические карбонатные нодули (рис. 4ж). Почвенная масса существенно больше пропитана карбонатами. В этой почве в средней части профиля отчетливы следы деятельности мезофауны, хорошо заметные и на макроуровне.

В современной почве, разр. Бсж4ф-17, поры лишены карбонатных аккумуляций, карбонаты пропитывают тонкодисперсную массу и встречаются в виде редких обособленных раскристаллизованных (микроспарит) нодулей (рис. 4з, желтая стрелка), а также отмечаются крупные удлиненные обломки литогенного кальцита (см. рис. 4з, белая стрелка).

Анализ *гранулометрического состава* показывает, что в исследуемых почвах физическая глина (размер частиц <0.01 мм) составляет от 60 до 70%, а илистая фракция (размер частиц <0.001 мм) – до 40% (рис. 5а, 5б).

Распределение этих фракций по профилям изученных почв позволяет сделать вывод о том, что рассмотренные профили однородны по гранулометрическому составу и относятся к легкой глине. Следовательно, мы можем сравнивать остальные измеренные свойства наших почв напрямую, без расчета их относительных величин.

По величинам pH_{H_2O} выделяются разр. Бсж3п-17 и Бсж2п-17 самыми большими значениями по всему профилю – 8.5–8.9 единиц, тогда как в современной почве значения по профилю колеблются от 8.2 до 8.4 единиц, а в разр. Бсж1п-17 от 8.0 до 8.2 единиц (рис. 5в). При этом до глубины 60–70 см разр. Бсж3п-17 показывает самые щелочные значения pH среди всех изученных почв хроноряда.

В верхнем горизонте погребенных почв *содержание органического углерода* ($C_{орг}$) от 1.3% в разр. Бсж1п-17 уменьшается до 0.7% в разр. Бсж3п-17, тогда как в фоновой пахотной почве достигает 2% (рис. 6а). На глубине 60 см в погребенных почвах величины $C_{орг}$ уменьшаются до 0.4–0.6%, в современной – до 0.9–1.1%. Наименьшие значения $C_{орг}$ в первом полуметре почвенного профиля приурочены к погребенной почве разр. Бсж3п-17 (см. рис. 6а). На глубине около 140 см значения $C_{орг}$ выравниваются во всех погребенных почвах и не превышают 0.3–0.4%.

Учитывая, что в связи с длительностью погребения (почти 5000 лет) в верхних горизонтах погребенных почв остается от 50 до 30% (в среднем убывает на 60%) от исходного содержания органического вещества [5], пересчет полученных данных показывает, что в верхнем горизонте погребенных почв с меньшим содержанием $C_{орг}$ (разр. Бсж3п-17) реконструированные значения составляют 1.8–1.9%, а с бóльшим содержанием $C_{орг}$ (разр. Бсж1п-17, Бсж2п-17) – 3.0–3.1%.

В распределении *углерода карбонатов* ($C_{карб}$) по профилям изученных палеопочв (рис. 6б) отмечается ясная тенденция увеличения его содержания в нижней части профиля: от 0.2–0.5% вверху до 1.4% внизу. В верхних 60 см профиля содержание $C_{карб}$ в палеопочвах варьирует от 0.2 до 1.0%. В фоновых почвах содержание $C_{карб}$ по профилю увеличивается с 0.1% в верхней части до 0.8% в средней и нижней частях профиля. По профилям всех палеопочв до глубины 100–120 см $C_{карб}$ имеет схожий характер распределения. В разр. Бсж3п-17 отмечаются самые высокие значения процентного содержания $C_{карб}$ по всему профилю, и лишь в этой почве на глубине 120 см фиксируется выраженный максимум аккумуляции. В остальных профилях, разр. Бсж1п-17 и

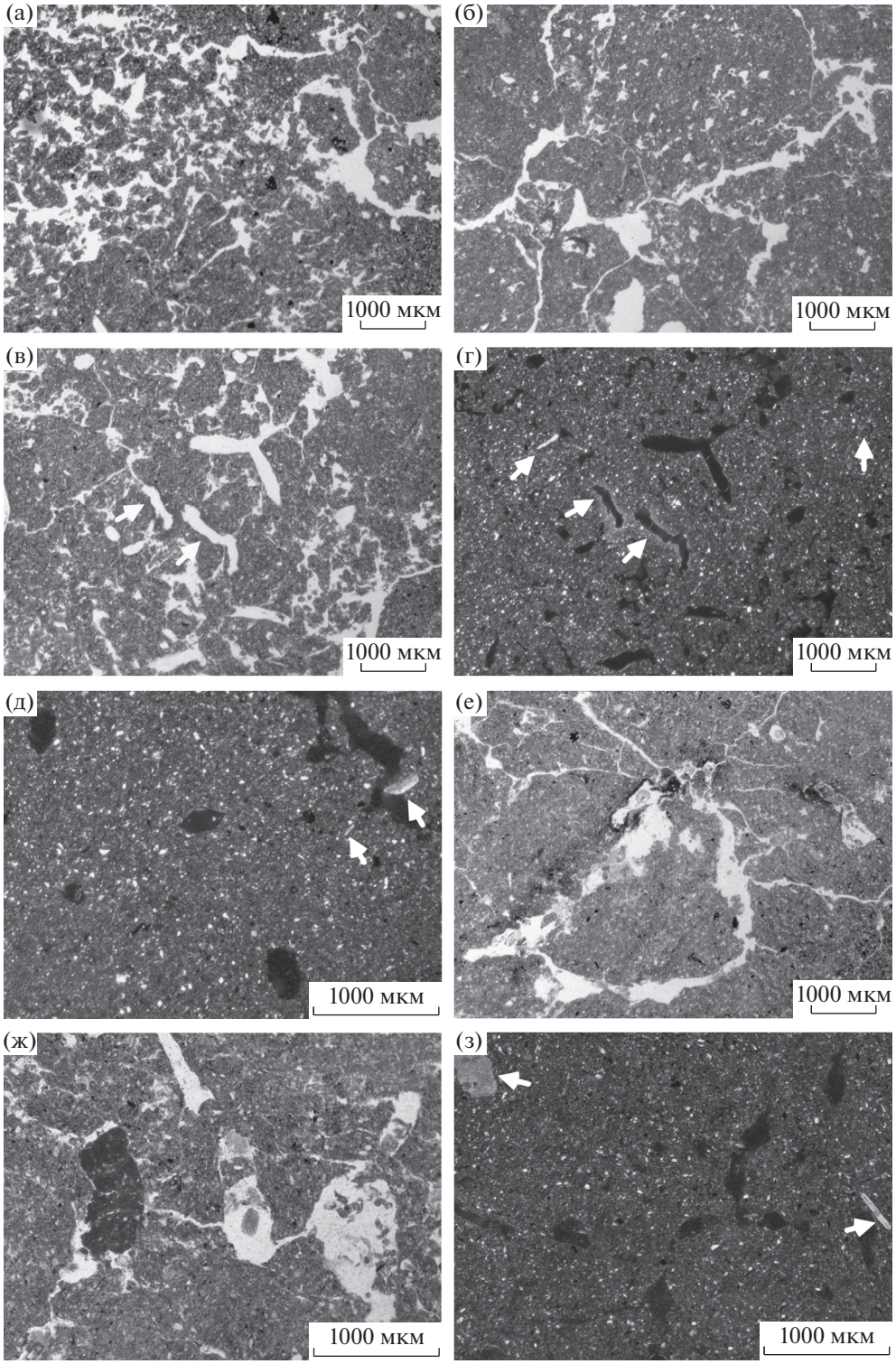

Рис. 4. Микростроение верхних и срединных горизонтов почв изученного хроноряда: (а) разр. Бсж1п-17, 20–30 см; (б) разр. Бсж2п-17, 20–30 см; (в, г) разр. Бсж3п-17, 20–30 см; (д) разр. Бсж1п-17, 100–110 см; (е) разр. Бсж2п-17, 100–110 см; (ж) разр. Бсж3п-17, 100–110 см; (з) разр. Бсж4ф-17, 100–110 см. Автор фото – О.С. Хохлова.

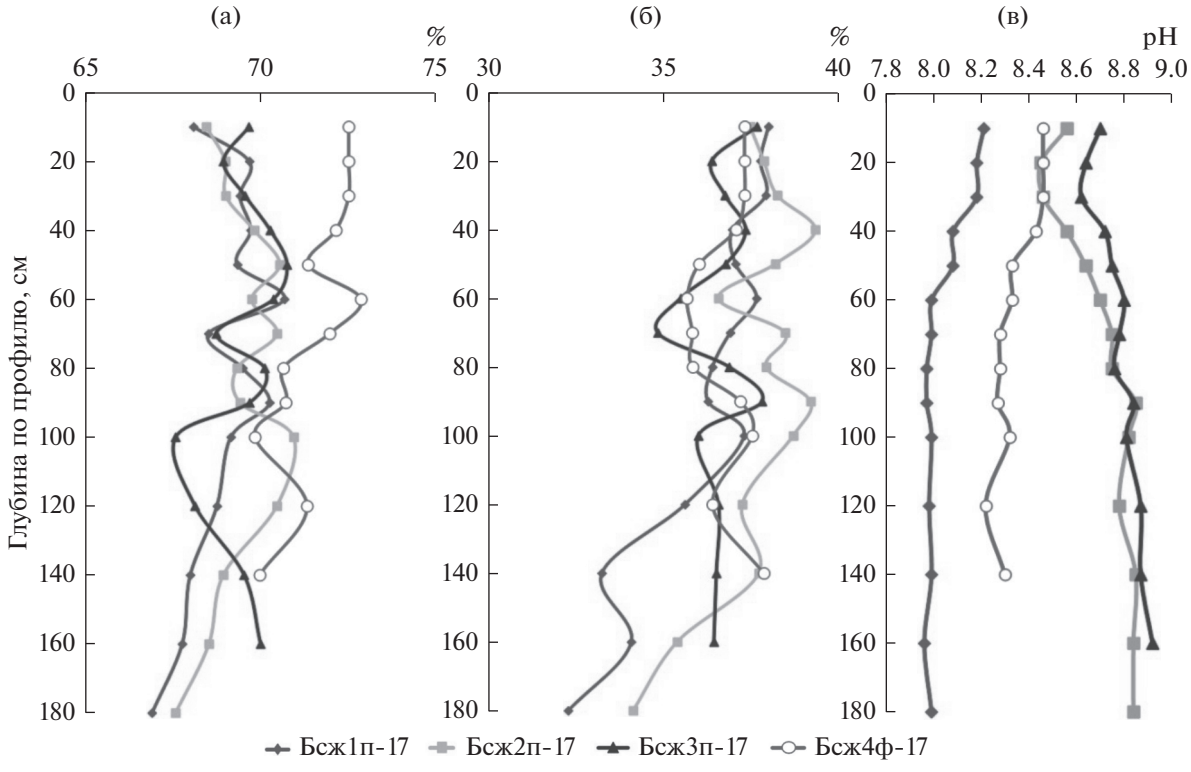

Рис. 5. Профильное распределение (а) физической глины (<0.01 мм); (б) илистой фракции (<0.001 мм); (в) pH водный по профилям почв хроноряда.

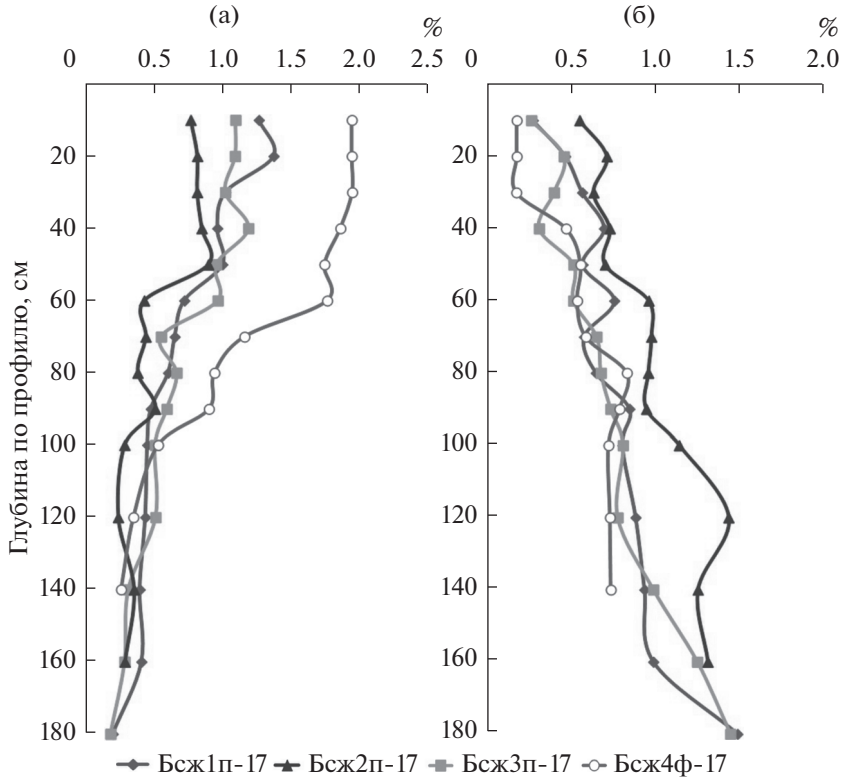

Рис. 6. Содержание (а) органического углерода и (б) углерода карбонатов по профилям изученных почв.

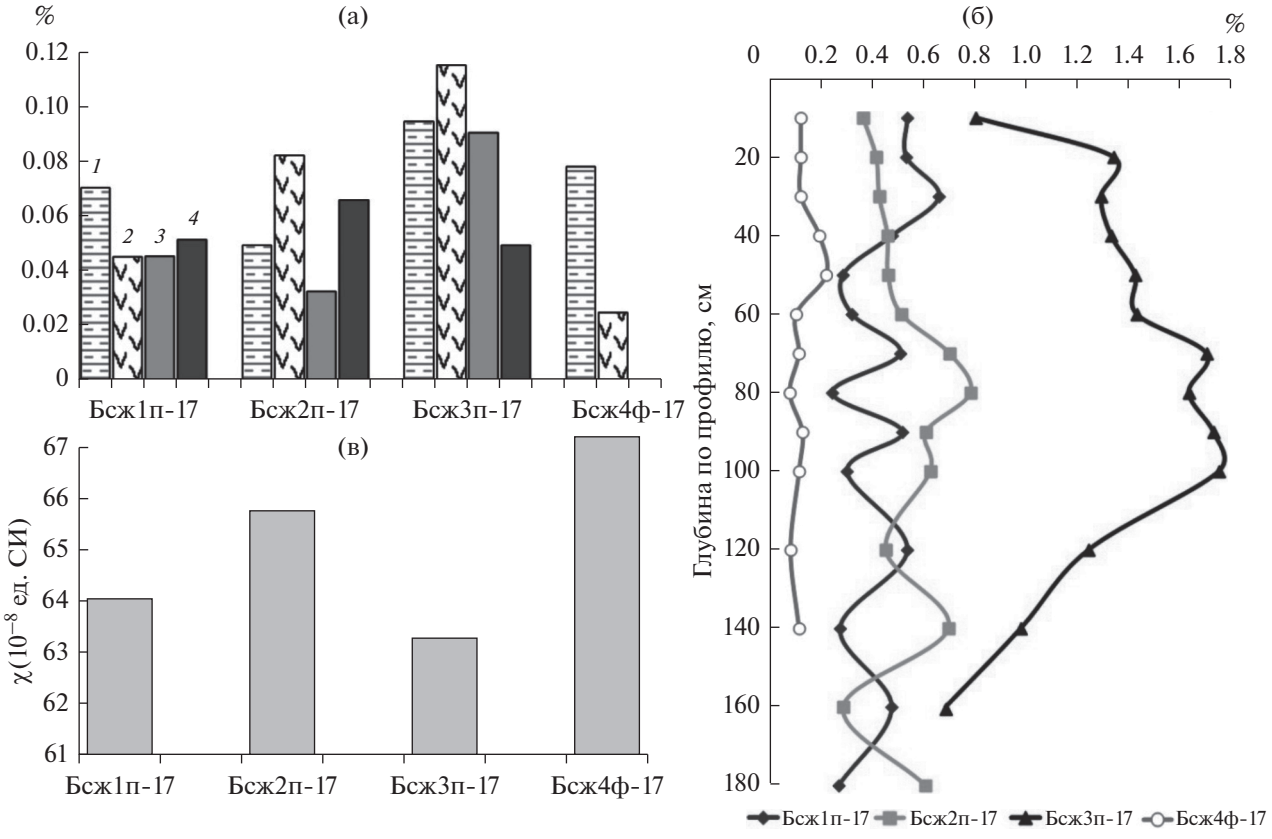

Рис. 7. Содержание SO_4 гипса (а) в слоях 100–120 см (*1*), 120–140 см (*2*), 140–160 см (*3*), 160–180 см (*4*); обменного натрия (б) и магнитной восприимчивости в слое 0–10 см (в) в профилях исследуемых почв.

Бсж2п-17, отмечается постепенное увеличение содержания $C_{карб}$ книзу, а максимум содержания располагается на глубине 180 см, т.е. практически за пределами профиля. При этом фоновая почва в самом верху содержит меньше карбонатов, чем любая из палеопочв, а в средней и нижней частях профиля значения не отличаются от палеопочв разр. Бсж1п-17 и Бсж2п-17.

По содержанию *гипса* почва разр. Бсж3п-17 демонстрирует максимальные величины на глубине 100–160 см, достигающие 0.12%. В двух других погребенных и современной почвах значения не превышают 0.08%, в среднем составляют 0.05% (рис. 7а).

В составе *обменных оснований* во всех изученных почвах безусловно преобладает кальций, составляя более 80% от суммы катионов. Магний колеблется в пределах 4–10% и не показывает никакой дифференциации по профилям изученных почв. Вместе с тем, обменный натрий заметно различается в почвах хроноряда.

В палеопочве разр. Бсж3п-17 отмечается наиболее высокое содержание обменного натрия в составе обменных оснований, до 1.8% в средней части профиля (рис. 7б). В палеопочвах разр. Бсж2п-17 и Бсж1п-17 содержание обменного натрия колеблется в пределах 0.2–0.8% по всему профилю. Современные почвы характеризуются наименьшим содержанием обменного натрия в составе обменных оснований, от 0.07 до 0.2%, по всему профилю.

По величине *магнитной восприимчивости*, измеренной в верхних 0–10 см профилей, наименьшим значением χ ($\leq 63 \times 10^{-8}$ ед. СИ) характеризуется разр. Бсж3п-17 (рис. 7в). Для разрезов Бсж1п-17 и Бсж2п-17 характерны величины в интервале $64–66 \times 10^{-8}$ ед. СИ, и самые большие величины, $>66 \times 10^{-8}$ ед. СИ, отмечаются в современных почвах. Эти данные также подтверждают, что наиболее аридные условия для почвообразования складывались в период формирования почвы разр. Бсж3п-17.

Спорово-пыльцевые данные свидетельствуют о том, что исследуемая территория имела довольно сложный и разнообразный растительный покров в эпоху бронзы. В целом палинологические спектры соответствуют южному лесостепному типу [12] (рис. 8).

Состав пыльцы лиственных пород в почве Бсж1п-17 свидетельствует о том, что до постройки кургана растительный покров состоял в основном

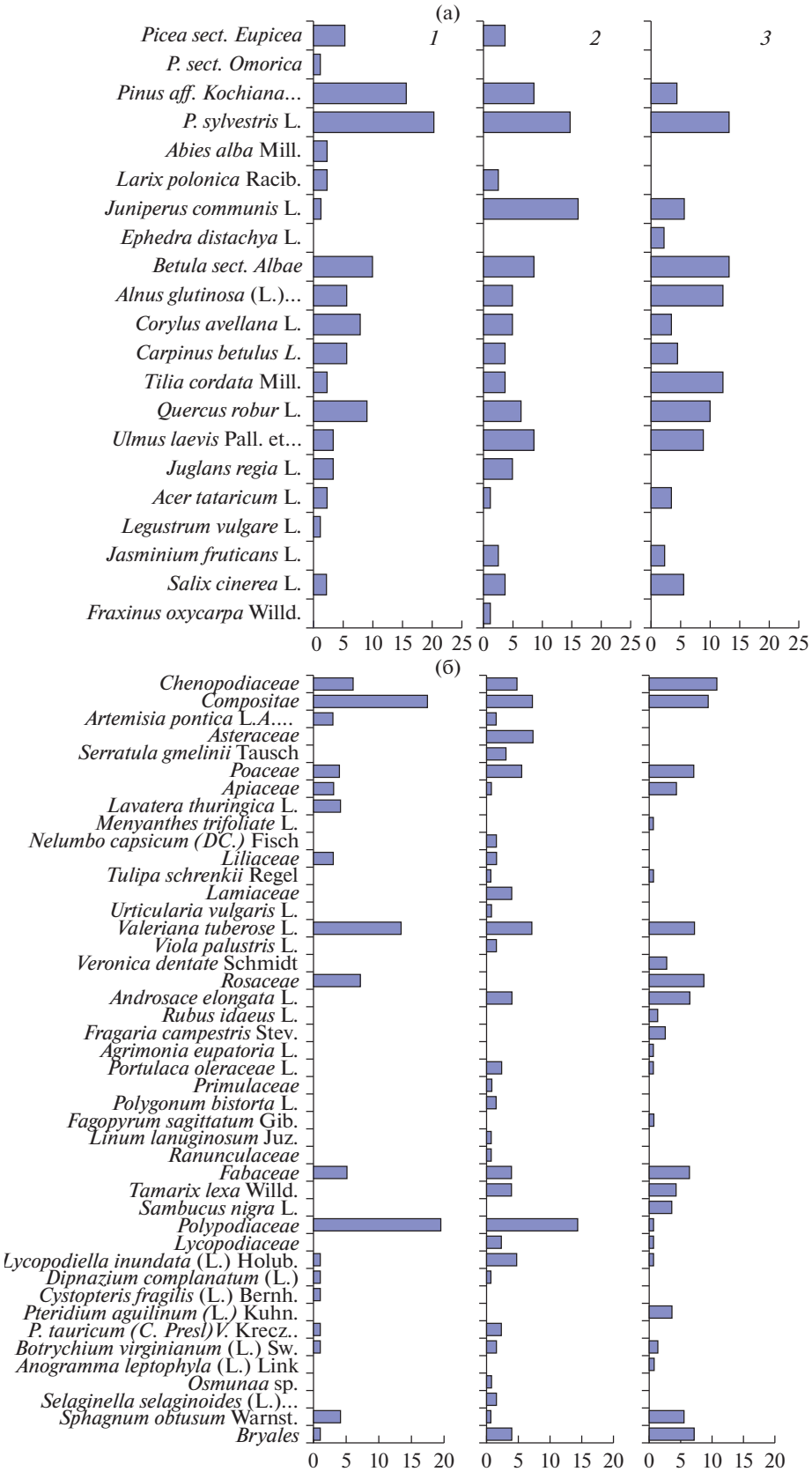

Рис. 8. Спорово-пыльцевые диаграммы общего вегетационного состава исследуемых почвенных образцов: (а) пыльца древесной растительности, (б) пыльца травянистой растительности; *1*, *2*, *3* – образцы из 0–5 см погребенных почв разрезов Бсж1п-17, Бсж2п-17 и Бсж3п-17 соответственно.

из грабово-дубовых ценозов с участием липы, клена и грецкого ореха. Почва Бсж2п-17 формировалась под дубово-вязовыми лесами. Вероятно, климат на этой стадии становился все суше. На это указывает уменьшение доли пыльцы ели, а также граба. В составе подлеска преобладали лесной орех (*Corylus avellana*), а также бирючина обыкновенная (*Legustrum vulgare*), жасмин кустарниковый (*Jasminium fruticans*). Березовые леса (*Betula*) преобладали на пониженных участках рельефа, а ивы (*Salix*) образовывали прибрежные заросли.

Количество и состав спектра в почве Бсж3п-17 отличается преобладанием пыльцы покрытосеменных древесных растений над голосеменными в 3 раза, а также увеличением количества пыльцы травянистой растительности (см. рис. 8). Пыльца *Picea* полностью исчезла из спектра этой почвы. Пыльца березы и липы (*Betula sect. Albae, Tilia cordata* Mill.) преобладает в спектре древесных пород, в то время как процент пыльцы граба заметно снижается. Пыльца эфедры двухколосковой (*Ephedra distachya* L.), наблюдаемая только в почве Бсж3п-17, указывает на наличие степных участков [12].

В целом сравнение пыльцевых спектров погребенных почв хроноряда Бсж1п-17–Бсж2п-17–Бсж3п-17 показывает увеличение доли травянистых растений и видов, характерных для степи, а также уменьшение доли (или исчезновение) мезофильных деревьев.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сопоставление свойств палеопочв в изученном хроноряду позволяют отметить, что за время функционирования кургана произошла деградация гумусового профиля, что отражается в его осветлении и уменьшении мощности в почве под третьей конструкцией. В этой почве соли карбонатов и гипса подтянулись к дневной поверхности почвы. В карбонатном профиле увеличилось количество новообразований и изменились их формы. Это заметно уже в поверхностных горизонтах появлением более густой сети карбонатного мицелия, зафиксированного как на макро-, так и микроуровнях наблюдения. По данным химического анализа и инструментальных измерений в верхней части профиля уменьшилось содержание органического вещества, величины магнитной восприимчивости, а содержание углерода карбонатов, гипса и обменного натрия в составе обменных оснований увеличилось. Следы деятельности мезофауны хорошо заметны не в поверхностных, а, главным образом, в срединных горизонтах профиля, что четко зафиксировано при микроморфологических наблюдениях. Поэтому почва, погребенная последней в изученном хроноряду при сооружении третьей курганной конструкции представителями катакомбной культуры (XXI–XVI (XV) вв. до н. э.), имеет наиболее “засушливый” облик.

Почвы под первой и второй конструкциями в кургане классифицируются по [11] и [27], соответственно, как мицеллярно-миграционные черноземы или Haplic Chernozems Loamic, тогда как палеопочва под третьей – как сегрегационные черноземы или Calcic Chernozems Loamic. То есть можно констатировать, что за время от сооружения первой до третьей конструкции в кургане почвы эволюционировали в сторону более южного подтипа чернозема.

Спектр пыльцы в почвах, погребенных под первой и второй конструкциями, сходен, что свидетельствует об устойчивости растительного покрова в период распространения новотиторовской археологической культуры. Напротив, пыльцевой спектр в палеопочве, погребенной под третьей конструкцией, показывает значительное количество пыльцы широколиственных деревьев, уменьшение или исчезновение видов мезофильных деревьев, бóльшую долю пыльцы трав и травянистых растений и появление между ними степных видов. Эти изменения в составе пыльцевых спектров отражают переход от теплого и довольно влажного климата к более засушливому. В целом растительный покров за весь период строительства кургана можно было определить, как лесостепной, а состав травянистых растений – как луговое разнотравье. Среднеголоценовая структура растительности Приазовья и Причерноморья была ранее определена как “южная лесостепь” [12].

Исследования палеопочв ключевого участка Бейсужек 9 позволяют сделать вывод о том, что курган начал строиться в благоприятный биоклиматический период с преобладанием мицеллярно-миграционных черноземов, сформированных под разнообразным растительным покровом. В проведенных исследованиях палеопочв для соседних Ростовской, Волгоградской, Оренбургской областей и республики Калмыкия, временной интервал с XXVII по XXIII в. до н. э. характеризовался как благоприятный для биопродуктивности ценозов с влажными климатическими условиями, а также отмечалось смягчение засушливости и континентальности климата [7, 13, 29].

В то же время на рубеже третьего и второго тысячелетий до н. э. многие исследователи почв степной зоны России отмечают экологический кризис, связанный с резким усилением аридизации климата [1, 10, 16]. Этот кризис имел широкое территориальное распространение и отмечался по палеопочвенным данным далеко на юг вплоть до Аравийского полуострова [36]. И по палеоботаническим данным в исследуемом интервале времени обозначилась тенденция аридизации климата, которая проявилась в снижении до-

Таблица 1. Средние значения физико-химических свойств палеопочв в хроноряду и современной почве (значения рассчитывались как среднеарифметические для каждого профиля по всей глубине)

	Бсж1п-17	Бсж2п-17	Бсж3п-17	Бсж4ф-17
pH водный	8.0	8.7	8.8	8.3
$C_{орг}$, %	0.7	0.7	0.5	1.3
$C_{орг\ реконструированный}$, %*	1.4	1.4	1.0	–
$C_{карб}$, %	0.75	0.7	1.0	0.6
Гипс, %	0.06	0.05	0.09	–
Обменный Na, %	0.4	0.5	1.3	0.1
Магнитная восприимчивость, $\times 10^{-8}$ ед. СИ	64	66	63	67

* Реконструированное содержание органического углерода при расчете его убывания на 50% в связи с длительностью погребения около 5000 лет.

ли луговой растительности и в доминировании степной аридной флоры в пыльцевых и фитолитных спектрах на плакорах лесостепной зоны центра Восточно-Европейской равнины. Свойства почвы катакомбной культуры (XXI–XVI (XV) вв. до н. э.), погребенные под курганом 1 в курганном могильнике Бейсужек 9, а также палинологические спектры, полученные из палеопочв изучаемого хроноряда, подтвердили эти выводы.

При совокупном анализе всех свойств палеопочв можно наблюдать “ухудшение” свойств палеочерноземов в изученном хроноряду (табл. 1). Сопоставление свойств палеопочв с изученной современной почвой позволяет предполагать, что во время формирования почв новотиторовской культуры палеоклиматические условия были схожи с современным периодом, тогда как палеопочва катакомбного времени формировалась в условиях большей аридизации климата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение коротковременного педохроноряда кургана 1 в курганной группе Бейсужек-9 позволяет сделать следующие выводы.

1. Курган 1 начали строить в период благоприятного климата и доминирования миграционно-мицеллярных черноземов, сформировавшихся под разнообразным растительным покровом южной лесостепи, в первую треть суббореального периода. Благоприятный климат отразился на гумусовом и карбонатном профилях: почвы характеризовались заметной аккумуляцией гумуса и расположением верхней границы сегрегированных карбонатов довольно глубоко в профиле, уменьшением общего количества карбонатных новообразований; в почвах отсутствуют растворимые соли и поглощенный Na.

2. Резкое увеличение засушливости климата зафиксировано на рубеже 3-го и 2-го тысячелетий до н. э. – в середине суббореального периода. Почвы под третьей конструкцией в кургане 1 отвечают требованиям к кальциевым черноземам, характеризуются низким содержанием органического углерода и высоким содержанием карбонатов. Карбонаты отмечаются в поверхностных горизонтах и представлены карбонатным псевдомицелием, зафиксированным как на макро-, так и на микроуровне. Биотурбации, в основном, приурочены к средней части почвенного профиля. Кроме того, палеопочва разр. Бсж3п-17 отличается наибольшим содержанием обменного Na и гипса во втором метре профиля. Верхний горизонт показывает самую низкую магнитную восприимчивость.

3. Независимое доказательство и еще более глубокое понимание динамики окружающей среды во время строительства кургана 1 дает палинологический анализ. В конце раннего – начале среднего бронзового века (новотиторовская культура) в этом районе преобладали открытые широколиственные леса с богатым видовым травянистым покровом и редким присутствием хвойных деревьев. В среднем бронзовом веке (катакомбная культура) доля широколистных видов заметно возрастает вместе с травами и злаками за счет голосеменных и споровых растений; уменьшается доля или исчезают виды мезофильных деревьев, степные виды появляются в составе травянистого покрова на последнем этапе строительства кургана.

4. В результате анализа как палеопочвенных, так и палинологических данных можно утверждать, что временной интервал конца ранней – начала средней бронзы (новотиторовская культура, XXVII–XXIII вв. до н. э.) характеризовался мягкими и благоприятными для биопродуктивности климатическими условиями. В эпоху средней бронзы (катакомбная культура, XXI–XVI (XV) вв. до н. э.) отмечается смена климата с повышением среднегодовых температур и уменьшением количества осадков.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда, проект № 16-17-10280 и в рамках выполнения темы Государственного задания № 0191-2019-0046.

FUNDING

The work was financially supported by the Russian Science Foundation, project no. 16-17-10280, and within the framework of the state-ordered research theme, no. 0191-2019-0046.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александровский А.Л., Александровская Е.И.* Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.
2. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 488 с.
3. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
4. *Воробьева Л.А.* Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
5. *Гей А.Н.* Новотиторовская культура. М.: Изд-во "Старый сад", 2000. 224 с.
6. *Глазовская М.А.* Педолитогенез и континентальные циклы углерода. М.: Книжный дом ЛИБРОКОМ, 2009. 336 с.
7. *Гольева А.А., Хохлова О.С.* Реконструкция этапов создания Большого Синташтинского кургана (Челябинская область) на основе палеогеографических данных // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 6. С. 67–76.
8. *Гричук В.П.* О пыльцевой флоре четвертичных отложений юга Европейской части СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1940. № 8. С. 53–58.
9. *Заварзина Д.Г., Алексеев А.О., Алексеева Т.В.* Роль железоредуцирующих бактерий в формировании магнитных свойств степных почв // Почвоведение. 2003. № 10. С. 1218–1227.
10. *Иванов И.В., Александровский А.Л., Макеев А.О. и др.* Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. 925 с.
11. Классификация и диагностика почв России / авт. и сост.: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
12. *Маркова А.К., Симакова А.Н., Пузаченко А.Ю.* Экосистемы Восточной Европы в эпоху оптимума атлантического потепления голоцена по флористическим и териологическим данным // ДАН. Т. 391. № 4. 2003. С. 545–549.
13. *Моргунова Н.Л., Салугина Н.П., Турецкий М.А.* Крупнотарные сосуды бронзового века Турганикского поселения в Оренбургской области // Самарский научн. вестн. 2016. Т. 17. № 4. С. 91–97.
14. *Орлов Д.С., Гришина Л.А.* Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 273 с.
15. *Трегуб Т.Ф.* Этапы развития растительности в голоцене на территории Воронежской области // Вестн. ВГУ. Геология. 2012. № 1. С. 29–33.
16. *Шишлина Н.И.* Северо-западный Прикаспий в эпоху бронзы (V–III тыс. до н. э.) // Тр. Гос. исторического музея. 2007. № 165. 400 с.
17. *Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V.* Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols // PALAEO. 2007. V. 249. P. 103–132.
18. *Alexandrovskiy A.L., van der Plicht J., Belinskiy A.B., Khokhlova O.S.* Chronology of soil evolution and climatic changes in the dry steppe zone of the Northern Caucasus, Russia, during the 3rd millennium BC // Radiocarbon. 2001. V. 43. № 2B. P. 629–635.
19. *Andrews P., Fernandez-Jalvo Y.* Bronze age barrows at longstone edge: taphonomy and site formation // Quat. Int. 2012. V. 275. P. 43–54.
20. *Barczi A., Joó K., Petó Á., Bucsi T.* Survey of the buried paleosol under the Lyukas mound in Hungary // Eurasian Soil Sci. 2006. V. 39. P. S133–S140.
21. *Breuning-Madsen H., Dalsgaard K.* Soil Processes in the Skelhøj Mound. In: Skelhøj and the Bronze Age Barrows of Southern Scandinavia. Vol. 1: The Bronze Age Barrow Tradition and the Excavation of Skelhøj / Holst M.K., Rasmussen M. (Eds.). Jutland Archaeological Society Publ. V. 78. Moesgård: Jysk Arkæologisk Selskab, 2013. P. 217–230.
22. *Chendev Y.G., Ivanov I.V., Pesochina L.S.* Trends of the natural evolution of chernozems on the East European Plain // Eurasian Soil Sci. V. 43. № 7. 2010. P. 728–736. https://doi.org/10.1134/S1064229310070021
23. *Courty M.A., Fedoroff N.* Micromorphlogy of recent and buried soils in a semi-arid region of northwestern India // Geoderma. 1985. V. 35. № 4. P. 287–332.
24. *Darlington J.P.* Lenticular soil mounds in the Kenya highlands // Oecologia. 1985. V. 66. № 1. P. 116–121.
25. *Dreibrodt S.* Investigations on paleosols and colluvial layers around Bronze Age burial mounds at Bornhoved (northern Germany): an approach to test the hypothesis of "landscape openness" by the incidence of colluviation // The Holocene. 2009. V. 19. № 3. P. 487–497.
26. *Hejcman M., Soucková K., Kristuf P., Peska J.* What questions can be answered by chemical analysis of recent and paleosols from the Bell Beaker barrow (2500–2200 BC), Central Moravia, Czech Republic // Quat. Int. 2013. V. 316. P. 179–189.
27. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. № 106. Rome: FAO. 2015. 192 p.
28. *Khokhlova O.S., Khokhlov A.A., Morgunova, N.L., Yustus A.A.* Short chronosequences of paleosols from the Skvortsovka kurgans in the Buzuluk River valley of Orenburg oblast // Eurasian Soil Sci. 2010. V. 43. № 9. P. 965–976. https://doi.org/10.1134/S1064229310090036
29. *Khokhlova O., Morgunova N., Khokhlov A., Golyeva A.* Dynamics of paleoenvironments in the Cis-Ural steppes during the mid- to late Holocene // Quat. Res.

2019. V. 91. № 1. P. 96–110.
https://doi.org/10.1017/qua.2018.23

30. *Kristiansen S.M., Dalsgaard K., Holst M.K., Aaby B., Heinemeier J.* Dating of prehistoric burial mounds by ^{14}C analysis of soil organic matter fractions // Radiocarbon. 2003. V. 45. № 1. P. 101–112.
31. *Lisetskii F.N., Stolba V.F., Goleusov P.V.* Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology // Eurasian Soil Sci. 2016. V. 49. № 8. P. 846–858.
https://doi.org/10.1134/S1064229316080056
32. *Molnár M., Joó K., Barczi A., Szántó Z., Futó I., Palcsu L., Rinyu L.* Dating of total soil organic matter used in kurgan studies // Radiocarbon. 2004. V. 46. № 1. P. 413–419.
33. *Parsons R.B., Scholtes W.H., Riecken F.F.* Soils of Indian mounds in northeastern Iowa as benchmarks for studies of soil genesis // Soil Sci. Society of America J. 1962. V. 26. № 5. P. 491–496.
34. *Runia L.T., Buurman P.* The so-called "Sekundärpodsolierung" in burial mounds: chemical data from Dutch barrows // J. Archaeol. Sci. 1987. V. 14. № 1. P. 97–105.
35. *Tóth C., Prónay Z., Braun M., Nagy P., Pethe M., Tildy P., Molnár M.* Geoarchaeological study of Szálka and Vajda Kurgans (Great Hungarian Plain) based on radiocarbon and geophysical analyses // Radiocarbon. 2018. V. 60. № 5. P. 1425–1437.
https://doi.org/10.1017/RDC.2018.102
36. *Weiss H., Courty M.A., Wetterstrom W., Guichard F., Senior L., Meadow R., Curnow A.* The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization // Science. 1993. V. 261. № 5124. P. 995–1004.

Soil Evolution and Landscape-Climatic Changes in the Bronze Age for the Steppe Zone of the Kuban-Azov Plain Based on the Study of a Large Mound

A. E. Sverchkova[1, *] and O. S. Khokhlova[1]

[1] *Institute of Physical-Chemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino, Russia*
**e-mail: acha3107@gmail.com*

Studies of paleosols buried under earthen archaeological monuments (mounds/kurgans) for the purpose of reconstructing the paleoecological conditions of previous epochs are of great interest. This work aims to study soil evolution and climate dynamics during the Bronze Age based on the study of soils buried during several stages of earthen mound construction within one large kurgan in the southern steppes of the Kuban-Azov Plain, Russia. The kurgan-1 in the Beysuzhek-9 kurgan cemetery of the Bronze Age, situated in the Korenovsky municipal district, Krasnodar krai, consists of three earthen mounds made at different times. The soils buried under three mounds of the kurgan are in close vicinity from each other and have similar lithology and geomorphic position. They form a chronosequence representing three time slices. The paleosols were buried sequentially from the center to the periphery of the kurgan. The height of the kurgan is about 4 m that ensures good preservation of the buried soils. The research is based on the comparative analysis of morphology, micromorphology, and analytical properties of three paleosols buried under different constructions in the kurgan and surface soil. Also, the palynological analysis was performed for the uppermost layers (0–5 cm) of three paleosols. Reconstruction of paleoclimatic conditions based on paleopedological study showed that during the construction of the kurgan the region's climate gradually changed towards an aridity increase. During the construction of the third kurgan structure (the Catacomb culture of the Middle Bronze Age, the 21st–16th centuries BC) the climate was mostly arid. Palynological analysis confirmed this conclusion. During the construction of the kurgan, in plant community, which was described as the southern forest-steppe overall, the percentage of grass plants increased markedly, and typical steppe species appeared in the Catacomb culture time only.

Keywords: paleosols, mounds, steppe zone of Russia, morphological analysis, chemical analysis, magnetic susceptibility, palinological spectra, Chernozems

REFERENCES

1. Aleksandrovskii A.L., Aleksandrovskaya E.I. *Evolyutsiya pochv i geograficheskaya sreda* [Evolution of Soils and Geographic Environment]. Moscow: Nauka Publ., 2005. 223 p.
2. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Handbook on the Chemical Analyses of Soils]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1970. 488 p.
3. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoistv pochv* [Methods for Studying Physical Properties of Soils]. Agropromizdat Publ., 1986. 416 p.
4. Vorob'eva L.A. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and Practice of Chemical Analysis of Soils]. Moscow: GEOS Publ., 2006. 400 p.
5. Gei A.N. *Novotitorovskaya kul'tura* [Novotitarovskaya Culture]. Moscow: Staryi Sad Publ., 2000. 224 p.
6. Glazovskaya M.A. *Pedolitogenez i kontinental'nye tsikly ugleroda* [Pedolithogenesis and Continental Carbon Cycles]. Moscow: LIBROKOM Publ., 2009. 332 p.
7. Gol'eva A.A., Khokhlova O.S. Reconstruction of the stages of creation of the Large Syntaktische Kurgan (Chelyabinsk oblast), based on paleogeographic data. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2010, no. 6, pp. 67–76. (In Russ.).

8. Grichuk V.P. On pollen flora of Quaternary deposits of the south of European part of the USSR. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1940, no. 8, pp. 53–58. (In Russ.).
9. Zavarzina D.G., Alekseev A.O., Alekseeva T.V. The role of iron-reducing bacteria in the formation of magnetic properties of steppe soils. *Eurasian Soil Sci.*, 2003, vol. 36, no. 10, pp. 1085–1094.
10. Ivanov I.V., Aleksandrovskii A.L., Makeev A.O. et al. *Evolyutsiya pochv i pochvennogo pokrova. Teoriya, raznoobrazie prirodnoi evolyutsii i antropogennykh transformatsii pochv* [Evolution of Soils and Soil Cover. Theory, Diversity of Natural Evolution and Anthropogenic Transformations of Soils]. Moscow: GEOS Publ., 2015. 925 p.
11. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnostics of Soils in Russia]. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I., Eds. Smolensk: Oikumena Publ., 2004. 342 p.
12. Markova A.K., Simakova A.N., Puzachenko A.Yu. Ecosystems of Eastern Europe in the Holocene Atlantic Optimum based on floristic and theriologic data. *Dokl. Earth Sci.*, 2003, vol. 391, no. 4, pp. 883–887.
13. Morgunova N.L., Salugina N.P., Turetskii M.A. Large vessels of the Bronze Age from the Turganik settlement, Orenburg oblast. *Samar. Nauchn. Vestn.*, 2016, vol. 17, no. 4, pp. 91–97. (In Russ.).
14. Orlov D.S., Grishina L.A. *Praktikum po khimii gumusa* [Handbook on Chemistry of Humus]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1981. 273 p.
15. Tregub T.F. Stages of vegetation development in the Holocene in the Voronezh oblast. *Vestn. Voronezh. Gos. Univ., Geol.*, 2012, no. 1, pp. 29–33. (In Russ.).
16. Shishlina N.I. *Severo-zapadnyi Prikaspii v epokhu bronzy (V–III tys. do n.e.)*. [North-Western Caspian Region at the Bronze Age (5 to 3 ka BP)]. Tr. Gos. Ist. Muzeya, vol. 165. Moscow, 2007. 400 p.
17. Alekseeva T., Alekseev A., Maher B.A., Demkin V. Late Holocene climate reconstructions for the Russian steppe, based on mineralogical and magnetic properties of buried palaeosols. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2007, vol. 249, nos. 1–2, pp. 103–127. doi 10.1016/j.palaeo.2007.01.006
18. Alexandrovskiy A.L., van der Plicht J., Belinskiy A.B., Khokhlova O.S. Chronology of soil evolution and climatic changes in the dry steppe zone of the Northern Caucasus, Russia, during the 3rd millennium BC. *Radiocarbon*, 2001, vol. 43, no. 2B, pp. 629–635.
19. Andrews P., Fernandez-Jalvo Y. Bronze Age barrows at Longstone Edge: Taphonomy and site formation. *Quat. Int.,* 2012, vol. 275, pp. 43–54.
20. Barczi A., Joó K., Petó Á., Bucsi T. Survey of the buried paleosol under the Lyukas mound in Hungary. *Eurasian Soil Sci.,* 2006, vol. 39, pp. S133–S140. doi 10.1134/S1064229306130217
21. Breuning-Madsen H., Dalsgaard K. Soil processes in the Skelhøj Mound. In *Skelhøj and the Bronze Age Barrows of Southern Scandinavia*. Vol. 1: *The Bronze Age Barrow Tradition and the Excavation of Skelhøj*. Holst M.K., Rasmussen M., Eds. Jutland Archaeological Society Publications, vol. 78. Moesgård: Jysk Arkæologisk Selskab, 2013, pp. 217–230.
22. Chendev Y.G., Ivanov I.V., Pesochina L.S. Trends of the natural evolution of chernozems on the East European Plain. *Eurasian Soil Sci.*, 2010, vol. 43, no. 7, pp. 728–736. doi 10.1134/S1064229310070021
23. Courty M.A., Fedoroff N. Micromorphlogy of recent and buried soils in a semi-arid region of northwestern India. *Geoderma*, 1985, vol. 35, no. 4, pp. 287–332.
24. Darlington J.P. Lenticular soil mounds in the Kenya highlands. *Oecologia*, 1985, vol. 66, no. 1, pp. 116–121.
25. Dreibrodt S., Nelle O., Lütjens I., Mitusov A., Clausen I., Bork H.-R. Investigations on buried soils and colluvial layers around Bronze Age burial mounds at Bornhöved (Northern Germany): An approach to test the hypothesis of "landscape openness" by the incidence of colluviation. *The Holocene*, 2009, vol. 19, no. 3, pp. 487–497.
26. Hejcman M., Soucková K., Kristuf P., Peska J. What questions can be answered by chemical analysis of recent and paleosols from the Bell Beaker barrow (2500–2200 BC), Central Moravia, Czech Republic. *Quat. Int.,* 2013, vol. 316, pp. 179–189.
27. IUSS Working Group WRB. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015.* International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports, no. 106. Rome: FAO, 2015. 192 p.
28. Khokhlova O.S., Khokhlov A.A., Morgunova N.L., Yustus A.A. Short chronosequences of paleosols from the Skvortsovka kurgans in the Buzuluk River valley of Orenburg oblast. *Eurasian Soil Sci.*, 2010, vol. 43, no. 9, pp. 965–976. doi 10.1134/S1064229310090036
29. Khokhlova O., Morgunova N., Khokhlov A., Golyeva A. Dynamics of paleoenvironments in the Cis-Ural steppes during the mid- to late Holocene. *Quat. Res.*, 2019, vol. 91, no. 1, pp. 96–110. doi 10.1017/qua.2018.23
30. Kristiansen S.M., Dalsgaard K., Holst M.K., Aaby B., Heinemeier J. Dating of prehistoric burial mounds by ^{14}C analysis of soil organic matter fractions. *Radiocarbon,* vol. 45, no. 1, pp. 101–112.
31. Lisetskii F.N., Stolba V.F., Goleusov P.V. Modeling of the evolution of steppe chernozems and development of the method of pedogenetic chronology. *Eurasian Soil Sci.*, 2016, vol. 49, no. 8, pp. 846–858. doi 10.1134/S1064229316080056
32. Molnár M., Joó K., Barczi A., Szántó Z., Futó I., Palcsu L., Rinyu L. Dating of total soil organic matter used in kurgan studies. *Radiocarbon*, 2004, vol. 46, no. 1, pp. 413–419.
33. Parsons R.B., Scholtes W.H., Riecken F.F. Soils of Indian mounds in northeastern Iowa as benchmarks for studies of soil genesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1962, vol. 26, no. 5, pp. 491–496.
34. Runia L.T., Buurman P. The so-called "Sekundärpodsolierung" in burial mounds: chemical data from Dutch barrows. *J. Archaeol. Sci.*, 1987, vol. 14, no. 1, pp. 97–105.
35. Tóth C., Prónay Z., Braun M., Nagy P., Pethe M., Tildy P., Molnár M. Geoarchaeological study of Szálka and Vajda Kurgans (Great Hungarian Plain) based on radiocarbon and geophysical analyses. *Radiocarbon*, 2018, vol. 60, no. 5, pp. 1425–1437. doi 10.1017/RDC.2018.102
36. Weiss H., Courty M.A., Wetterstrom W., Guichard F., Senior L., Meadow R., Curnow A. The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization. *Science*, 1993, vol. 261, no. 5124, pp. 995–1004.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 84–96

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК [581.824.1-247.5:581.151]:551.585(212.3:571.1/.5)

ХРОНОЛОГИИ СВЕТЛЫХ КОЛЕЦ ЛИСТВЕННИЦЫ НА СЕВЕРЕ СИБИРСКОЙ ЛЕСОТУНДРЫ: ОТРАЖЕНИЕ СТЕПЕНИ КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ КЛИМАТА

© 2021 г. М. А. Гурская*

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

**e-mail: mgurskaya@yandex.ru*

Поступила в редакцию 29.03.2020 г.
После доработки 08.09.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

У представителей рода *Larix*, произрастающих на 18 точках лесотундры Сибири на профиле длинной 4000 км, выявлены светлые годичные кольца. В хронологиях по светлым кольцам за период, обеспеченный метеорологическими наблюдениями (1944–1992), есть группа общих лет по Западной Сибири и западной части Средней Сибири, вторая группа общих лет приурочена к восточной части Средней Сибири, третья находится в Восточной Сибири. Повсеместно формирование светлых колец связано с низкой температурой вегетационного периода, а именно июня, июля и августа. Впервые выявлены различия в климатическом сигнале у светлых колец у лиственницы из различных географических районов Сибирской Субарктики. В Западной Сибири основное влияние на формирование светлых колец оказывают температуры конца вегетационного сезона (августа), а в восточной – температуры начала вегетации (июня). Различия в температурном отклике хронологий по светлым кольцам обусловлены повышением температуры июня и соответствующим увеличением континентальности климата с запада на восток. Выявлены группы светлых колец хронологий со сходным сигналом, которые делят Сибирскую Субарктику на пять крупных районов. Эти группы согласуются с группами древесно-кольцевых хронологий, выделенными для региона ранее.

Ключевые слова: северная лесотундра, Сибирь, лиственница, светлые кольца, континентальность, температура

DOI: 10.31857/S2587556621010064

ВВЕДЕНИЕ

Климатические условия в лесотундровой зоне Сибири изменяются в направлении с запада на восток. Температуры зимних месяцев по мере роста континентальности становятся ниже, а летних – выше, что ведет к увеличению амплитуды годовой температуры [13]. Перераспределение тепла в течение года в долготном направлении обусловливает изменение в составе и структуре биологических сообществ [27], в распространении видов деревьев [12], в динамике их годичного прироста [2]. В высоких широтах увеличение континентальности климата в долготном направлении накладывается на короткие вегетационные сезоны, в результате чего условия окружающей среды становятся еще более экстремальными для всей биоты и древесной растительности, в частности.

Изучение экстремальных погодных и климатических явлений является одним из приоритетных направлений современных исследований изменений климата [19]. Однако анализ частоты и последствий неблагоприятных условий в течение вегетации затруднен в связи с относительной редкостью подобных явлений в прошлом. Один из способов изучения климатических экстремумов – исследование их с помощью природных регистрирующих структур, например годичных колец деревьев.

Ширина годичных колец – один из наиболее популярных в дендрохронологии параметров для изучения динамики климата в прошлом [4, 26]. В рамках Сибирского субарктического дендроклиматического проекта (ССДП) выполнены дендроклиматические реконструкции, основанные на ширине и плотности годичных колец [4]. Авторами проекта выполнен детальный анализ радиального прироста хвойных деревьев, произрастающих на северной границе распространения в Сибирской лесотундре. Но ширина годичных колец, являясь интегральной характеристикой климатических условий вегетационного сезона, содержит мало информации о краткосрочных неблагоприятных природных явлениях. Строение клеток

и тканей годичного кольца отражает условия окружающей среды в периоды их формирования, особенно экстремальные природные условия в период формирования годичного кольца [3, 16, 26]. Анатомическое строение годичных колец обладает более высокой разрешающей способностью в несколько недель или даже часов [3, 8, 14, 20].

Короткое или холодное лето является характерным экстремальным климатическим явлением в высоких широтах. В экосистемах лесотундры такие условия вегетационного сезона часто приводят к тому, что формирование годичного кольца и/или развитие стенок поздних трахеид остается незаконченным [8, 14, 15, 25] и в результате образуются светлые кольца. Они характеризуются светлой окраской зоны поздней древесины по сравнению с соседними годичными кольцами, связанной с низкой плотностью и слабой лигнификацией стенок трахеид [20]. В древесине деревьев, произрастающих на северном пределе распространения в Сибири, светлые кольца встречаются довольно часто и имеют климатическую причину формирования [7]. Светлые кольца у лиственницы, произрастающей в северных лесотундровых экосистемах, характеризуются узкой зоной поздней древесины вплоть до полного ее отсутствия или широкой зоной поздней древесины с тонкостенными поздними трахеидами [8].

Связи между радиальным приростом и долготным градиентом температуры были выявлены для основных видов лесообразователей в Канаде, на территории Фенноскандии и в Западной Сибири [2, 21, 22]. Предыдущие исследования в Западной Сибири показали, что при движении с запада на восток происходит рост связи ширины годичного кольца ели с климатическими факторами и увеличение статистических коэффициентов у древесно-кольцевых хронологий лиственницы [2].

Для хронологий по светлым кольцам у ели и лиственницы, произрастающих в Западной Сибири, при движении с запада на восток не выявлено изменений в частоте, интенсивности и климатическом сигнале, а различия обусловлены местными условиями произрастания [2]. Это может быть связано с относительно однородными климатическими условиями по всему северу Западной Сибири.

Влияние долготного градиента континентальности на формирование светлых годичных колец для всей субарктической области Сибири до сих пор не изучено. Целью данной работы является выявление динамики климатического сигнала в хронологиях светлых колец в древесине представителей рода *Larix*, произрастающих на северном пределе распространения вдоль долготного профиля северной лесотундры Сибири.

РАЙОН, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Климатические условия

Район исследования находится в субарктическом регионе Сибири, в зоне северной лесотундры между 66° с.ш. и 72° с.ш. и между 66° в.д. и 168° в.д. Основными климатообразующими факторами здесь являются характер атмосферной циркуляции, неоднородность подстилающей поверхности в холодное и теплое время года и неравномерность поступления солнечной радиации в течение года. В начале вегетационного сезона продолжительность поступления солнечной радиации достигает 24 ч в сутки. На формирование климата севера Сибири оказывает влияние проникновение в течение всего года холодного арктического воздуха на континент. Относительно большое количество осадков наблюдается на всей Западной Сибири до середины Средней Сибири (р. Котуй). Осадки обусловлены проникновением атлантических воздушных масс. Восточнее р. Котуй и на севере Восточной Сибири термический режим обусловлен больше радиационными, а не циркуляционными факторами. Особенностью климата Восточной Сибири является высокая испаряемость снега до перехода суточной температуры через 0°C [6].

Для Сибирской Субарктики наиболее холодным месяцем года является январь, температура воздуха опускается в среднем до –32°C. Самый теплый месяц – июль, средняя температура составляет около 13°C. Почвы – глеевые и глеево-подзолистые, распространена вечная мерзлота, глубина сезонно-талого слоя уменьшается с 3 м на западе до 1.5 м на востоке. Вегетационный сезон короткий, не превышает двух месяцев, осадки приурочены к теплой половине года, за июль–август выпадает до 50% осадков. Спорадические заморозки возможны в течение всего вегетационного периода [6].

Краткая характеристика видов лиственниц в северной лесотундре Сибири

Род *Larix* – абсолютный доминант в мерзлотной зоне Сибири. Лиственничные леса, редколесья и редины выполняют важные средообразующие и защитные функции, а виды лиственницы являются главными эдификаторами растительных сообществ и депонентами углерода на севере Сибири. Основными среди них, образующих северный предел распространения лесной растительности в высоких широтах Сибири, являются лиственница сибирская (*L. sibirica* Ledeb.), лиственница Гмелина (даурская) (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr.) и лиственница Каяндера (*L. cajanderi* Mayr) [1].

Лиственница сибирская – наиболее распространенный вид в Западной Сибири – участвует в образовании северных лесных островов, форми-

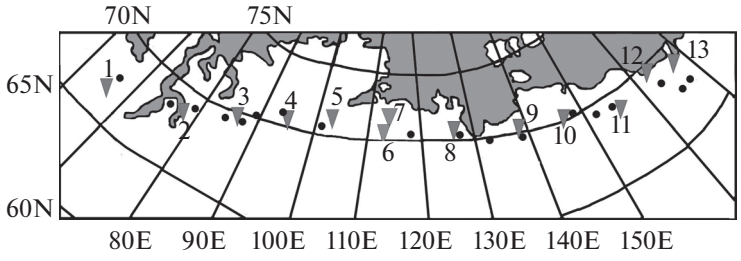

Рис. 1. Район исследований. Точки – места отбора образцов, треугольники – метеостанции; номера соответствуют коду метеостанции (см. табл. 2).

руя в них чистые древостои. Тяготеет к хорошо дренированным и аэрированным относительно теплым почвам, чувствительна к вечной мерзлоте, по сравнению с *L. gmelinii*, с которой имеет общую границу ареала. В молодом возрасте *L. sibirica* может выносить значительное затенение, произрастая под пологом сомкнутых древостоев, уступает эдификаторную роль *L. gmelinii* в зоне контакта их ареалов [9].

Лиственница Гмелина – основная лесообразующая порода Севера Средней Сибири – в зоне многолетней мерзлоты образует типичные для региона леса и редколесья. Предельного возраста достигает в экстремальных условиях, а на климатическом пределе может возобновляться и вегетативным путем. По светолюбию превосходит *L. sibirica*, а по устойчивости к континентальности климата она близка к *L. cajanderi* [1, 10]. Благополучно переносит крайне низкие зимние температуры воздуха, устойчива к низким температурам почвы и длительному промораживанию корневых систем. В мерзлотной зоне формирует корневую систему поверхностного типа, с придаточными корнями [1].

Лиственница Каяндера на большей части ареала образует типичные для Северо-Восточной Сибири редколесья и редины. Вид не требователен к теплу, хорошо переносит длительные и крайне низкие зимние температуры воздуха, устойчив к низким положительным температурам почвы и зимнему промораживанию корневых систем. Формирует поверхностную корневую систему с придаточными корнями в верхнем 30–40 см слое почвы. Произрастает как на каменистых осыпях, так и на перегнойно-карбонатных и подзолистых почвах, а также аллювиальных почвах речных долин [10, 11].

Сбор и обработка материала

Долготный профиль в Сибирской Субарктике был разделен на: (1) Западную Сибирь, находящуюся в пределах Западно-Сибирской низменности, (2) Среднюю Сибирь, занимающую все Средне-Сибирское плоскогорье и (3) Восточную Сибирь – в пределах Яно-Колымского нагорья.

Буровые образцы (керны) с разных видов лиственницы (*Larix sibirica, L. gmelinii*, *L. cajanderi*) собраны соответственно на долготном профиле в лесотундре на 18 точках, находящихся на расстоянии 250–500 км друг от друга (табл. 1), – по 20–50 кернов на каждой точке. Поверхность кернов была зачищена, образцы перекрестно датированы с использованием программ TSAP [23] и COFECHA [18], чтобы установить точный год образования светлых колец. Длина полученных хронологий колеблется от 69 до 690 лет, составляя в среднем 450 лет. В последующем анализе был использован только общий период, обеспеченный данными наблюдений метеорологических станций (1944–1992).

Светлые кольца визуально выявляли путем сравнения с прилежащими годичными кольцами [7, 14–16] на зачищенной поверхности керна в отражающем свете микроскопа при увеличении 20–40×. Хронологии встречаемости светлых колец построены с помощью процедуры нормализации данных, на основе расчета доли светлых колец в зависимости от общего числа годичных колец в каждый календарный год.

Данные по средней месячной температуре 13 метеорологических станций, располагающихся в Сибирской Субарктике в этих же широтах (табл. 2) и относительно близко от точек сбора образцов (рис. 1), использованы для установления корреляционной связи между хронологиями светлых колец и средней месячной температурой воздуха [5]. Последующая кластеризация хронологий выполнена в программе *Statistica8.0* на основе значений коэффициентов корреляции за 12 мес. методом простого объединения на основе евклидовых расстояний.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Климатические условия по данным метеостанций

Согласно наблюдениям метеостанций, расположенных вдоль профиля, температура июня в

Таблица 1. Координаты и характеристики точек сбора материалов

Код хронологии	Широта	Долгота	Высота над ур. м., м	Вид	Начальный год	Длина хронологии	Число кернов
Западная Сибирь							
1	67°33′	67°32′	35	*L.s.*	1940	69	25
2	67°28′	76°46′	20	*L.s.*	1561	430	25
3	68°08′	79°46′	30	*L.s.*	1562	429	18
4	68°07′	85°03′	50	*L.s.*	1553	438	20
Средняя Сибирь							
5	69°23′	86°13′	20	*L.s*	1925	85	21
6	70°31′	89°30′	70	*L.s.*	1615	376	20
7	71°20′	93°50′	70	*L.g.*	1540	451	24
8	72°27′	101°45′	20	*L.g.*	1644	347	20
9	71°42′	118°35′	80	*L.g.*	1600	391	23
10	71°06′	127°17′	70	*L.g.*	1425	567	22
Восточная Сибирь							
11	70°57′	132°59′	20	*L.c.*	1518	474	21
12	70°15′	138°10′	80	*L.c.*	1301	691	22
13	70°30′	148°08′	20	*L.c.*	1425	670	21
14	69°28′	152°06′	30	*L.c.*	1414	581	26
15	69°17′	154°46′	50	*L.c.*	1412	580	22
16	68°48′	163°03′	300	*L.c.*	1468	524	29
17	67°12′	165°06′	470	*L.c.*	1568	424	20
18	67°28′	167°40′	450	*L.c.*	1420	572	20

Примечание: *L.s.* – *Larix sibirica*, *L.g.* – *L. gmelinii*, *L.c.* – *L. cajanderi*.

Таблица 2. Характеристики мест расположения и период наблюдений метеорологических станций

№	Название станции	Широта	Долгота	Высота над ур. м., м	Период наблюдений
1	Салехард	66°31′	66°36′	15	1882–2017
2	Тазовск	67°30′	78°42′	8	1937–2017
3	Дудинка	69°24′	86°10′	16	1906–2017
4	Волочанка	70°58′	94°30′	37	1936–2017
5	Хатанга	71°58′	102°28′	30	1929–2017
6	Жилинда	70°6′	113°54′	62	1936–2017
7	Саскылах	72°0′	114°6′	18	1936–2017
8	Кюзюр	70°40′	127°24′	36	1912–2017
9	Юбилейная	70°45′	136°13′	25	1935–2017
10	Чокурдах	70°36′	147°54′	61	1945–2017
11	Среднеколымск	67°27′	153°41′	20	1887–2017
12	Островное	68°7′	164°10′	25	1940–2017
13	Илирней	67°9	167°34′	352	1944–2017

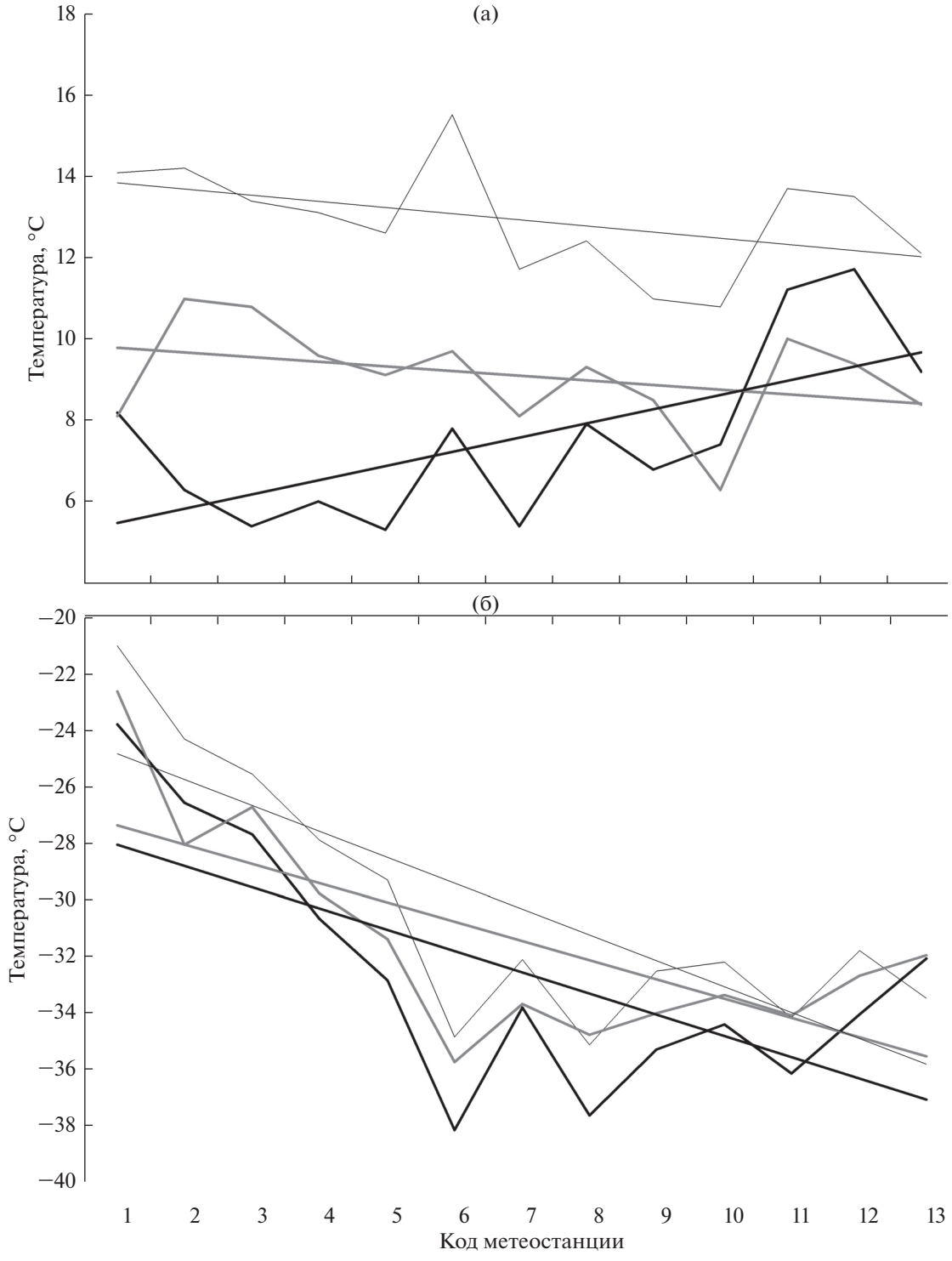

Рис. 2. Ход температуры и тренды летнего (а) и зимнего (б) периодов: июнь и январь (черная линия), июль и февраль (темно-серая линия), август и декабрь (светло-серая линия).

среднем составляет 7.5°С. На станциях 11–13 температура июня становится выше 9°С, без этих трех станций средняя температура июня на профиле – 6.4°С (рис. 2а). Температура июля достигает в среднем 12.9°С, августа – 9.1°С, а средняя температура июня–августа составляет 9.4°С. Температура июня повышается в восточном направлении в среднем на 1°С. Температура июля и августа понижается по профилю с запада на восток на 3 и 1.8°С соответственно.

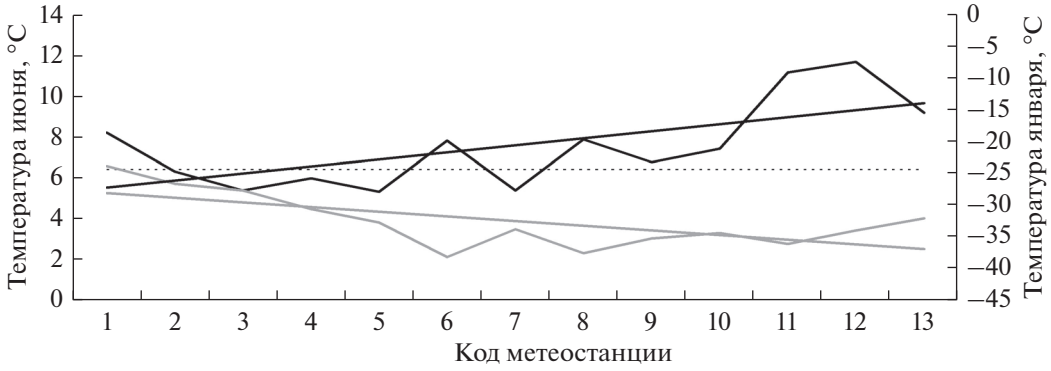

Рис. 3. Амплитуда температуры января (серая линия) и июня (черная линия). Пунктирная линия – средняя температура июня (без станций 11–13).

Самый холодный месяц – январь, средняя температура –32°С, а декабря и февраля –30°С и –31°С соответственно. Температура декабря по профилю с запада на восток опускается в среднем на 11°С, января и февраля на 10°С (рис. 2б).

Континентальность климата растет с запада на восток. Годовая амплитуда температуры самого холодного и самого теплого месяцев (январь/июнь) составляет в среднем 40°С, изменяясь от 32°С в западной части профиля до 47°С в восточной части профиля (рис. 3).

Хронологии светлых колец

Все изученные виды лиственниц формируют светлые кольца, хотя их выраженность и частота по профилю изменчивы. В Западной Сибири чаще формируются светлые кольца с тонкостенной поздней древесиной, в Восточной Сибири – с узкой зоной поздней древесины (рис. 4). В Средней Сибири светлые кольца чаще имеют широкую зону поздней древесины, в районе 100°–120° в.д. с одинаковой частотой формируются кольца с широкой и узкой зонами поздней древесины, а после 120° в.д. – чаще с тонким слоем поздней древесины. Иногда отмечались годы, когда в один и тот же год на одной и той же точке формировались оба варианта строения светлых колец.

Количество лет, когда происходило формирование светлых колец, варьирует от 4 до 10 за рассматриваемый 47-летний период (табл. 3).

На территории Западной Сибири лет со светлыми кольцами выявлено больше всего, в среднем около 9 лет за рассматриваемый период. Выделяются общие годы по всему северу Западной Сибири – 1944, 1958, 1964, 1968 гг. В Средней Сибири количество лет со светлыми кольцами постепенно убывает с 8 до 4–5 в восточной части, где после 101° в.д. выявлен всего один общий год – 1989 г. Однако если рассмотреть группу хронологий до 101° в.д. (р. Котуй), то общих лет в западной части Средней Сибири становится больше (1944, 1958, 1968, 1989 гг.). На севере Восточной Сибири количество лет со светлыми кольцами в среднем составляет 6 лет, количество общих лет невелико: 1962 и 1984 гг. Общих лет со светлыми кольцами для всего долготного профиля в Сибири не найдено (см. табл. 3).

Климатический отклик

Корреляционный анализ показал отрицательные связи между температурой воздуха летних месяцев и хронологиями светлых колец, а с остальными месяцами года связей не выявлено. Корреляция хронологий по светлым кольцам с температурой июня остается постоянной на протяжении всего профиля, становясь незначимой в самом начале (хронология 1) и в конце профиля (хронологии 16–18). Статистически достоверные высокие коэффициенты корреляции с июльскими температурами выявлены у трех хронологий, расположенных в центральной части профиля в районе р. Лена. Корреляция с температурой августа, имея высокие значения в Западной Сибири, становится не значимой после 101° в.д. (хронология 9). Исключение составляют три последние точки профиля (16–18), в их хронологиях не выявлен температурный сигнал вегетационного сезона.

Выявлено, что 66% значимых корреляций между хронологиями светлых колец и температурой воздуха получено для июня, 33% – для июля и 44% – для августа. Большинство достоверных корреляций с температурой июня отмечено на севере Западной Сибири (75% хронологий имеют корреляцию с июнем), меньше – на севере Средней (67%) и еще меньше на севере Восточной (62%). Количество значимых корреляций по температуре июля – 25, 16 и 50% соответственно. Количество хронологий по светлым кольцам со значимыми корреляциями с температурой августа

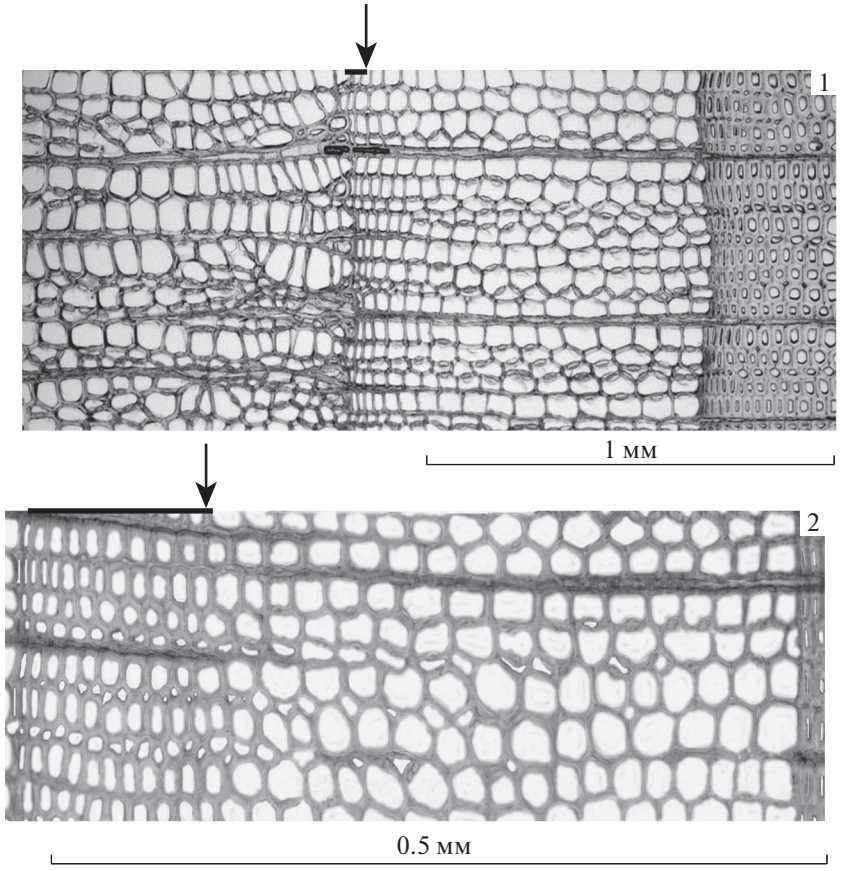

Рис. 4. Основные проявления светлых колец у лиственницы в Сибирской Субарктике. Стрелка указывает на начало поздней древесины. Увеличение ×400.

составляет 100% для лиственниц Западной, 66% – Средней и 0% – Восточной Сибири.

Таким образом, хронологии светлых колец у лиственниц, произрастающих в Западной Сибири и в Средней Сибири, имеют достоверную отрицательную корреляцию с температурами июня и августа и редко с температурой июля. У хронологий на севере Восточной Сибири достоверными являются корреляции июня и июля (рис. 5).

На основе анализа климатического отклика все использованные в работе хронологии светлых колец можно объединить в несколько групп. Хронологии Западной Сибири (1–3) образуют одну группу, а наиболее удаленная группа состоит из хронологий лиственницы, произрастающей на севере Восточной Сибири (16–18). Хронологии 1–3 локализуются в районе Обской губы и характеризуются связями с августом и июнем. Следующая группа хронологий (4–6) приурочена к бассейну р. Енисей, по коэффициенту корреляции с июнем и августом сходна с группой 1–3, а так же годами, когда формируются светлые кольца у лиственницы. Группа хронологий 8–10 приурочена к плато Путорана и характеризуется корреляциями с июнем и июлем и незначимыми корреляциями с августом. Хронологии 11–15 образуют кластер севера Восточной Сибири с корреляцией с температурой июня. Хронологии 7 и 14 попадают в группы географически удаленных кластеров: хронология 7 (Средняя Сибирь) находится в группе 11–15 (Восточная Сибирь), а хронология 14 (Восточная Сибирь) – в кластере 8–10 (плато Путорана) (рис. 6).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В высоких широтах Сибири с продвижением с запада на восток увеличивается континентальность климата, температура января понижается, а температура июня увеличивается. Воздушные массы с Атлантического океана способствуют формированию в Западной Сибири более влажного и менее континентального климата по сравнению с севером Восточной Сибири [6]. Более теплый июнь, отмеченный в восточной части профиля, предполагает либо более раннее начало периода вегетации, либо более интенсивные процессы камбиального деления у деревьев вследствие высокой температуры воздуха. С другой стороны, отмеченное понижение температуры воздуха в августе в восточной части Сибири ведет

Таблица 3. Годы формирования светлых колец в древесине лиственницы

Год	Точка																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1944	+	+	+	+	+	+	+	+			+	+						
1945												+				+		
1946		+					+											
1949			+			+										+		
1951		+	+														+	+
1952		+					+					+						
1954					+			+							+	+		
1956			+	+											+			
1957										+		+	+			+	+	
1958	+	+	+	+	+	+	+	+										
1961			+					+										
1962										+	+	+	+	+	+	+	+	+
1964	+	+	+	+	+					+								
1968	+	+	+	+	+	+	+											+
1969	+			+														
1970	+			+	+	+		+	+								+	
1972														+	+	+		
1975	+						+											
1977					+											+	+	
1978	+			+					+		+		+	+	+			
1979													+	+	+	+		
1980	+	+		+	+						+							
1982	+													+				+
1984									+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1985							+	+										
1987	+															+		
1989					+	+	+	+	+	+								
СК 1/2	0/11	3/5	1/7	2/7	1/8	4/2	6/3	3/4	2/2	4/1	4/1	6/0	4/1	6/0	5/2	9/1	5/1	6/0

Примечания. 1–18 – код хронологии. Серым цветом выделены общие годы для Западной, Средней и Восточной Сибири. "+" – год, в котором формировались светлые кольца; "СК 1/2" – соотношение в образцах точки отбора керна светлых колец 1 и 2 типов соответственно.

к уменьшению продолжительности вегетационного сезона. Таким образом, согласно имеющимся метеорологическим данным, вегетационный сезон на севере Восточной Сибири может начинаться несколько раньше и заканчиваться раньше по сравнению с высокими широтами Западной Сибири. Зимние температуры воздуха, скорее всего, не оказывают существенного влияния на формирование годичных колец.

Светлые кольца формируются на всей территории сибирской лесотундры, частота их формирования примерно одинакова за рассматриваемый период, следовательно, частота экстремальных климатических явлений, ведущих к их формированию, за изученный период остается здесь постоянной.

Светлые кольца имеют разную степень проявления: в Западной Сибири чаще формируются светлые кольца с широкой зоной поздней древесины с тонкостенными трахеидами, такие кольца образуются при условии благоприятной температуры в период деления клеток камбия и последующего растяжения, что соответствует теплому июню и июлю [3, 4]. В период созревания поздних трахеид температура воздуха опускается ниже определенных пороговых значений в годы формирования светлых колец. В результате чего процессы утолщения вторичной клеточной стенки замедляются или останавливаются. Этот меха-

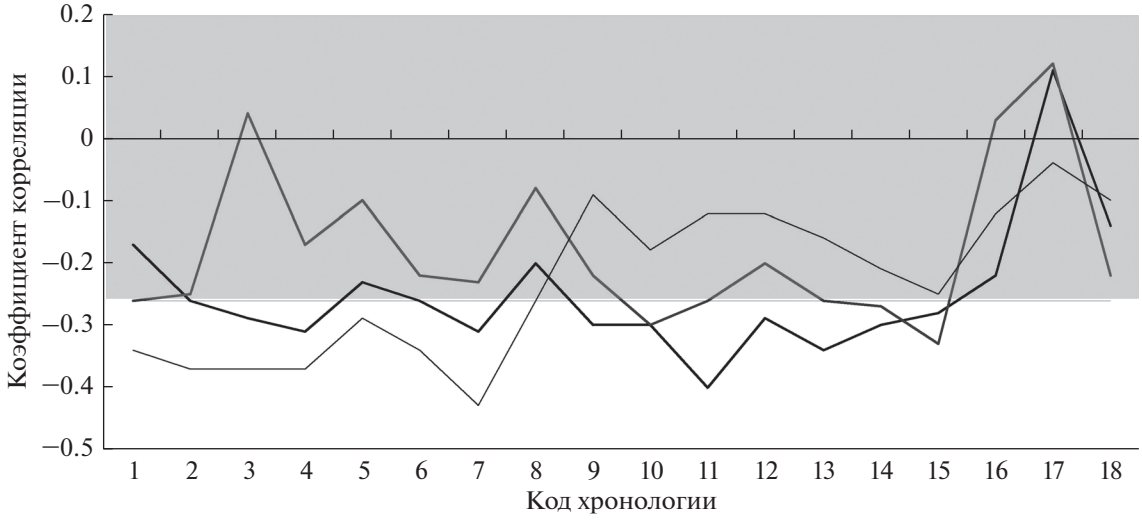

Рис. 5. Корреляции между температурой июня (черная линия), июля (серая линия) и августа (черная тонкая линия) и хронологиями светлых колец. Заливка серым – статистически недостоверные значения, на белом фоне – значимые коэффициенты, $p < 0.05$. 1–18 – точки отбора образцов (см. рис. 1).

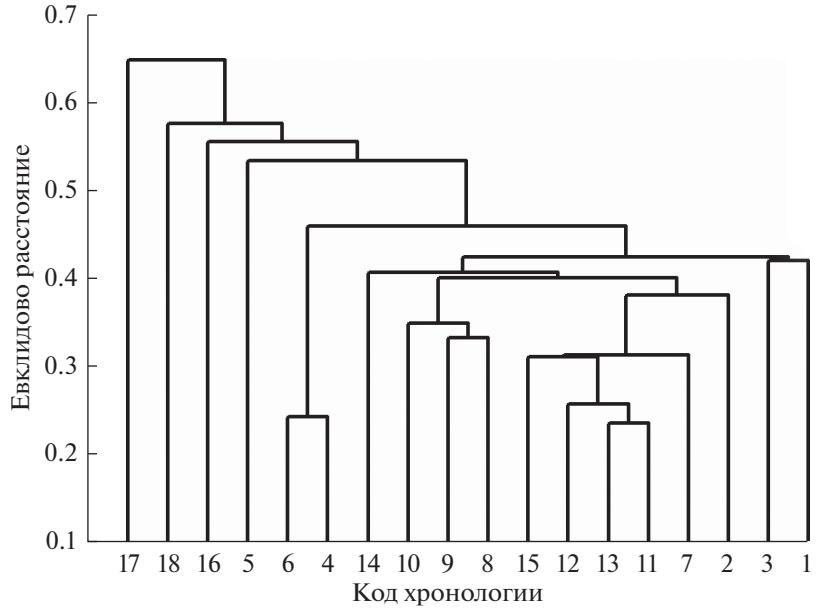

Рис. 6. Кластерный анализ коэффициентов корреляции хронологий светлых колец лиственницы с температурой воздуха в сибирской лесотундре. 1–18 – точки отбора образцов (см. рис. 1).

низм формирования светлых колец подтверждается полученными корреляциями с температурой воздуха: в западной части профиля температура августа является одним из основных факторов, влияющих на формирование светлых колец. Температура августа имеет пороговое значение в пределах 9°С, ниже которого погодные условия августа способствуют формированию светлых колец [16]. Это пороговое значение температуры достигается в районе 100°–110° в.д., далее на восток наблюдается понижение средней месячной температуры августа ниже 9°С. Так как на севере Восточной Сибири температура августа ниже 9°С, то в таких условиях формирование слоя прироста в августе не происходит.

Несмотря на многочисленные свидетельства, что на формирование светлых колец в высоких широтах в основном влияют температуры конца вегетационного сезона [14, 16, 26, 27], в Сибирской Субарктике выявлены связи между формированием светлых колец и температурой июня. В

западной части профиля связи хронологий по светлым кольцам с температурой июня отмечаются редко, однако после 101° в.д. (точка 8) связи выявляются на каждом местообитании.

Светлые кольца у лиственницы, произрастающей от 101° в.д., характеризуются преобладанием колец с тонкой зоной поздней древесины, вплоть до полного ее отсутствия. Следовательно, период, когда камбий откладывает материнские клетки поздних трахеид, становится экстремально коротким, несмотря на последующее достаточное время на созревание вторичной стенки поздней древесины. Однако не исключено, что август в Восточной Сибири также является холодным в годы формирования светлых колец.

В западной части профиля июнь достаточно холодный и, скорее всего, мало влияет на пролиферацию клеток ксилемы, так как годичный прирост в Западной Сибири зависит в основном от температуры июля и значительно меньше от температуры июня. Увеличение влияния температуры июня с продвижением на восток показано в исследованиях ширины годичного кольца [4]. У древесно-кольцевых хронологий лиственницы, произрастающей в восточной части профиля, растет корреляция с температурой июня и уменьшается с температурой июля. Это связано с ростом вдоль градиента температуры июня выше 8°С и смещением сроков начала вегетации на июнь.

Холодный июнь в восточной части профиля означает либо задержку вегетационного сезона, либо длительное похолодание и даже поздние весенние заморозки после инициации роста. В результате происходит существенное уменьшение вегетационного сезона, которое достигает критических значений именно на востоке Сибири [4].

В самой восточной части профиля три последних хронологии профиля не имеют связей с температурой воздуха. В настоящий момент этот факт трудно объяснить, однако древесно-кольцевые хронологии также не имеют связей с температурой летних месяцев [4]. В районе требуются дополнительные исследования условий роста лиственницы.

На основе анализа отклика ширины годичного кольца на температуру летних месяцев в Урало-Сибирской Субарктике ранее были выделены пять районов – Западно-Сибирский, Таймырский, Анабарский, Яно-Колымский и Анюйский [4]. В пределах этих районов связи радиального прироста лиственницы и температуры являются сходными. В Западно-Сибирском районе ширина годичных колец связана в основном с температурой июля. В Таймырском районе кроме корреляции с июльской температурой отмечено появление значимых коэффициентов функций отклика с июнем. Далее на восток, в Анабарском районе, хронологии по ширине колец имеют сигнал июня и частично июля. Яно-Колымский район характеризуется устойчивыми связями ширины годичных колец и температуры июня, а влияние июльских температур не выявлено. Анюйский район отличается отсутствием тесных связей с летними температурами [4].

Результаты этой работы показывают, что не только ширина кольца, но и отклик хронологий светлых колец на температуру летних месяцев позволяют выделить эти же физико-географические районы. Группа хронологий 1–3 соответствует Западно-Сибирскому; 4–6 – Таймырскому; 8–10 – Анабарскому; 11–15 – Яно-Колымскому и 16–18 – Анюйскому районам.

Динамика отклика как радиального прироста, так и светлых колец на температуру обусловлена особенностями атмосферной циркуляции в этих районах. Западно-Сибирский и Таймырский район находятся под влиянием воздушных масс Атлантического океана с большим количеством осадков во второй половине вегетации – в июле и августе. Далее на восток (Анабарский и Яно-Колымский районы) наблюдается сублимация снежного покрова в весенний период, уменьшение общего количества осадков и увеличивается значение региональной циркуляции и радиационного охлаждения атмосферы [6].

Предыдущие исследования климатического сигнала в долготном градиенте температуры на территории Западной Сибири показали, что хронологии светлых колец на расстоянии около 600 км имеют общий климатический сигнал и не показывают изменения континентальности климата на таком расстоянии [7]. Это может быть связано с тем, что в Западной Сибири хронологии светлых колец принадлежат одному кластеру на основании коэффициентов корреляции с температурой воздуха. Следовательно, хронологии светлых колец на относительно небольшом расстоянии по сравнению с древесно-кольцевыми хронологиями менее чувствительны к континентальному градиенту температуры.

ВЫВОДЫ

Светлые кольца у лиственницы формируются повсеместно в северной лесотундре Сибири в ответ на экстремально короткое или холодное лето. С продвижением на восток изменяются морфолого-анатомические характеристики светлых колец: в Западной Сибири чаще формируются светлые кольца с широкой зоной поздней древесины, в Восточной Сибири – с узкой поздней древесиной. В Западной Сибири основным периодом, влияющим на формирование светлых колец, будет окончание вегетационного периода (август), в Восточной Сибири – начало вегетации (июнь). Выявлена постепенная смена климатического

сигнала летних месяцев в светлых кольцах лиственницы в связи с увеличением континентальности климата. Выявлены группы хронологий со сходным климатическим сигналом, которые делят Сибирскую Субарктику на пять крупных районов. Есть группа хронологий светлых колец на самом востоке Сибири, у которой не выявлены связи с температурой.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 20-05-00569) и государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН № АААА-А19-119031890086-0.

FUNDING

The work was partially financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 20-05-00569) and the state-ordered research theme of the Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (no. АААА-А19-119031890086-0).

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность членам международной экспедиции 1991–1992 гг. проекта ССДП за сбор образцов древесины.

ACKNOWLEDGMENTS

The author expresses his deep gratitude to members of the 1991–1992 international expedition of Siberian Subarctic Dendrochronological Project for collecting of wood samples.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абаимов А.П., Бондарев А.И., Зырянова О.А., Шитова С.А.* Леса Красноярского Заполярья. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1997. 208 с.
2. *Агафонов Л.И., Гурская М.А.* Влияние долготного градиента температур на радиальный прирост основных лесных пород северо-западной Сибири // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012. № 5. С. 48–60.
3. *Антонова Г.Ф.* Рост клеток хвойных. Новосибирск: Наука, 1999. 232 с.
4. *Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С.* Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике. Новосибирск: Изд. фирма СО РАН, 1996. 246 с.
5. *Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В.* Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Всерос. научно-исслед. ин-т гидромет. информации. http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных
6. *Голубчиков Ю.Н.* География горных и полярных стран. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 304 с.
7. *Гурская М.А., Агафонов Л.И.* Реконструкция коротких вегетационных сезонов на севере Западной Сибири по хронологиям светлых годичных колец деревьев // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 42–53.
8. *Гурская М.А., Бенькова В.Е.* Типы светлых колец у *Larix sibirica* Ledeb. и *L. Gmelinii* (Rupr.) Rupr. на верхней границе леса в Урало-Сибирской субарктике // Бот. журн. 2013. № 98 (8). С. 103–120.
9. *Дылис Н.В.* Лиственница. Библиотечка “Древесные породы”. М.: Лесн. промышленность, 1981. 96 с.
10. *Поздняков Л.К.* Даурская лиственница. М.: Наука, 1975. 153 с.
11. *Тихомиров В.Н., Коропачинский И.Ю., Фалалеев Э.Н.* Лиственничные леса Сибири и Дальнего Востока. М.–Л.: Гослесбумиздат, 1961. 164 с.
12. *Chytry M., Danihelka J., Kubešova S., Lustyk P., Ermakov N., Hajek M., Hajkova P., Koči M., Otypkova Z., Roleček J., Řezníčkova M., Šmarda P., Valachovič M., Popov D., Pišut I.* Diversity of forest vegetation across a strong gradient of climatic continentality: Western Sayan Mountains, southern Siberia // Plant Ecology. 2008. № 196. P. 61–83.
13. *Driscoll D.M., Fong J.M.Y.* Continentality: a basic climatic parameter re-examined // Int. J. Climatol. 1992. № 12. P. 185–192.
14. *Filion L., Payette S., Gauthier L., Boutin Y.* Light rings in sub-arctic conifers as a dendrochronological tool // Quat. Res. 1986. № 26. P. 272–279.
15. *Girardin M.P., Tardif J.C., Epp B., Conciatori F.* Frequency of cool summers in interior North America over the past three centuries // Geophys. Res. Lett. 2009. № 36. P. 5–11.
16. *Gurskaya M.A.* Effect of summer monthly temperatures on light tree ring formation in three larch species (*Larix*) in the northern forest-tundra of Siberia // Russian J. of Ecol. 2019. № 50 (4). P. 343–351.
17. *Gurskaya M.A., Hallinger M., Eckstein D., Wilmking M.* Extreme cold summers in Western Siberia derived from light rings of conifers // Phyton. 2012. № 52 (1). P. 101–119.
18. *Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // Tree-Ring Bulletin. 1983. № 43. P. 69–78.
19. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field C.B., Barros V., Stocker T.F., et al., Eds. Cambridge: University Press, 2012. 582 p.
20. Kaennel M., Schweingruber F.H. *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Ed. Bern: Haupt, 1996. 467 p.
21. *Linderholm H.W., Solberg B.O., Lindholm M.* Tree-ring records from central Fennoscandia: the relationship between tree growth and climate along a west–east transect // The Holocene. 2003. № 13 (6). P. 887–895.
22. *Miyamoto Y., Griesbauer H.P., Green D.S.* Growth responses of three coexisting conifer species to climate across wide geographic and climate ranges in Yukon

and British Columbia // For. Ecol. Manage. 2010. № 259. P. 514–523.

23. *Rinn F.* TSAP Time Series Analysis and Presentation. Ver. 3.0. Reference Manual. Heidelberg, Germany: Frank Rinn Distribution, 1996. 262 p.
24. *Rossi S., Deslauriers A., Gricar J., et al.* Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates // Glob. Ecol. Biogeogr. 2008. № 17. P. 696–707.
25. *Szeicz J.M.* White spruce light rings in northwestern Canada // Arctic and Alpine Res. 1996. № 28 (2). P. 184–189.
26. Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. *Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments*. Ecological Studies, vol. 183. Springer, 2006. 356 p.
27. *Van Der Veken S., Bossuyt B., Hermy M.* Climate gradients explain changes in plant community composition of the forest understory: an extrapolation after climate warming // Belgian J. of Botany. 2004. № 137 (1). P. 55–69.
28. *Wang L., Payette S., Bégin Y.* A quantitative definition of light rings in black spruce (*Picea mariana*) at the arctic treeline in northern Quebec, Canada // Arctic, Antarctic and Alpine Res. 2000. № 32. P. 324–330.
29. *Yamaguchi D.K., Filion L., Savage M.* Relationship of temperature and light ring formation at subarctic treeline and implications for climate reconstruction // Quat. Res. 1993. № 3. P. 256–262.

Chronology of Larch Light Rings in the North of Siberia: Reflection of the Climate Continentality Degree

M. A. Gurskaya*

Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

**e-mail: mgurskaya@yandex.ru*

Larches form light rings on 18 study sites at the Siberian forest-tundra on 4000 km long profile. The chronologies of the light rings were built for the period provided by meteorological observations (1944–1992). One group of common years with light rings was found for area of Western Siberia and the western part of Central Siberia. The second group of common years is confined to the eastern part of Central Siberia. The third group is in Eastern Siberia. The formation of light rings is associated with a low temperature of June, July, and August. Differences in the climatic signal of larch light rings from different geographical regions of the Siberian Subarctic have been shown. Temperatures of the end of the growth period (August) have the main influence on light ring formation in Western Siberia, and of the beginning of the growth period (June)—in Eastern Siberia. Differences between temperature responses of light ring chronologies due to June temperature increasing correspond to the increase in continental climate from west to east in Siberia. Revealed clusters of light ring chronologies have similar signal and divide the Siberian Subarctic into five large areas. These five areas are consistent with the areas of tree-ring chronologies.

Keywords: northern forest-tundra, Siberia, larch, light rings, continentality, temperature

REFERENCES

1. Abaimov A.P., Bondarev A.I., Zyryanova O.A., Shitova S.A. *Lesa Krasnoyarskogo Zapolyar'ya* [Forest of Krasnojarsk's Polar Region]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1997. 208 p.
2. Agafonov L.I., Gurskaya M.A. Influence of longitudinal gradient to adial growth of main forest tree species in North-Western Siberia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2012, no. 5, pp. 48–60. (In Russ.).
3. Antonova G.F. *Rost kletok khvoinykh* [Growth of Coniferous Cells]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1999. 232 p.
4. Vaganov E.A., Shiyatov S.G., Mazepa V.S. *Dendroklimaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoi Subarktike* [Dendrochronological Studies in Ural-Siberian Subarctic]. Novosibirsk: SO RAN Publ., 1996. 246 p.
5. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T., Shvets N.V. Description of Mean Temperature Data on Russian Weather Stations. Database State Registration Certificate no. 2014621485. Available at: http://meteo.ru/data/156-temperature#opisanie-massiva-dannyh (accessed: 09.11.2020). (In Russ.).
6. Golubchikov Yu.N. *Geografiya gornykh i polyarnykh stran* [Geography of Mountain and Polar Countries]. Moscow: Mosk. Gos. Univ. Publ., 1996. 304 p.
7. Gurskaya M.A., Agafonov L.I. Reconstruction of short growth periods on the north of Western Siberia based on light rings of coniferous trees. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2013, no. 1, pp. 42–53. (In Russ.).
8. Gurskaya M.A., Ben'kova V.E. Types of light rings in Larix sibirica Ledeb. and L. Gmelinii (Rupr.) Rupr. at upper tree-line in Ural-Siberian Subarktic. *Botan. Zh.*, 2013, vol. 98, no. 8, pp. 103–120. (In Russ.).
9. Dylis N.V. *Listvennitsa. Bibliotechka "Drevesnye porody"* [Larch. "Tree Species" Library]. Moscow: Lesnaya prom. Publ., 1981. 96 p.
10. Pozdnyakov L.K. *Daurskaya listvennitsa* [Gmelin Larch]. Moscow: Nauka Publ., 1975. 153 p.
11. Tihomirov V.N., Koropachinskii I.Yu., Falaleev Ye.N. *Listvennichnye lesa Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Larch Forests in Siberia and Far East]. Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat Publ., 1961. 164 p.

12. Chytry M., Danihelka J., Kubešova S., Lustyk P.,Ermakov N., Hajek M., Hajkova P., Koči M., Otypkova Z., Roleček J., Řezničkova M., Šmarda P., Valachovič M., Popov D., Pišut I. Diversity of forest vegetation across a strong gradient of climatic continentality: Western Sayan Mountains, southern Siberia. *Plant Ecol.*, 2008, vol. 196, pp. 61–83.
13. Driscoll D.M., Fong J.M.Y. Continentality: A basic climatic parameter re-examined. *Int. J. Climatol.*, 1992, no. 12, pp. 185–192.
14. Filion L., Payette, S., Gauthier L., Boutin Y. Light rings in sub-arctic conifers as a dendrochronological tool. *Quat. Res.*, 1986, no. 26, pp. 272–279.
15. Girardin M.P., Tardif J.C., Epp B., Conciatori F. Frequency of cool summers in interior North America over the past three centuries. *Geophys. Res. Lett.*, 2009, no. 36, pp. 5–11.
16. Gurskaya M.A. Effect of summer monthly temperatures on light tree ring formation in three larch species (Larix) in the northern forest-tundra of Siberia. *Rus. J. Ecol.*, 2019, no. 50(4), pp. 343–351.
17. Gurskaya M. A., Hallinger M., Eckstein D., Wilmking M. Extreme cold summers in Western Siberia derived from light rings of conifers. *Phyton*, 2012, no. 52 (1), pp. 101–119.
18. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.*, 1983, vol. 43, pp. 69–78.
19. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field C.B., Barros V., Stocker T.F., et al., Eds. Cambridge Univ. Press, 2012. 582 p.
20. Kaennel M., Schweingruber F.H. *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, and Russian*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Ed. Bern: Haupt, 1996. 467 p.
21. Linderholm H.W., Solberg B.O., Lindholm M. Tree-ring records from central Fennoscandia: the relationship between tree growth and climate along a west–east transect. *The Holocene*, 2003, no 13(6), pp. 887–895.
22. Miyamoto Y., Griesbauer H.P., Green D.S. Growth responses of three coexisting conifer species to climate across wide geographic and climate ranges in Yukon and British Columbia. *For. Ecol. Manage*, 2010, no. 259, pp. 514–523.
23. Rinn F. *TSAP Time Series Analysis and Presentation. Version 3.0. Reference Manual*. Heidelberg, Germany: Frank Rinn Distribution, 1996. 262 p.
24. Rossi S., Deslauriers A., Gricar J. et al. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 2008, vol. 17, no. 6, pp. 696–707.
25. Szeicz J.M. White spruce light rings in northwestern Canada. *Arct. Alp. Res.*, 1996, pp. 184–189.
26. Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. *Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environments*. Ecological Studies, vol. 183. Springer, 2006. 356 p.
27. Van Der Veken S., Bossuyt B., Hermy M. Climate gradients explain changes in plant community composition of the forest understory: an extrapolation after climate warming. Belg. J. Bot., 2004, vol. 137, no. 1, pp. 55–69.
28. Wang L., Payette S., Bégin Y. A quantitative definition of light rings in black spruce (Picea mariana) at the arctic treeline in northern Quebec, Canada. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, 2000, vol. 32, no. 3, pp. 324–330.
29. Yamaguchi D.K., Filion L., Savage M. Relationship of temperature and light ring formation at subarctic treeline and implications for climate reconstruction. *Quat. Res*. 1993, no. 3, pp. 256–262.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 97–108

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 551.583.7 551.583.13 550.93 550.423 551.794

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОДОВЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА АЛТАЙСКОГО РЕГИОНА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 1400 ЛЕТ ПО ДАННЫМ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МИКРОСТРАТИГРАФИИ ЛЕНТОЧНЫХ ГЛИН оз. КУЧЕРЛИНСКОЕ

© 2021 г. А. В. Дарьин[a, *], Г. Чу[b], Ц. Сан[c], В. В. Бабич[a], И. А. Калугин[a], Т. И. Маркович[a], В. С. Новиков[a], М. А. Максимов[d], Ф. А. Дарьин[e], Д. С. Сороколетов[e], Я. В. Ракшун[e], А. А. Гогин[f], Р. А. Сенин[f]

[a]*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия*

[b]*Институт геологии и геофизики АН Китая, Пекин, Китай*

[c]*Национальный исследовательский центр геоанализа, Пекин, Китай*

[d]*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия*

[e]*Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия*

[f]*Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Россия*

*****e-mail: avd@igm.nsc.ru*

Поступила в редакцию 24.04.2020 г.
После доработки 24.08.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Приледниковое озеро Кучерлинское (Алтай) содержит ленточные глины, что позволяет строить точные возрастные модели подсчетом слоев и верифицировать их изотопными данными Cs-137, Pb-210 и C-14. Результаты сканирующего микро-РФА на пучках синхротронного излучения были использованы для построения временных рядов более 20 породообразующих и следовых элементов в разрезе донных отложений. Сравнение с метеоданными показало, что коэффициент корреляции годовой температуры с реконструкцией на интервале обучения (1940–2016 гг.) равен +0.59, что является значимой величиной ($n = 76$, $p = 0.99$). При использовании 10-летних сглаженных данных коэффициент корреляции достигает величины +0.84, при этом погрешность температурной реконструкции снижается до величины ±0.52°C. Сравнение полученной реконструкции с глобальными для Северного полушария для последних 1400 лет показывает наличие общих трендов и экстремумов.

Ключевые слова: Алтай, озеро Кучерлинское, донные осадки, геохимия, микро-РФА, синхротронное излучение, реконструкция температуры

DOI: 10.31857/S2587556621010039

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Реконструкции температурных аномалий высокого временного разрешения для Северного полушария за последние тысячелетия, опубликованные в XXI в. [17, 21, 23, 24, 27, 28, 30], показывают принципиальное изменение представлений о климате прошлого, ранее обобщенных М. Манном в 1999 г. [26].

Переход от "хоккейной клюшки" Манна с так называемым беспрецедентным глобальным потеплением XX в. до почти синусоидальных (квазициклических) вариаций температуры последних тысячелетий обусловлен появлением количественных региональных температурных реконструкций высокого разрешения длиной более 500 лет, которые были использованы при построении глобальных климатических реконструкций. При этом, по нашему мнению, используемые реконструкции должны отвечать следующим требованиям: воспроизводимость исходных данных; высокое временно́е разрешение (год на тысячелетней шкале); количественная калибровка по инструментальным метеоизмерениям; реалистичная оценка погрешностей как временной шкалы, так и реконструируемых климатических параметров.

Озерные донные осадки во многих случаях являются палеоархивами, позволяющими получить заданные параметры реконструкций. Для исследований с высоким временны́м разрешением необходимо использовать тонкослоистые донные осадки, поскольку временно́е разрешение для неслоистых отложений обычно превышает десятки лет. Особенный интерес исследователей во всем мире вызывают донные отложения с годовыми

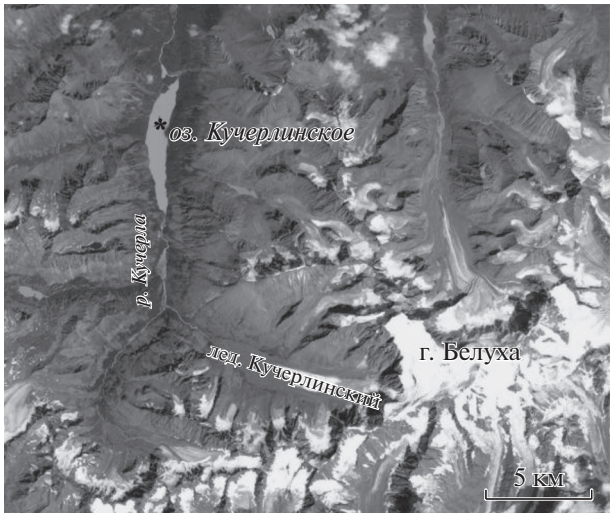

Рис. 1. Космический снимок района оз. Кучерлинское. Звездочкой отмечено место отбора керна в 2018 г.

слоями (варвами), обеспечивающими при должном подходе и правильной интерпретации требуемый уровень детализации и точности реконструкций [33]. Ленточные глины (*varved clays*) встречаются во многих кайнозойских отложениях Горного Алтая и представляют большой интерес для гляциологических исследований [10].

В приледниковых озерах ленточные глины образуются сезонными поставками ледниковой мути и состоят из крупных алевритовых частиц (весенне-летний слой) и мелкозернистой глины, осаждающейся в зимний период. Использование современных аналитических методов позволяет исследовать такие донные отложения с годовым, а иногда и сезонным разрешением, что открывает новые подходы в палеоклиматических исследованиях [13, 15]. Необходимым требованием к таким работам является использование инструментальных аналитических методик с субмиллиметровым пространственным разрешением, таких как гиперспектральная спектроскопия [16], микро-РФА [18, 29] и микро-РФА с синхротронным возбуждением [5].

Высокое временно́е разрешение позволяет проводить прямое сравнение набора полученных прокси с данными региональных метеонаблюдений на интервале последнего столетия с нахождением климатических индикаторов и построением трансферных функций для реконструируемых параметров [2]. Использование фокусирующей рентгеновской оптики в РФА позволяет перейти на уровень субмикронного пространственного разрешения и исследовать внутреннее строение отдельных годовых слоев с получением информации о сезонных вариациях климатических прокси и построением литолого-геохимических моделей годового цикла осадкообразования [6].

Исследование современных озер с ледниковыми глинами позволяет изучать изменения окружающей природной среды на временны́х интервалах последних тысячелетий с годовым временны́м разрешением. Одним из ключевых преимуществ таких объектов является возможность построения временны́х шкал, по точности и правильности сопоставимых с дендрохронологическими. Находки новых озер и быстрое развитие современных методов анализа открывают высокий потенциал ленточных глин для палеоклиматических реконструкций [31].

В данной работе представлена 1400-летняя количественная реконструкция среднегодовых температур воздуха Алтайского региона, полученная при исследовании ежегодно ламинированных донных осадков приледникового оз. Кучерлинское с использованием современных методик аналитической микростратиграфии – сканирующего рентгенофлуоресцентного анализа с возбуждением синхротронным излучением (РФА СИ) с субмиллиметровым пространственным разрешением.

Район исследований, геология, геоморфология

Озеро Кучерлинское располагается в южной части Горного Алтая на северном макросклоне Катунского хребта. Катунский хребет (2800–4500 м) – один из крупнейших центров оледенения Алтая. Высота снеговой линии на склонах Катунского хребта составляет порядка 2600 м [8]. С вершины и склонов высочайшей точки Алтая г. Белухи (4506 м) спускаются несколько крупных долинных ледников, один из которых – ледник Кучерлинский.

Кучерлинское озеро расположено в верховьях долины р. Кучерлы в гребневой части Катунского хребта на территории природного парка “Белуха” и имеет ледниковое питание. Основной объем воды поступает с Кучерлинского ледника. Озеро расположено на высоте 1790 м над уровнем моря. Длина озера составляет 5 км, ширина – 1 км, максимальная глубина доходит до 45 м. Общая площадь 321 га. Озеро является проточным; в него впадает р. Кучерла, а также три небольших ручья, которые стекают с западного и восточного склонов котловины. Вытекает из озера одна река – Кучерла (рис. 1). На расстоянии 20 км от озера находится метеостанция Кара-Тюрек с непрерывными рядами метеонаблюдений с 1940 г.

Породы территории водосборного бассейна Кучерлинского озера в основном представлены аккемской и кучерлинской свитами, сложенными слоистыми зеленовато-серыми полевошпато-

во-кварцевыми известковистыми песчаниками, алевропесчаниками и алевролитами [12].

Климат региона

Горный Алтай имеет умеренно-континентальный климат с холодной зимой и теплым летом. Существенное влияние на климат региона оказывает рельеф, который образует вертикальную климатическую зональность – зону низкогорного климата (до 500–600 м), зону среднегорного климата (от 500 до 1500 м и более) и зону высокогорного климата (свыше 2000–2500 м). Необходимо отметить, что в пределах Горного Алтая с северо-запада на юго-восток происходит аридизация климата, наблюдается уменьшение количества выпадающих осадков [9].

В исследуемом регионе, по данным метеостанции Кара-Тюрек, среднегодовые температуры за период 1940–2017 гг. колебались от –7.6 до –3.4°С. Максимальные среднемесячные летние температуры достигали отметки 9.9°С, а зимние доходили до –25.2°С . При этом количество атмосферных выпадений колебалось от 835 до 368 мм (http://meteo.ru/data). Метеостанция Кара-Тюрек находится на 800 м выше оз. Кучерлинского (2601 м над ур. м.), поэтому абсолютные величины инструментальных метеоданных могут отличаться от территории озера, но относительные изменения и общий тренд погодно-климатических параметров совпадает.

МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Отбор керна и пробоподготовка

Керн донных осадков оз. Кучерлинское был получен со льда с использованием ударной трубки в марте 2018 г. Длина керна, отобранного в самой глубокой части озера с глубины 45 м, составила 1120 мм. В процессе получения керна особое внимание обращалось на сохранность границы вода–осадок, что позволяло в дальнейшем вести отсчет годовых слоев от года отбора.

После отбора трубка с керном была плотно закрыта снизу и оставлена в вертикальном положении на несколько часов в теплом помещении. Затем вода из верхней части трубки была удалена и верх плотно закрыт без деформации керна. Керн был доставлен в лабораторию Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск) в вертикальном положении. Проведенные манипуляции позволили максимально сохранить верхнюю часть керна от повреждений.

В лабораторных условиях керн был вскрыт вдоль оси отбора. Половина керна была разрезана на дискретные образцы с шагом 10 мм. Вторая половина использована для изготовления твердых препаратов, пропитанных эпоксидной смолой. Подготовка твердых препаратов проводилась по методике, описанной в [2].

Из твердых препаратов для всего интервала керна были изготовлены плоскопараллельные образцы для микро-РФА толщиной 2 мм и оптические шлифы, перекрывающие три интервала керна с визуально наблюдаемыми слоями: верхний (0–170 мм), средний (480–650 мм) и нижний (940–1110 мм).

Варвохронология

Подсчет слоев проводился по фотографиям исходного (влажного) керна на интервалах с визуально выделяемыми слоями и по фотографиям оптических шлифов на трех выше указанных интервалах. Фотографии оптических шлифов были сделаны в двух вариантах – в отраженном свете без увеличения (оптический сканер) и в проходящем свете в оптическом микроскопе с 2.5-кратным увеличением. Подсчет проводился по визуально выделяемым парам – светлый–темный слой – двумя исследователями, независимо друг от друга. Полученные данные усреднялись и использовались для построения возрастной модели. Детально процедуры описаны в [19].

В ряде спорных случаев в дополнение к визуальным данным при подсчете слоев были использованы данные сканирующего микро-РФА на пучках СИ с субмикронным пространственным разрешением [3]. Исследования отдельных интервалов керна проводились с использованием рентгеновской концентрирующей оптики, позволяющей фокусировать пучок возбуждающего излучения до размеров 15–20 микрон. Используемый шаг сканирования в 20–100 мкм позволял получить профили изменения содержания элементов внутри отдельных годовых слоев и находить границу их раздела.

Наиболее эффективным геохимическим индикатором границ годовых слоев в приледниковых пресноводных озерах является отношение *Rb/Sr*, отражающее размер частиц в осадке. Обоснование выбора *Rb/Sr* отношения как индикатора годовых слоев в осадках приледниковых озер рассмотрено ранее в [6]. Подсчет слоев в осадках оз. Кучерлинское с использованием отношения *Rb/Sr* показан в работе [4].

Изотопные исследования

Распределения активности изотопов Cs-137 и Pb-210, используемые для верификации датировки верхнего интервала керна (0–200 мм), сделаны в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск) с использованием полупроводниковой низкофоновой гамма-спектрометрии на коаксиальном Ge-детекторе с низкофоновым криостатом по стан-

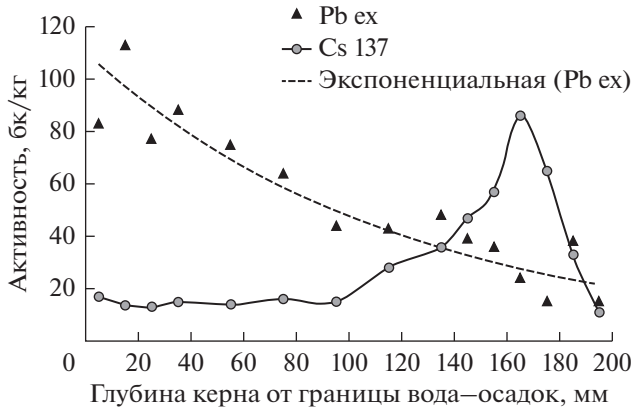

Рис. 2. Распределение активности изотопов Cs-137 и Pb-210 в верхней части (интервал 0–200 мм) керна донных отложений оз. Кучерлинское.

дартной методике (аналитик М.С. Мельгунов). Результаты представлены на рис. 2.

Для верификации возрастной модели на всей глубине керна были сделаны анализы двух образцов керна на радиоуглеродный возраст (C-14). Анализ образца, взятого в интервале глубин 1050–1060 мм от верха керна, выполнен в ЦКП "Геохронология кайнозоя", Новосибирск (https://archaeology.nsc.ru/proekty/ckp_gk/). Образец 1000–1010 мм исследован в лаборатории Beta analytics, Майами, США (https://www.radiocarbon.com/).

Аналитическая микростратиграфия

Методики аналитической микростратиграфии донных осадков с использованием сканирующего РФА на пучках синхротронного излучения (РФА СИ) были развиты авторским коллективом в последние десятилетия и подробно представлены в ряде публикаций [5, 7, 20].

Для анализа были использованы 2-мм плоскопараллельные образцы (пластинки) с пришлифованной поверхностью, приготовленные из твердых препаратов донных осадков. При этом пластинки для микро-РФА и для оптических шлифов были вырезаны из одного блока и имели одинаковые последовательности годовых слоев. Это давало возможность дополнительного контроля за точностью привязки данных микро-РФА к датированным слоям донных осадков.

Всего были получены данные о распределении 24 породообразующих и следовых элементов: K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pb, Th, U. Также регистрировалось отношение упруго-/неупруго-рассеянного на образце излучения (Coh/Incoh) как показателя рентгеновской плотности исходного керна. Таким образом, в каждой точке сканирования регистрировался набор из 25 литолого-геохимических индикаторов (мульти-прокси), отражающих изменение состава донных осадков озера во времени.

В данной работе представлены результаты аналитических измерений, полученные в Сибирском центре синхротронных и терагерцовых исследований (ИЯФ СО РАН, Новосибирск, https://ssrc.biouml.org/#!), Курчатовском комплексе синхротронно-нейтронных исследований (КИСИ-Курчатов, Москва, http://kcsni.nrcki.ru/) и Шанхайском синхротронном центре (SSRF, http://www.ssrf.ac.cn/) в 2018–2020 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Построение возрастной модели и временны́х рядов геохимических данных

Полученные изотопные данные позволяют оценить положение максимальной активности Cs-137 в 160–170 мм от границы вода–осадок (см. рис. 2). Это соответствует времени глобальных атмосферных выпадений после ядерных испытаний на Новоземельском полигоне 1961–1962 гг. [14]. Данные варвохронологии (подсчет слоев) в нескольких вариантах дают для глубины 165 мм разброс оценок от 1957 до 1965 г. При этом среднее значение 1961 г. ±4 полностью совпадает с изотопными данными, что подтверждает предположение о годовой природе наблюдаемых слоев.

Возрастная модель для интервала керна 0–200 мм (рис. 3б) была построена по данным 3-кратного независимого подсчета визуально выделяемых годовых слоев на этом интервале. Правильность полученной модели подтверждается хорошим совпадением с результатами изотопных анализов – распределением активности Cs-137 и Pb-210. Подробно построение возрастной модели на этом интервале рассмотрено в [19].

Возрастная модель на интервале керна 200–1120 мм (рис. 3а) построена по данным подсчета визуально выделяемых слоев на фото исходного (влажного) керна и исследования шлифов на интервалах 480–650 и 940–1110 мм. Полученные данные были усреднены и аппроксимированы экспоненциальной функцией. Правильность модели подтверждается совпадением с радиоуглеродными датировками.

С использованием полученной возрастной модели был проведен пересчет линейной глубины керна в возрастную (лет назад). После этого дробные значения возраста были переведены в целочисленные значения. Все данные об элементном составе внутри одного года усреднялись и приписывались этому году в виде одного значения. Поскольку отбор керна осуществлялся в марте 2018 г. и не было отмечено потерь верхней части, то начало временной шкалы (верх керна) датируется 2017 г.

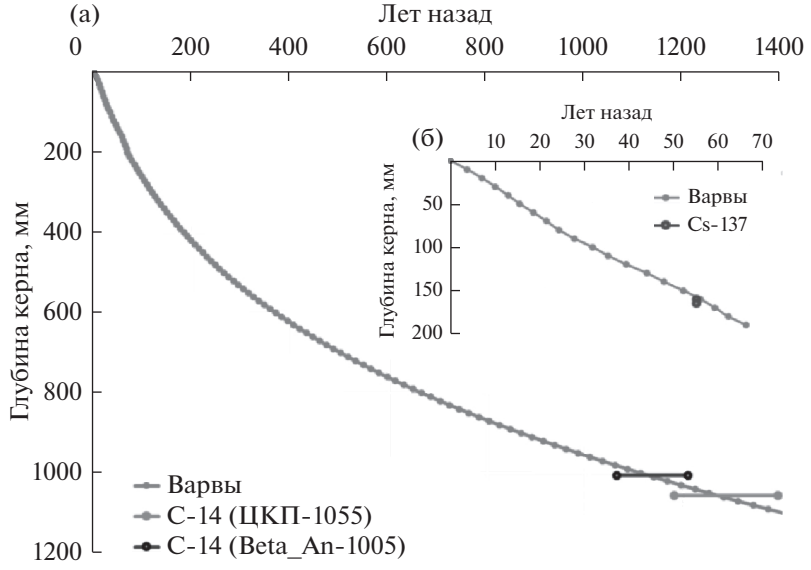

Рис. 3. (а) – возрастная модель (глубина керна – возраст слоя осадка) для керна Куч_2018 на полную глубину опробования. Модель построена по данным варвохронологии и верифицирована датировками по C-14. "ЦКП–1055" – анализ образца с глубины 1050–1060 мм выполнен в ЦКП "Геохронология кайнозоя". "Beta_An-1005" – анализ образца с глубины 1000–1010 мм выполнен в Beta Analytic.inc. (б) – возрастная модель для верхнего интервала керна 0–200 мм по данным варвохронологии и изотопных анализов Cs-137.

Таким образом были построены временны́е ряды для всех анализированных элементов.

Создание трансферной функции, реконструкция температуры

Величина шага сканирования определяется средней линейной скоростью (мм/год) осадконакопления на данном интервале керна и подбирается такой, чтобы на интервал одного года приходилось 3–5 точек. В каждой точке получается набор концентраций более 25 элементов. Из них сначала отбраковываются данные по критерию – статистическая значимость аналитического сигнала (отношение пик/фон в исходной спектрограмме). Оставшийся массив аналитических данных, привязанных к линейной шкале (мм глубины керна от границы вода–осадок), пересчитывается во временну́ю шкалу по возрастной модели с годовым временны́м разрешением. Для каждого линейного интервала керна, соответствующего одному году, проводится усреднение аналитических данных, попавших в этот интервал. Таким образом, исходные данные сканирования керна превращаются во временные ряды, где каждому году приписан ряд аналитических данных.

Для поиска геохимических индикаторов, коррелированных со среднегодовыми региональными температурами, были использованы инструментальные данные ближайшей метеостанции Кара-Тюрек. С использованием методических приемов, подробно описанных в [1], методом множественной регрессии построена функция, связывающая среднегодовую температуру с литолого-геохимическими данными. Сравнение проводилось на годовой временно́й шкале. Полученная функция имеет следующий вид: $T = 0.602*Ti + 0.034*Ni - 0.742*Sr + 0.754*Y + 1.46*Nb - 0.795*Mo - 6.762$. Символы элементов обозначают концентрацию этого элемента в г/т (ppm), приписанную интервалу керна, соответствующему годовому слою при пересчете миллиметровой шкалы в годовую по используемой возрастной модели.

В рамках данной статьи авторы не пытаются рассматривать полученную функцию как цифровую литолого-геохимическую модель годового цикла осадкообразования в озере Кучерлинское. Общая модель связи элементного состава донных осадков с внешними (климатическими) воздействиями понятна и сводится к простым объяснениям. Изменение температуры и количества атмосферных осадков приводит к вариациям соотношения терригенной, органогенной, хемогенной (для соленых озер) и аэрозольной компонент донных отложений. Каждая компонента осадка имеет специфический элементный состав, и вариации соотношений компонент приводят к вариациям состава донных осадков. Для данного объекта ничтожна доля органики, озеро пресное – поэтому нет хемогенной компоненты, вклад аэрозоля невелик. Основные вариации состава донных отложений связаны с интенсивностью поступления терригенного материала – ледникового проис-

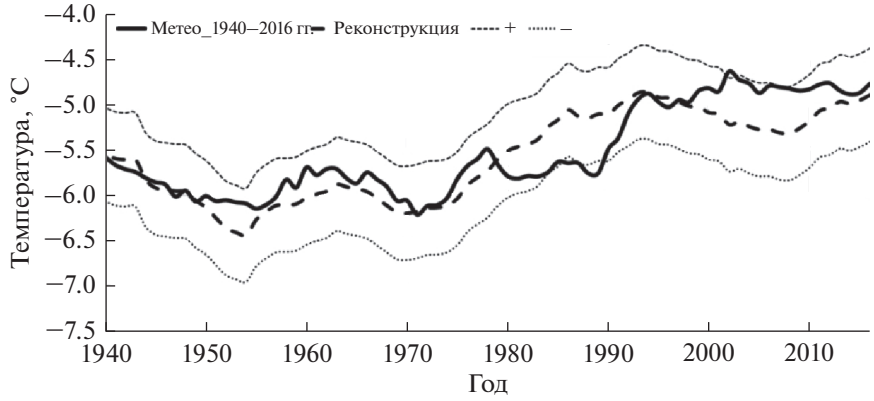

Рис. 4. Сглаженные 10-летние температуры на интервале 1940–2016 гг. (метеостанция Кара-Тюрек), реконструкция по геохимическим данным, 95% интервал погрешности реконструкции.

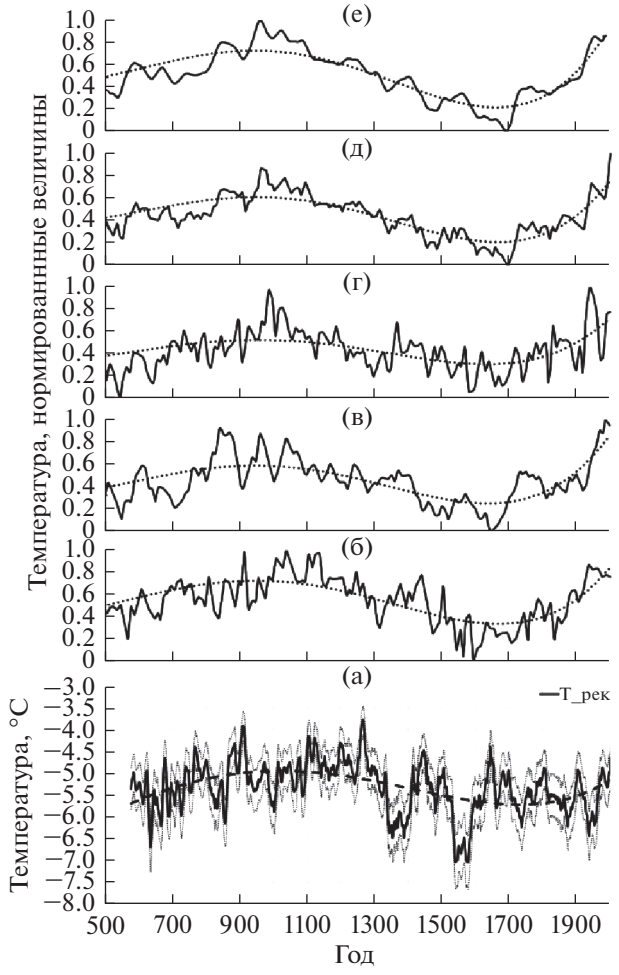

Рис. 5. Сравнение температурной реконструкции с литературными данными. (а) – реконструкция по литолого-геохимическим данным осадков оз. Кучерлинское (данная работа); (б) – Северное полушарие, A. Moberg, 2005 [28]; (в) – Китай, B. Yang, 2002 [32]; (г) – С.-В. Европа, V. Klimenko, 2014 [25]; (д) – Северное полушарие, B. Christiansen and F.C. Ljungqvist, 2012 [17]; (е) – Северное полушарие, IPCC, 2013 [24].

хождения и сносимого с бортов озера. Основными внешними факторами являются температура и атмосферные осадки. Какой из факторов будет иметь наибольший отклик определяется статистическими методами. В данном случае уравнение с более высокой корреляцией построено для температуры.

Использование полученной зависимости (трансферной функции) дает значимый коэффициент корреляции (+0.54 для $n = 77$) между инструментальной среднегодовой температурой воздуха на интервале обучения (1940–2016 гг.) и реконструкцией по составу донных осадков для этого же временно́го интервала с ошибкой в 1.3°С для 95% вероятности. Формально можно рассматривать найденную закономерность как свидетельство наличия устойчивой линейной зависимости элементного состава донных осадков оз. Кучерлинское от изменяющихся внешних условий. При этом цифровым параметром внешних условий служит среднегодовая температура воздуха.

Использование сглаженных 10-летних величин позволяет увеличить коэффициент корреляции до +0.84, при этом уменьшив величину погрешности до 0.52°С. На рис. 4 представлен сглаженный метеоряд на интервале обучения, реконструкция по трансферной функции и интервал погрешности.

Применение трансферной функции на всю глубину опробования керна позволило получить температурную реконструкцию для временно́го интервала 1940–576 г. (рис. 5а).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 5 представлено сравнение полученной нами региональной температурной реконструкции с рядом обобщенных глобальных реконструкций [17, 24, 25, 28, 32]. Для удобства сравнения все литературные реконструкции были нор-

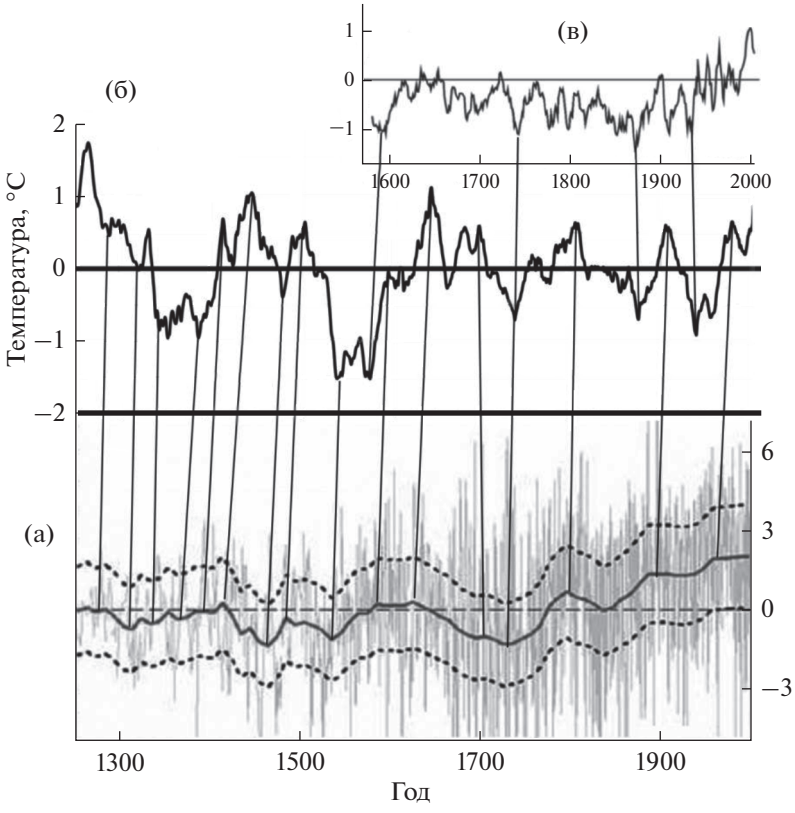

Рис. 6. Сравнение региональных температурных реконструкций высокого временного разрешения. (а) – реконструкция температуры на основе $d^{18}O$ ледника Белуха. Данные представляют собой аномалии, от среднего за 1250–2001 гг. Показаны отдельные значения (серые), средние за 10 лет и интервал погрешности (черные, пунктирные) [22]; (б) – реконструкция по литолого-геохимическим данным осадков оз. Кучерлинское, пересчитанная как аномалии от среднего за 1250–2001 гг.; (в) – отклонения средней летней температуры воздуха Алтайского региона по дендрохронологическим данным, калиброванные по инструментальным данным метеостанции Усть-Кокса. Представлены 7-летнее скользящее среднее и отклонения от периода 1940–1994 гг. [11].

мированы методом минимакс от 0 до 1. Несмотря на значительную разницу в исходных данных, усреднениях и сглаживаниях, все реконструкции имеют ярко выраженные общие тренды и экстремумы.

Можно выделить средневековое потепление, по амплитуде сопоставимое с современным глобальным. Также отчетливо во всех реконструкциях проявлен малый ледниковый период, хотя и имеющий немного отличий на временно́й шкале. Выделяемый температурный тренд имеет примерно одинаковый период. Тонкая структура температурных вариаций совпадает для многих временны́х интервалов.

В целом, представленные пять глобальных реконструкций достаточно хорошо совпадают с авторской, что позволяет сделать вывод о правильности использованного методического подхода и полученных результатов.

Для более детальных оценок точности полученной реконструкции, как возрастной шкалы, так и абсолютной величины реконструированной температуры, проведем сравнение с имеющимися региональными гляциологическими [22] и дендроклиматическими [11] данными годового временно́го разрешения. На рис. 6а представлены данные о реконструкции температуры воздуха за последние 750 лет, полученные на основе исследования изотопного состава льда ледника Белуха [22], расположенного рядом с оз. Кучерлинское. Рисунок 6б – наша реконструкция, для удобства сравнения абсолютных величин с данными изотопии льда, пересчитанная в аномалии от среднего за 1250–2001 гг. Рисунок 6в – отклонения средней летней температуры воздуха Алтайского региона по дендро данным, калиброванные по инструментальным данным метеостанции Усть-Кокса [11].

Дендрохронологическая реконструкция дает летние температуры, поэтому не будем сравнивать абсолютные величины. Больший интерес представляет сравнение ярко выраженных температурных экстремумов на возрастной шкале. Возрастные шкалы, построенные подсчетом годовых слоев (дендрохронология), благодаря отработан-

ным методикам и отсутствию значимых систематических погрешностей являются на сегодняшний день наиболее точными и могут рассматриваться в качестве эталонных при проведении региональных исследований. Графическое сравнение наиболее выраженных экстремумов позволяет оценить отклонения нашей возрастной шкалы от дендро на интервале 0–400 лет назад абсолютными величинами 5–10 лет, но не более 5 отн. %. Приняв дендрохронологическую шкалу за абсолютно точную, считая летние температурные экстремумы совпадающими со среднегодовыми, можем утверждать, что точность подсчета годовых слоев в донных осадках оз. Кучерлинское (варвохронология) позволяет строить возрастную шкалу с относительной погрешностью менее 5 отн. %.

Сравнение с ледниковыми записями по временно́й шкале дает больший разброс, что может быть связано с суммированием погрешностей варвной и ледниковой возрастных моделей. При этом временна́я разница сопоставляемых экстремумов на температурных реконструкциях составляет величины 5–35 лет, или 4–12 отн. %.

Интервал разброса реконструируемой величины в случае ледниковых данных составляет 3°С (от –1 до +2) относительно среднего 1250–2001 гг. Для наших данных разброс величин чуть больше: от –1.5 до +1.8°С, что очень близко с учетом диапазона ошибок обеих реконструкций. Существенное отличие нашей реконструкции от ледовой проявляется в слабо выраженном современном потеплении, хотя, с учетом интервала погрешности, различие может быть не столь значимо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ (ВЫВОДЫ)

1. Озеро Кучерлинское имеет тонкослоистый осадок, содержащий отдельные годовые слои (варвы), что позволяет строить возрастную модель глубина керна–возраст слоя осадка с точностью не хуже 5 отн. %. Подсчет слоев может вестись по фотографиям исходного влажного керна, но необходимо дополнительно контролировать результаты подсчета исследованием оптических шлифов и сканирующим РФА СИ с субмикронным пространственным разрешением.

2. Индикатором границ отдельных годовых слоев в донных осадках оз. Кучерлинское служит отношение *Rb/Sr* по данным сканирующего РФА СИ.

3. Сравнение временны́х рядов литолого-геохимических данных на годовой шкале с региональными метеонаблюдениями позволяет определить набор геохимических индикаторов климата и построить трансферные функции, связывающие состав датированных слоев донных отложений с метеопараметрами.

4. Температурная реконструкция, построенная по литолого-геохимическим данным, совпадает с региональными и глобальными реконструкциями, построенными по биологическим и изотопным прокси, в пределах оцененных погрешностей как возрастной шкалы, так и значений реконструируемого параметра.

5. Построенная реконструкция высокого временно́го разрешения, откалиброванная по региональным метеонаблюдениям, имеет количественную оценку погрешности и может быть использована для получения информации о природной периодичности климатических циклов, что дает возможность подготовки региональных кратко- и среднесрочных погодно-климатических прогнозов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках гос. задания ИГМ СО РАН, при поддержке грантов РФФИ ГФЕН_а № 18-55-53016 и Микромир № 19-05-50046 (субмикронный РФА-СИ). В работе использовалось оборудование ЦКП “СЦСТИ” (ИЯФ СО РАН) на базе УНУ “Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000” и УНУ Курчатовский источник синхротронного излучения (НИЦ Курчатовский институт), проекты Министерства образования и науки РФ RFMEFI62119X0022 и RFMEFI61919X0015.

FUNDING

This work was carried out as part of the state-ordered research theme of the IGM SB RAS, with the financial support of the RFBR (projects no. 18-55-53016 and no. 19-05-50046; submicron XRF-SR). In the work we used the equipment of the shared research center SSTRC on the basis of the Novosibirsk VEPP-4 – VEPP-2000 complex at BINP SB RAS and the Kurchatov Synchrotron Radiation Source, supported by projects RFMEFI62119X0022 and RFMEFI61919X0015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабич В.В., Рудая Н.А., Калугин И.А., Дарьин А.В.* Опыт комплексного использования геохимических особенностей донных отложений и палинологических записей для палеоклиматических реконструкций (на примере оз. Телецкое, Российский Алтай) // Сиб. экол. журн. 2015. Т. 22. № 4. С. 497–506. https://doi.org/10.15372/SEJ20150401
2. *Дарьин А.В., Александрин М.Ю., Калугин И.А., Соломина О.Н.* Связь метеорологических данных с геохимическими характеристиками современных донных осадков оз. Донгуз-Орун, Кавказ // ДАН. 2015. Т. 463. № 5. С. 602. https://doi.org/10.7868/S0869565215230176
3. *Дарьин А.В., Бабич В.В., Калугин И.А., Маркович Т.И., Рогозин Д.Ю., Мейдус А.В., Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С.* Исследование геохимических особенностей годовых слоев в донных осадках пресноводных озер методом рентгенофлуоресцентного

микроанализа с возбуждением синхротронным излучением // Изв. РАН. Сер. физ. 2019. Т. 83. № 11. С. 1572–1575.
https://doi.org/10.1134/S0367676519110085

4. *Дарьин А.В., Калугин И.А., Бабич В.В., Маркович Т.И., Грачев А.М., Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С.* Поиск годично стратифицированных донных осадков в озерах Горного Алтая методом рентгенофлуоресцентного микроанализа с использованием синхротронного излучения // Изв. РАН. Сер. физ. 2019. Т. 83. № 2. С. 243–246.
https://doi.org/10.1134/S0367676519020108
5. *Дарьин А.В., Калугин И.А., Ракшун Я.В.* Сканирующий рентгеноспектральный микроанализ образцов донных осадков с использованием синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77. № 2. С. 204.
https://doi.org/10.7868/S0367676513020105
6. *Дарьин А.В., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С., Дарьин Ф.А., Калугин И.А., Максимова Н.В., Маркович Т.И.* Исследование сезонного геохимического сигнала в годовых слоях донных осадков оз. Донгуз-Орун методом сканирующего РФА с использованием микрокапиллярной рентгеновской оптики // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79. № 1. С. 137.
https://doi.org/10.7868/S036767651501010X
7. *Дарьин Ф.А., Ракшун Я.В., Сороколетов Д.С., Дарьин А.В., Калугин В.М.* Разработка методик микро-РФА на пучках синхротронного излучения из накопителя ВЭПП-3 и их применение для исследования распределения элементов в природных образцах // Ядерная физика и инжиниринг. 2017. Т. 8. № 1. С. 86–90.
https://doi.org/10.1134/S2079562917010067
8. *Нарожный Ю.К., Осипов А.В.* Ороклиматические условия оледенения Центрального Алтая // Изв. РГО. 1999. Т. 131. Вып. 3. С. 49–57.
9. *Ненашева Г.И.* Растительность и климат голоцена межгорных котловин Центрального Алтая: монография. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2013. 164 с.
10. *Рихванов Л.П., Окишев П.А., Соболева Н.П., Матаев Е.И.* Геохимическая характеристика ленточных глин Горного Алтая и возможности их использования при гляциологических исследованиях // Изв. Томск. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 2. С. 23–36.
11. *Сыромятина М.В., Москаленко И.Г., Чистяков К.В.* Тенденции изменения климата на Алтае на фоне глобальных климатических изменений (по инструментальным и дендрохронологическим данным) // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 7. Геология. География. 2010. № 3. С. 82–91.
https://doi.org/10.18551/rjoas.2015-07.01
12. *Федак С.И., Туркин Ю.А., Гусев А.И., Шокальский С.П. и др.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Л. М-45. Горно-Алтайск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 567 с.
13. *Alexandrin M., Dolgova E., Grachev A., Solomina O., Darin A., Kalugin I.* Annual sedimentary record from lake Donguz-orun (central Caucasus) constrained by high resolution SR-XRF analysis and its potential for climate reconstructions // Frontiers in Earth Sci. 2018. V. 6. P. 158.
https://doi.org/10.3389/feart.2018.00158
14. *Appleby P.* The use of 210Pb and 137Cs as tracers in modelling transport processes in lake catchment systems // Stud. in Env. Sci. 1997. V. 68. P. 441–448.
https://doi.org/10.1016/S0166-1116(09)70124-4
15. *Brauer A.* Annually laminated lake sediments and their paleoclimatic relevance // Fischer H. et al. (Eds.). The Climate in Historical Times. Berlin: Springer, 2004. P. 109–127.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-10313-5_7
16. *Butz C., Grosjean M., Fischer D., Wunderle S., Tylmann W., Rein B.* Hyperspectral imaging spectroscopy: A promising method for the biogeochemical analysis of lake sediments // J. App. Remote Sens. 2015. V. 9. № 1. 096031.
https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.096031
17. *Christiansen B., Ljungqvist F.* The extra-tropical Northern Hemisphere temperature in the last two millennia: Reconstructions of low-frequency variability // Climate Past. 2012. V. 8. № 2. P. 765–786.
https://doi.org/10.5194/cp-8-765-2012
18. *Croudace I., Löwemark L., Tjallingii R., Zolitschka B.* Current perspectives on the capabilities of high resolution *XRF* core scanners // Quat. Int. 2019. V. 514. P. 5–15.
https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.04.002
19. *Darin A., Chu G., Maksimov M., Novikov V.* Layer counting and isotopic analysis of the recent bottom sediments of the glacial lake Kucherla (Russia, Gorny Altai) // 19th Int. Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2019. Sofia, 2019. P. 257–264.
https://doi.org/10.5593/sgem2019V/4.2/S06.035
20. *Darin F.A., Kalugin I.A., Darin A.V., Rakshun Ya.V.* The study internal structure of the annual layers in lake sediments using synchrotron radiation with x-ray focusing optics // Acta Geol. Sin. (Engl. Ed.). 2014. T. 88. № S1. P. 5–6.
https://doi.org/10.1111/1755-6724.12265_1
21. *Cook E.R., Krusic P.J., Anchukaitis K.J., Buckley B.M., Nakatsuka T., Sano M.* Tree-ring reconstructed summer temperature anomalies for temperate East Asia since 800 C.E. // Clim. Dyn. 2013. V. 41. P. 2957–2972.
https://doi.org/10.1007/s00382-012-1611-x
22. *Eichler A., Olivier S., Henderson K., Laube A., Beer J., Papina T., Heinz W., Schwikowski M.* Temperature response in the Altai region lags solar forcing // Geophys. Res. Lett. 2009. V. 36. L01808.
https://doi.org/10.1029/2008GL035930
23. *Feng S., Yang B., Mairesse A., Gunten L., Li J., Bräuning A., Yang F., Xiao X.* Northern Hemisphere temperature reconstruction during the last millennium using multiple annual proxies // Clim. Res. 2013. V. 56. P. 231–244.
https://doi.org/10.3354/cr01156
24. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (Eds.). Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 p.
https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324

25. *Klimenko V., Matskovsky V., Dahlmann D.* Multi-archive temperature reconstruction of the Russian Arctic for the past two millennia // Geogr. Environ. Sustain. 2014. V. 7. № 1. P. 16–29. https://doi.org/10.24057/2071-9388-2014-7-1-16-29

26. *Mann M., Bradley R., Hughes M.* Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations // Geophys. Res. Lett. 1999. V. 26. P. 759–762. https://doi.org/10.1029/1999GL900070

27. *Mann M., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R., Hughes M., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., Ni F.* Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly // Science. 2009. V. 326. № 5957. P. 1256–1260. https://doi.org/10.1126/science.1177303

28. *Moberg A., Sonechkin D., Holmgren K., Datsenko N., Karlén W.* Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low-and high-resolution proxy data // Nature. 2005. V. 433. № 7026. P. 613–617. https://doi.org/10.1038/nature03265

29. *Rothwell R., Croudace I.* Micro-XRF Studies of Sediment Cores: A Perspective on Capability and Application in the Environmental Sciences / I. Croudace, R. Rothwell (Eds.). Micro-XRF Studies of Sediment Cores. Developments in Paleoenvironmental Res. 2015. V. 17. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9849-5_1

30. *Trachsel M., Kamenik C., Grosjean M., McCarroll D., Moberg A., Brázdil R., Büntgen U., Dobrovolný P., Esper J., Frank D., Friedrich M., Glaser R., Larocque-Tobler I., Nicolussi K., Riemann D.* Multi-archive summer temperature reconstruction for the European Alps, AD 1053–1996 // Quat. Sci. Rev. 2012. V. 46. P. 66–79. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.04.021

31. *Tylmann W., Zolitschka B.* Annually Laminated Lake Sediments–Recent Progress // Quaternary. 2020. V. 3. № 1. P. 5. https://doi.org/10.3390/quat3010005

32. *Yang B., Braeuning A., Johnson K.R., Yafeng S.* General characteristics of temperature variation in China during the last two millennia // Geophys. Res. Lett. 2002. V. 29. № 9. P. 1324. https://doi.org/10.1029/2001gl014485

33. *Zolitschka B., Francus P., Ojala A.E., Schimmelmann A.* Varves in lake sediments – A review // Quat. Sci. Rev. 2015. V. 117. P. 1–41. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.03.019

Quantitative Reconstruction of the Altai Region Annual Air Temperatures over the Past 1400 Years According to Analytical Microstratigraphy of Lake Kucherla Varved Clays

A. V. Daryin[1, *], G. Chu[2], C. San[3], V. V. Babich[1], I. A. Kalugin[1], T. I. Markovich[1], V. S. Novikov[1], M. A. Maksimov[4], F. A. Daryin[5], D. S. Sorokoletov[5], Ya. V. Rakshun[5], A. A. Gogin[6], and R. A. Senin[6]

[1]*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

[2]*Institute of Geology and Geophysics CAS, Beijing, China*

[3]*National Research Center of Geoanalysis, Beijing, China*

[4]*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

[5]*Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

[6]*National Research Center Kurchatov Institute, Moscow, Russia*

**e-mail: avd@igm.nsc.ru*

The proglacial Lake Kucherla (Kucherlinskoe) in Altai contains annually laminated bottom sediments (glacial clay), which makes it possible to build accurate age models using layer counting (varve chronology). Age models (core dept–age of the sediment layer) were verified by isotopic data (Cs-137, Pb-210 and C-14) and analytical microstratigraphy techniques based on the use of scanning X-ray fluorescence analysis with synchrotron radiation beams (micro-XRF-SR). Time series of more than 20 rock-forming and trace elements were constructed over the entire core depth of Lake Kucherla bottom sediments. Comparison of geochemical data with regional instrumental meteorological observations in the interval 1940–2016 allowed us to identify climate indicators and build transfer functions–the annual air temperature as a function of the elemental composition of bottom sediments. The correlation coefficient for the average annual temperature is +0.59, which is a significant value ($n = 76$, $p = 0.99$), indicating the presence of a stable linear relationship between the variations of the meteorological parameter and the composition of bottom sediments formed under the influence of external weather and climate conditions. Using average 10-year values significantly increases the correlation coefficient (+0.84) and reduces the reconstruction error to ±0.52°C (for a 95% probability). By approximating the transfer function to the entire sampling depth, a reconstruction of the regional temperature change over the time interval of the last 1400 years was constructed with an estimated error of reconstructed parameter. A comparison of the reconstruction with the data of regional studies and global reconstructions for the Northern Hemisphere shows the presence of general trends and extremes and minimal discrepancies in time scales and reconstructed temperatures.

Keywords: Altai, Lake Kucherla, bottom sediments, geochemistry, micro-XRF, synchrotron radiation, temperature reconstruction

REFERENCES

1. Babich V.V., Rudaya N.A., Kalugin I.A., Darin A.V. Complex use of the geochemical features of bottom deposits and pollen records for paleoclimate reconstructions (with lake Teletskoe, Altai Republic, as an example). *Contemp. Probl. Ecol.*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 405–413. doi 10.1134/S1995425515040022
2. Darin A.V., Alexandrin M.Yu., Kalugin I.A., Solomina O.N. Connection of meteorological data with geochemical characteristics of modern bottom sediments of Lake Donguz-Orun, Caucasus. *Dokl. Akad. Nauk.,* 2015, vol. 463, no. 5. pp. 602–606. (In Russ.). doi 10.7868/S0869565215230176
3. Darin A.V., Babich V.V., Kalugin I.A., Markovich T.I., Rogozin D.Yu., Meidus A.V., Darin F.A., Rakshun Ya.V., Sorokoletov D.S. Geochemical features of annual layers of bottom sediments of freshwater lakes, studied via synchrotron radiation–induced XRF microanalysis. *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.*, 2019, vol. 83, no. 11, pp. 1437–1440. doi 10.3103/S106287381911008X
4. Darin A.V., Kalugin I.A., Babich V.V., Markovich T.I., Grachev A.M., Darin F.A., Rakshun Y.V., Sorokoletov D.S. Searching for annually stratified bottom sediments in Altai Mountain lakes by means of XRF microanalysis using synchrotron radiation. *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.,* 2019, vol. 83, no. 2, pp. 194–197. doi 10.3103/S1062873819020102
5. Darin A.V., Kalugin I.A., Rakshun Y.V. Scanning X-ray microanalysis of bottom sediments using synchrotron radiation from the BINP VEPP-3 storage ring. *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.,* 2013, vol. 77, no. 2, pp. 182–184. doi 10.3103/S106287381302010X
6. Darin A.V., Rakshun Y.V., Sorokoletov D.S., Darin F.A., Kalugin I.A., Maksimova N.V., Markovich T.I. Seasonal geochemical signals in varves of the lake Donguz-Orun bottom sediments from scanning X-ray fluorescence with the use of microcapillary X-ray optics. *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.,* 2015, vol. 79, no. 1, pp. 122–125. doi 10.3103/S1062873815010104
7. Darin F.A., Rakshun Y.V., Sorokoletov D.S., Darin A.V., Kalugin V.M. Development of micro-X-ray fluorescence methods with synchrotron beams from the VEPP-3 storage ring and their use to study the distribution of elements in natural samples. *Yadernaya Fizika i Inzhiniring*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 86–90. (In Russ.). doi 10.1134/S2079562917010067
8. Narozhnyi Yu.K., Osipov A.V. Oroclimatic conditions of glaciation in Central Altai. *Izv. Russ. Geogr. O-va*, 1999, vol. 131, no. 3, pp. 49–57. (In Russ.).
9. Nenasheva G.I. *Rastitel'nost' i klimat golotsena mezhgornykh kotlovin Tsentral'nogo Altaya* [Vegetation and Climate of the Holocene of Intermountain Basins of Central Altai]. Barnaul: Altai. Univ., 2013. 164 p.
10. Rikhvanov L.P., Okishev P.A., Soboleva N.P., Mataev E.I. Geochemical characteristics of varved clays of the Altai Mountains and the possibility of their use in glaciological studies. *Izv. Tomsk. Politekh. Univ., Inzhiniring Georesur.,* 2015, vol. 326, no. 2, pp. 23–36. (In Russ.).
11. Syromyatina M.V., Moskalenko I.G., Chistyakov K.V. Tendencies of climate change in the Altai mountains against the background of global climate changes derived from instrumental and dendrochronological data. *Vestn. S.-Peterb. Univ., Ser. 7: Geol. Geogr.*, 2010, no. 3, pp. 82–91. (In Russ.). doi 10.18551/rjoas.2015-07.01
12. Fedak S.I., Turkin Yu.A., Gusev A.I., Shokalsii S.P. et al. *State Geological Map of the Russian Federation*. Scale 1 : 1000000 (third generation). *Ser. Altae-Sayanskaya* [Series Altai-Sayan]. Sheet: M-45: *Gorno-Altaysk. Ob"yasnitel'naya zapiska* [Gorno-Altaysk. Explanatory Letter]. St. Petersburg: VSEGEI, 2011. 576 p.
13. Alexandrin M.Y., Darin A.V, Kalugin I.A., Dolgova E.A., Grachev A.M, Solomina O.N. Annual sedimentary record from lake Donguz-orun (central Caucasus) constrained by high resolution SR-XRF analysis and its potential for climate reconstructions. *Front. Earth Sci.*, 2018, vol. 6, p. 158. doi 10.3389/feart.2018.00158
14. Appleby P. The use of 210Pb and 137Cs as tracers in modelling transport processes in lake catchment systems. *Stud. Environ. Sci.*, 1997, vol. 68, pp. 441–448. doi 10.1016/S0166-1116(09)70124-4
15. Brauer A. Annually laminated lake sediments and their paleoclimatic relevance. In *The Climate in Historical Times.* Fischer H. et al., Eds. Berlin: Springer, 2004, pp. 109–127. doi 10.1007/978-3-662-10313-5_7
16. Butz C., Grosjean M., Fischer D., Wunderle S., Tylmann W., Rein B. Hyperspectral imaging spectroscopy: A promising method for the biogeochemical analysis of lake sediments. *J. Appl. Remote Sens.*, 2015, vol. 9, no. 1, 096031. doi 10.1117/1.JRS.9.096031
17. Christiansen B., Charpentier Ljungqvist F. The extra-tropical Northern Hemisphere temperature in the last two millennia: Reconstructions of low-frequency variability. *Climate of the Past*, 2012, vol. 8, no. 2, pp. 765–786. doi 10.5194/cp-8-765-2012
18. Croudace I., Löwemark L., Tjallingii R., Zolitschka B. Current perspectives on the capabilities of high resolution *XRF* core scanners. *Quat. Int.,* 2019, vol. 514, pp. 5–15. doi 10.1016/j.quaint.2019.04.002
19. Darin A., Chu G., Maksimov M., Novikov V. Layer counting and isotopic analysis of the recent bottom sediments of the glacial lake Kucherla (Russia, Gorny Altai). In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*. Sofia, 2019, pp. 257–264. doi 10.5593/sgem2019V/4.2/S06.035
20. Darin F., Kalugin I., Darin A., Rakshun Y. The study internal structure of the annual layers in lake sediments using synchrotron radiation with x-ray focusing optics. *Acta Geol. Sin.,* 2014, vol. 88, no. 1, pp. 5–6. doi 10.1111/1755-6724.12265_1
21. Cook E.R., Krusic P.J., Anchukaitis K.J., Buckley B.M., Nakatsuka T., Sano M. Tree-ring reconstructed summer temperature anomalies for temperate East Asia since 800 C.E. *Clim. Dyn.*, 2013, vol. 41, nos. 11–12, pp. 2957–2972. doi 10.1007/s00382-012-1611-x
22. Eichler A., Olivier S., Henderson K., Laube A., Beer J., Papina T., Heinz W., Schwikowski M. Temperature response in the Altai region lags solar forcing. *Geophys.*

Res. Lett., 2009, vol. 36, L01808. doi 10.1029/2008GL035930

23. Shi F., Yang B., Mairesse A., Gunten L., Li J., Bräuning A., Yang F., Xiao X. Northern Hemisphere temperature reconstruction during the last millennium using multiple annual proxies. *Clim. Res.*, 2013, vol. 56, pp. 231–244. doi 10.3354/cr01156
24. IPCC. Climate Change 2013: *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovern- mental Panel on Climate Change*. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M., Eds. Cambridge, UK; New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2013. 1535 p.
25. Klimenko V., Matskovsky V., Dahlmann D. Multi-archive temperature reconstruction of the Russian Arctic for the past two millennia. *Geogr. Environ. Sustain.*, 2014, vol. 7, no. 1, pp. 16–29. doi 10.24057/2071-9388-2014-7-1-16-29
26. Mann M.E., Bradley R.S., Hughes M.K. Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. *Geophys. Res. Lett.*, 1999, vol. 26, pp. 759–762. doi 10.1029/1999GL900070
27. Mann M., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R., Hughes M., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., Ni F. Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. *Science,* 2009, vol. 326, no. 5957, pp. 1256–1260. doi 10.1126/science.1177303
28. Moberg A., Sonechkin D.M., Holmgren K., Datsenko N.M., Karlén W. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low-and high-resolution proxy data. *Nature*, 2005, vol. 433, no. 7026, pp. 613–617. doi 10.1038/nature03265
29. Rothwell R., Croudace I. Micro-XRF studies of sediment cores: A perspective on capability and application in the environmental sciences. In *Micro-XRF Studies of Sediment Cores. Developments in Paleoenvironmental Research*. Croudace I., Rothwell R., Eds. Dordrecht: Springer, 2015, vol. 17, pp. 1–21. doi 10.1007/978-94-017-9849-5_1
30. Trachsel M., Kamenik C., Grosjean M., McCarroll D., Moberg A., Brázdil R., Büntgen U., Dobrovolný P., Esper J., Frank D., Friedrich M., Glaser R., Larocque-Tobler I., Nicolussi K., Riemann D. Multi-archive summer temperature reconstruction for the European Alps, AD 1053–1996. *Quat. Sci. Rev.*, 2012, vol. 46, pp. 66–79. doi 10.1016/j.quascirev.2012.04.021
31. Tylmann W., Zolitschka B. Annually laminated lake sediments—recent progress. *Quaternary*, 2020, vol. 3, no. 1, pp. 1–3. doi 10.3390/quat3010005
32. Yang B., Braeuning A., Johnson K.R., Yafeng S. General characteristics of temperature variation in China during the last two millennia. *Geophys. Res. Lett.*, 2002, vol. 29, no. 9, pp. 1324–1328. doi 10.1029/2001gl014485
33. Zolitschka B., Francus P., Ojala A.E., Schimmelmann A. Varves in lake sediments – a review. *Quat. Sci. Rev.*, 2015, vol. 117, pp. 1–41. doi 10.1016/j.quascirev.2015.03.019

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 109–119

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

УДК 551.583.4

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ УЗКИХ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ СОСНЫ ЛЕНТОЧНЫХ БОРОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2021 г. Н. В. Рыгалова[a], *, Н. Ф. Харламова[a]

[a]*Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия*

**e-mail: natalia.ml@mail.ru*

Поступила в редакцию 19.12.2019 г.
После доработки 24.08.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

В данной статье изложены результаты исследования узких годичных колец сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) ленточных боров (юг Западной Сибири) в степной зоне за период с 1661 по 2019 г. В анализе использованы 19 древесно-кольцевых хронологий, полученных по кернам живых деревьев и исторической древесины старых сельских домов. Узкие кольца у 75% всех хронологий были отмечены в 2012, 2003, 1996, 1991, 1980, 1974, 1963, 1910, 1896, 1888, 1812, 1795, 1786, 1752, 1748, 1695, 1690 и 1688 гг., которые могут быть определены как региональные реперные годы. Отмечается увеличение частоты формирования минимумов радиального прироста во второй половине XX в., а также во второй половине XVIII – начале XIX в., а снижение частоты – в конце XVII – начале XVIII в. В годы формирования узких колец почти в 100% случаев отмечается засуха в весенне-летний период (особенно в мае), также значим дефицит осадков в предшествующий осенне-зимний сезон. Установлено, что максимальная концентрация минимумов прироста сосны приходится на периоды преобладания южных меридиональных циркуляционных эпох.

Ключевые слова: узкие годичные кольца, сосна обыкновенная, древесно-кольцевая хронология, ленточные боры, историческая древесина, засухи, засушливые территории, циркуляционные эпохи, реперный год

DOI: 10.31857/S2587556621010131

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из перспективных направлений дендроэкологического анализа является изучение хронологий узких годичных колец деревьев. Под узкими годичными кольцами понимается выраженное снижение ширины радиального прироста по сравнению с средними значениями за предыдущий период роста. Минимумы радиального прироста – это индикаторы проявления неблагоприятных условий среды: их формирование происходит при лимитирующем воздействии какого-либо фактора (или набора факторов) на рост деревьев. Местоположение древостоя в условиях того или иного переходного зонального биома предопределяет причину образования узких годичных колец: в переходной зоне “лесостепь–степь” чаще всего это засухи [4, 13, 18, 20, 25, 29, 32, 34, 37–39] и малоснежные морозные зимы [33], в зоне “лес–тундра” – холодные летние сезоны [22]. Таким образом, минимумы радиального прироста деревьев позволяют восстановить в ретроспективе погодичную хронологию неблагоприятных климатических событий и их периодичность, что и является предметом данной статьи. Кроме того, они дают возможность индицировать другие природные (например, массовое нападение насекомых-фитофагов и др. [3]) и антропогенные воздействия на деревья [10], что в целом расширяет тематические рамки изучения хронологий узких годичных колец деревьев. В тех случаях, когда образование минимального прироста обусловлено климатом, годы, представленные узкими кольцами, являются реперными, отмечаются у большинства древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) и лежат в основе их перекрестного датирования. Это позволяет, в свою очередь, определять год и сезон заготовки древесины для строительства деревянных домов и сооружений, построенных на юге Западной Сибири.

В данной статье исследована трехсотлетняя хронология минимумов прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) ленточных боров степной зоны, временны́е закономерности и причины образования узких годичных колец, сделана попытка географической интерпретации результатов.

Таблица 1. Характеристика обобщенных (индексированных) степных ДКХ ленточных боров юга Западной Сибири*

Название ДКХ (сокращенное)	Длина ДКХ, лет	Продолжительность ДКХ, годы	Минимальное значение	Стандартное отклонение	*k* чувст.
Токарево	137	1871–2007	0.612	0.16	0.18
Солоновка	321	1693–2013	0.436	0.15	0.17
Малышев Лог	197	1809–2005	0.604	0.17	0.19
Полевой Стан	157	1857–2013	0.538	0.17	0.19
Волчиха	334	1685–2018	0.233	0.18	0.20
Вострово	202	1693–1894	0.435	0.15	0.17
Горькое-Перешеечное	108	1900–2007	0.586	0.17	0.17
Гуселетово	112	1896–2007	0.544	0.19	0.21
Бычье	210	1803–2012	0.489	0.17	0.18
Усть-Кормиха	145	1713–1857	0.477	0.17	0.19
Бор-Форпост	254	1702–1955	0.160	0.16	0.19
Михайловское	279	1729–2007	0.363	0.18	0.19
Бастан	188	1708–1895	0.416	0.14	0.16
Малиновое Озеро	280	1733–2007	0.488	0.20	0.20
Угловское	149	1865–2003	0.558	0.19	0.20
Угловское-42	337	1661–1997	0.439	0.16	0.18
Угловское-120	130	1868–1997	0.400	0.21	0.24
Северка	150	1858–2007	0.548	0.18	0.19
Васильчуки	239	1781–2019	0.031	0.24	0.27

* Обычным шрифтом написаны названия хронологий, полученных только по живым деревьям; жирным шрифтом отмечены ДКХ, построенные по живым деревьям и продленные с использованием древесины старых домов; курсивом отмечены ДКХ, построенные только по исторической древесине.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование основано на анализе узких годичных колец 19 обобщенных древесно-кольцевых хронологий сосны обыкновенной степной части ленточных боров Алтайского края: половина из них была получена ранее [12, 19], остальные ДКХ продлены с использованием древесины старых деревянных домов или полученных только по исторической древесине (табл. 1, рис. 1). Источником исторической древесины выступали старые дома, построенные из сосны, в селах, расположенных вдоль кромки ленточных боров. Продолжительность обобщенных древесно-кольцевых серий колеблется от 108 до 337 лет. Общий период, охватываемый дендрохронологическими данными, составил 359 лет (1661–2019 гг.).

Ленточные боры распространены в лесостепной и степной зонах обособленно от основного ареала сосны обыкновенной и представляют собой южный предел распространения бореальных лесов. Это и определяет в значительной степени зависимость величины прироста деревьев от климатических условий. Прирост сосны в условиях засушливого (семиаридного) климата детерминирован режимом увлажнения территории (соотношением тепла и влаги), поэтому полученные здесь хронологии могут быть использованы в пространственном анализе засух. В группу степных ДКХ вошли те точки, которые приурочены к зоне засушливой и сухой степи [1]. Для проверки правильности отнесения той или иной хронологии к обозначенной группе был использован метод кластерного анализа всех хронологий ленточных боров, включая лесостепные (правило объединения: метод Уарда [40], мера расстояний: 1-*r* Пирсона [11]) за период 1900–1997 гг. Его результаты подтвердили достоверность выделения степной группы хронологий на основе физико-географической привязки.

С целью удаления различных шумов из древесно-кольцевых серий деревьев, прежде всего возрастных, а также автокорреляционных, в анализе использовались индексированные хронологии (*residual*). Обобщенные ДКХ получены по стандартной методике сбора материала, подготовки образцов, проведения измерения (*LINTAB/TsapWin*) ширины годичных колец, обработки (*Cofecha*) и стандартизации (*ARSTAN*) хронологий [24, 27, 30, 36].

Существует несколько методов выделения минимумов прироста в хронологии [39], в данной работе был использован метод Кроппера [28]. Ос-

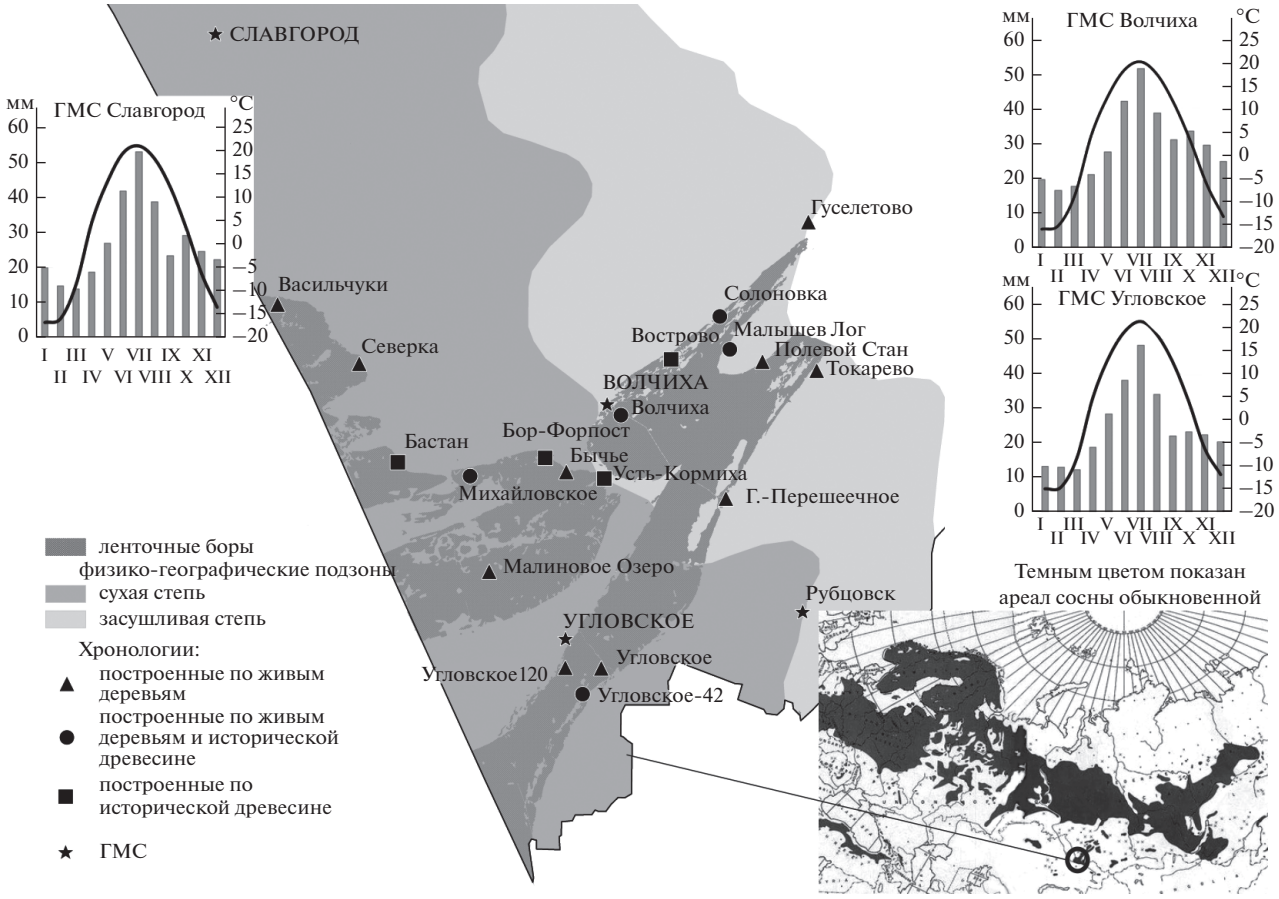

Рис. 1. Территория исследования и пространственная привязка древесно-кольцевых хронологий (границы физико-географических подзон юга Западной Сибири [1]).

новным критерием выделения узкого годичного кольца является уменьшение ширины прироста более, чем на величину среднего квадратического отклонения (0.75 и 1.5σ) от арифметически среднего значения хронологии, которые рассчитывались для скользящего окна (в нашем случае его размер был определен в 7 лет). Использование в расчетах весового коэффициента 0.75 для стандартного отклонения было определено опытным путем при учете методических рекомендаций [28]. Дополнительный расчет порогового значения снижения прироста с использованием весового коэффициента 1.5 для стандартного отклонения позволил выделить аномально узкие кольца в ДКХ. Минимумы прироста фиксировались, если выделялись у 2/3 (66.67%) всех хронологий группы.

Определение преобладающих циклов в проявлении узких годичных колец осуществлено с помощью спектрального анализа Фурье [26] в программе *Statistica 13.3.*

Дендроклиматический анализ формирования узких годичных колец выполнен по данным ГМС Волчиха (52°1′3.69′′ и 80°19′53.68′′; засушливая степь), Славгород (52°59′34.82′′ и 78°38′19.16′′) и Угловское (51°21′20′′ и 80°11′39′′; обе – сухая степь). Для расчета коэффициента корреляции Пирсона были взяты осредненные ДКХ узких годичных колец (региональные реперы) для засушливой степи и сухой степи. В качестве независимых переменных использованы метеорологические данные (температура воздуха, атмосферные осадки и геотермический коэффициент – ГТК по формуле Г.Т. Селянинова) за годы, когда были зафиксированы минимумы годичного прироста (с января по сентябрь), также за годы, предшествующие этому (с мая по декабрь). ГТК был рассчитан в целом для вегетационного периода и за его отдельные месяцы. В связи с временны́м ограничением метеоданных по территории исследования ряд для анализа включал в себя 12 значений (12 случаев образования минимумов прироста сосны, выделенных согласно обозначенной методике за период инструментальных метеорологических наблюдений в степной зоне Алтайского края).

Была изучена связь узких годичных колец с такими показателями, как “волны тепла” (*HWDI)* [7] и максимальное количество последовательных “су-

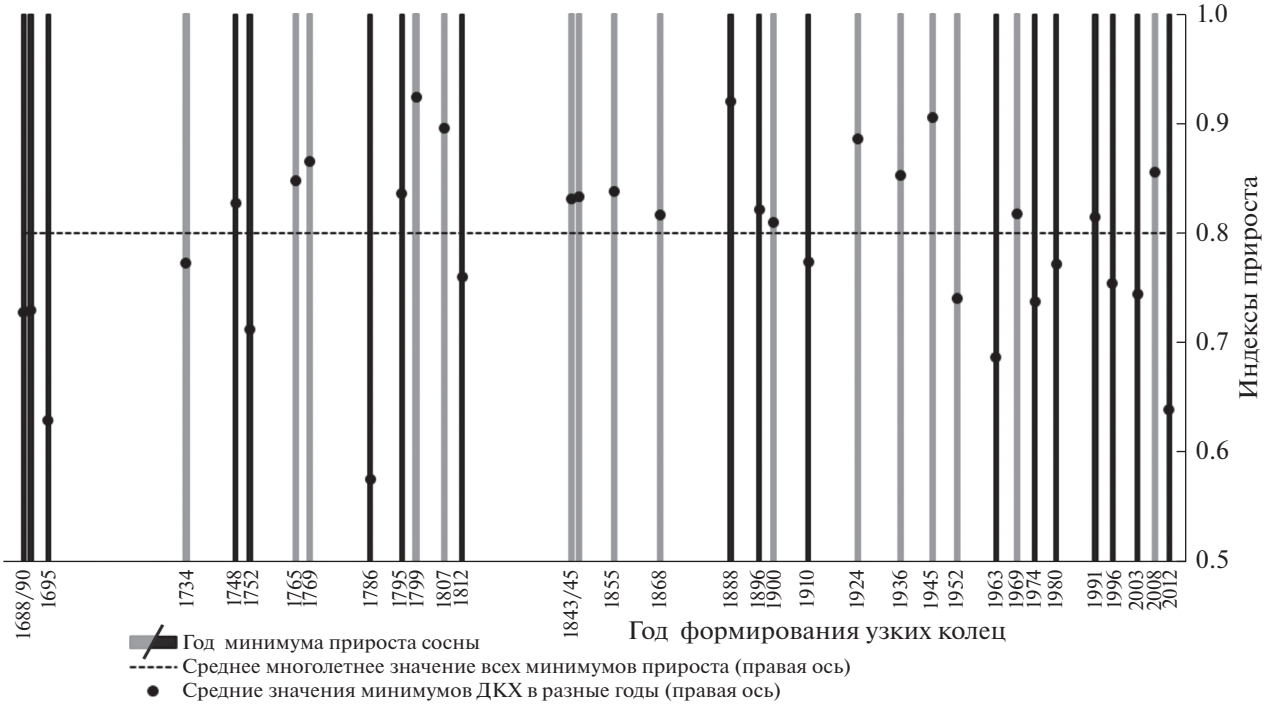

Рис. 2. Динамика минимумов радиального прироста сосны ленточных боров степной зоны юга Западной Сибири по годам (черные столбцы – узкое кольцо фиксируется у 75% хронологий, серые – 66.7%).

хих" дней в году (*CDD)*, выделенных группой *CCl/CLIVAR* при поддержке *WMO* [35], рассчитанными по данным ГМС Славгород и Рубцовск за периоды 1960–2010 гг. (*HWDI)* и 1960–2018 гг. (*CDD*).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе выполненной работы были получены хронологии узких колец сосны для степной части Западной Сибири (рис. 2). Среднее значение индексов ширины узких годичных колец составило 0.79, что на 20% меньше, чем среднее значение индексов (0.99–1.0) ширины годичных колец всех обобщенных хронологий. За период (1685–2018 гг.), который представлен хотя бы 2 обобщенными ДКХ, было зафиксировано 34 минимума прироста. При этом в 18 случаях узкие годичные кольца обнаружены у 75% всех хронологий: **2012,** 2003, 1996, 1991, 1980, 1974, **1963**, 1910, 1896, 1888, 1812, 1795, **1786**, 1752, 1748, **1695, 1690** и **1688** гг. (жирным шрифтом выделены годы, когда минимумы прироста отмечены у всех (100%) хронологий). Эти годы определены как региональные реперные годы. 1963 г. является абсолютным репером для сосны ленточных боров. Кроме того, он представлен аномально узкими годичными кольцами (с превышением отклонения от среднего на 1.5σ), подобное можно сказать и про 1786 г. В других случаях аномально узкие кольца проявляются без выраженной концентрации по годам.

Также выделяются годы, когда по методу Кроппера узкие кольца можно выделить только у половины (50%) степных ДКХ, хотя у подавляющего большинства хронологий в этот год отмечается снижение прироста. К таким годам относятся 1985, 1959, 1955, 1940, 1892, 1878, 1860, 1820, 1803, 1780, 1742, 1730, 1720 гг. Спектральный анализ хронологий узких колец выявил, что основной высокочастотный вклад принадлежит циклам 2–3- и 5–6-летней продолжительности, также выделяется 11-летний цикл, наиболее низкочастотным циклом является 54-летний период.

Визуально (см. рис. 2) прослеживается увеличение частоты проявления узких колец во второй половине XX – первой половине XXI в. (также можно заметить, что наблюдается снижение среднего значения минимумов в этот временной отрезок относительно всего периода). Оценка изменения частоты образования узких годичных колец во времени произведена путем подсчета количества узких колец по пятидесятилетиям в скользящем окне в 51 год. Полученные результаты подтвердили выше обозначенную особенность: во второй половине XX в. наблюдалось 8–9 узких колец в пятидесятилетие, что в 2 раза больше, чем в среднем формировалось в XIX в. (рис. 3). В целом на протяжении большей части XX в. (начиная с 30-х годов) фиксировалось 6 и более узких годич-

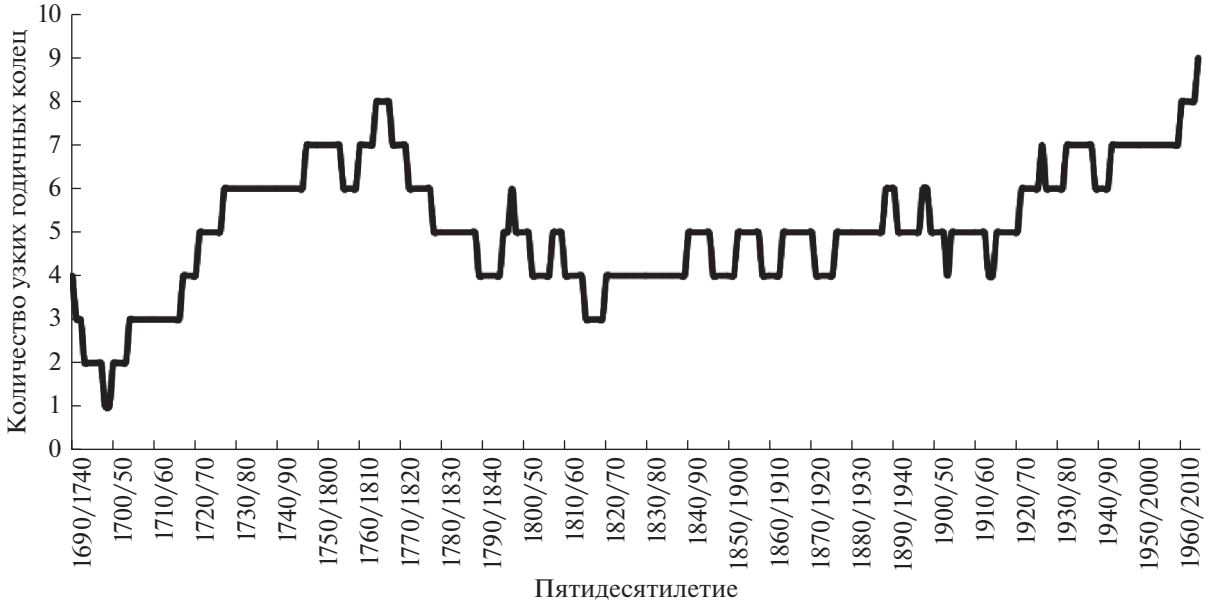

Рис. 3. Частота образования узких годичных колец у сосны ленточных боров степной зоны юга Западной Сибири.

ных колец по пятидесятилетиям. Подобная частота образования минимумов прироста деревьев приходится на отрезок времени с первой трети XVIII в. по начало XIX в. (до 20-х годов). При этом абсолютные значения ширины годичных колец (в мм), приходящихся на стадию зрелости деревьев (константы прироста), где влияние возрастных шумов минимально, во второй половине XVIII в. несколько меньше, чем во второй половине XX в. Во второй половине XX в. узкие кольца формировались чаще при общем увеличении ширины годичного прироста, что говорит о возрастании экстремальности климата в этот период [7, 15]. Реже узкие годичные кольца фиксировались в конце XVII – начале XVIII в.

В степной зоне основной причиной образования узких годичных колец у деревьев являются засухи. В ходе дендроклиматического анализа установлено, что в годы образования узких годичных колец практически всегда (кроме 1969 г., который характеризуется как избыточно влажный [17]) отмечается снижение значений ГТК вегетационного периода (май–сентябрь), чаще всего с минимумом в первой его половине, а именно в мае (табл. 2). Также обнаруживается значительное снижение (менее половины от среднегодовой нормы) количества осадков в апреле и предшествующий осенне-зимний сезон (в половине случаев и во второй половине прошлого вегетационного периода), что типично для засушливых территорий [4]. Морозность предшествующих зим не является определяющим фактором в данном случае, хотя это также вносит свой вклад. Значимые корреляционные связи (0.6 при $p < 0.05$) были установлены для хронологий минимумов прироста деревьев в сухостепной подзоне с ГТК вегетационного периода, мая и ГТК сентября предшествующего года.

Отдельно стоит сказать, что минимум 1969 г., предположительно, мог быть связан с массовым размножением насекомых-вредителей леса (есть сведения, что в указанный год в Алтайском крае сформировались крупные очаги распространения звездчатого пилильщика-ткача [6]).

В степной зоне ряды метеорологических наблюдений ограничены тридцатыми годами XX в. Для выявления связи узких колец с засухами в прошлых столетиях были привлечены архивные данные по неурожайным годам в Сибири [14]. Так, в 1812, 1795, 1752 и 1748 гг. были отмечены неурожаи в Алтайском округе и на юге Западной Сибири. В Сибири (в Иркутской области) неурожаи были зафиксированы также в 1868, 1799, 1786, 1769, 1765 гг., на которые приходятся минимумы прироста сосны обыкновенной южной части ленточных боров.

Для определения возможности дендроиндикации интенсивности засух были сопоставлены средние значения ГТК, рассчитанные за вегетационный период по метеостанциям Волчиха, Славгород и Угловское, и процент ДКХ с аномально узкими кольцами (снижение значений прироста от среднего на 1.5σ от общего количества всех хронологий в годы минимумов прироста деревьев (рис. 4). Коэффициент корреляции этих двух показателей составил –0.42, который при небольшой длине анализируемого ряда (12 лет) не является значимым (при $p < 0.05$). При этом вы-

Таблица 2. Климатическая характеристика периодов образования узких годичных колец у сосны ленточных боров степной зоны юга Западной Сибири (по данным метеостанций Волчиха, Угловское и Славгород)

Год минимального прироста	ГТК вегетационного периода		Минимальное значение ГТК за период (месяц)		Особенности предшествующего сезона (до вегетационного периода текущего года)	
	Волчиха	Угловское	Волчиха	Угловское	Мало осадков*	Морозные зимы**
2012	0.4	0.7	0.3 (V–VII)	0.2 (V)	**X, XII**–II, IV	I–II
2008	0.8	0.4	0.2 (V)	0.1 (V), 0.2 (VII)	**VIII**, I	I
2003	0.6	0.5	0.6 (VI)	0.1 (VI, VIII)	**XII**, IV	**XII**
1996	0.8	1.0	0.4 (VI)	0.3 (V, VIII)	**V–VI, VIII–XI**, I–IV	I, III
1991	0.5	0.4	0.2 (V)	0.2 (V, IX)	**VI**, IV	
1980	0.8	0.6	0.1 (V, IX)	0.1 (V), 0.05 (IX)	**XII**–IV	
1974	0.5	0.3	0.02 (V, VII)	0.02 (V, VII)	**XII**, IV	I–II
1969	1.3	1.3	0.8 (VI)	0.8 (VI)	**VIII**	–
1963	0.6	0.3	0.2 (V–VII)	0.06–0.07 (V–VI), 0.2 (VII)	**VIII, XI,** I, IV	
1952	0.4	0.2	0.1(VII)/0.2 (V)	0.15 (VIII)	**VIII–IX**, II	II–III
1945	0.7	0.7[S]	0.1 (VI)	0.3 (VII)[S]	I–III	**XI**–II
1936	0.8	0.5[S]	0.1 (VI)	0.2 (VIII)/0.3 (VI)[S]	**XI–XII**, II, IV	

[S] данные по ГМС Славгород; * снижение осадков на 50% от многолетней месячной нормы (катастрофическая засушливость); ** снижение среднемесячной температуры воздуха на 1σ от 30-летней месячной нормы; жирным шрифтом выделены месяцы предыдущего года.

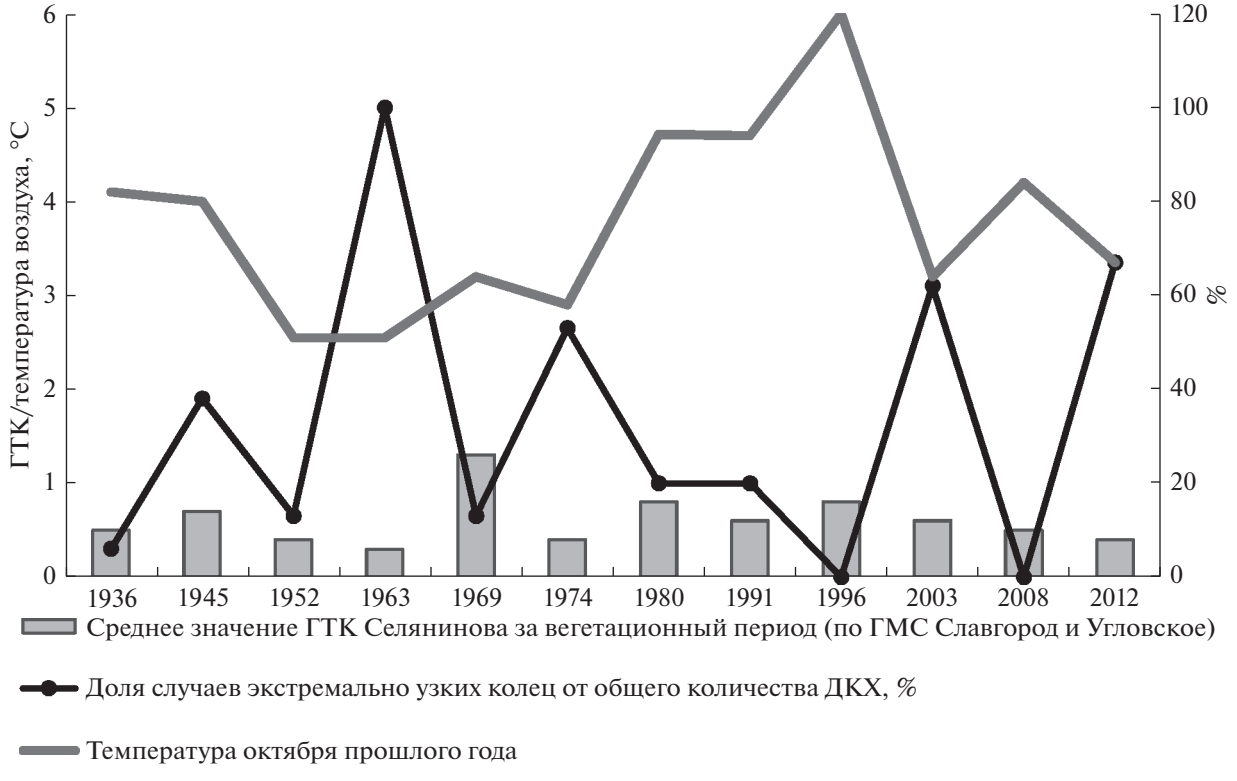

Рис. 4. Значения ГТК Селянинова в годы формирования аномально узких годичных колец сосны ленточных боров степной зоны юга Западной Сибири и температура октября предшествующего года.

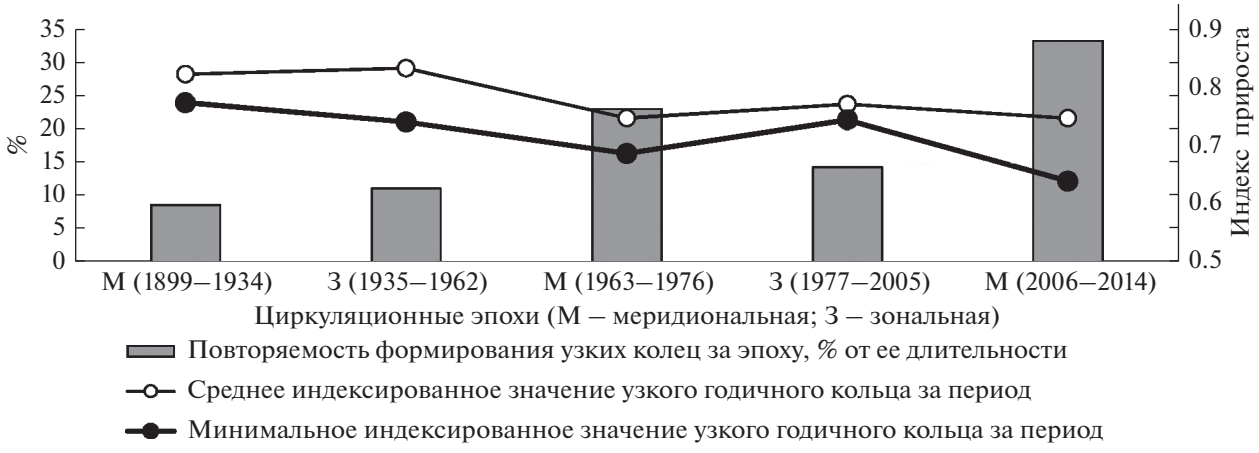

Рис. 5. Соотношение количества и значений узких годичных колец у сосны ленточных боров степной зоны юга Западной Сибири в разные циркуляционные эпохи.

явлена значимая связь ($r = -0.61$, $p < 0.05$) температуры октября прошлого года с частотой формирования аномально узких годичных колец у сосны. Это свидетельствует о значимости климатических факторов предыдущего года, прежде всего тех, которые определяют условия перехода дерева в состояние зимнего покоя. Таким образом, можно заключить, что в засушливых условиях, когда локальные природно-климатические факторы играют большую роль в формировании прироста деревьев, и разреженной сети метеостанций невозможно установить градиентную зависимость флуктуации ширины узких годичных колец сосны ленточных боров от силы (глубины) засухи.

Также была проверена гипотеза о влиянии на прирост сосны таких экстремальных климатических явлений, как “волны тепла” (*HWDI*) [7] и максимальное количество последовательных “сухих” дней в году (*CDD*), которые могут быть рассмотрены в качестве проявлений засушливых явлений на территории. Из 9 лет, когда отмечено формирование узких годичных колец (за период, обеспеченный указанными данными), в 2/3 случаях для ГМС Славгорода и в 3/4 для ГМС Рубцовска фиксируется повышение (в сравнении со среднемноголетними значениями) *CDD*. Зависимости между значениями индекса *HWDI* и минимумами радиального прироста не выявлено: на годы формирования узких годичных колец только в двух случаях из восьми (1/4) приходится значительная продолжительность (больше среднемноголетней) “волн тепла” (по обеим метеостанциям выделяется реперный 1963 г.). Можно заключить, что сосна ленточных боров обладает низкой чувствительностью к проявлениям “волн тепла”, при этом продолжительные периоды без дождей уменьшают прирост сосны.

Ранее неоднократно была отмечена связь типов атмосферной циркуляции и проявления экстремальных климатических явлений, в том числе засух [2, 23]. Поэтому была проведена оценка частоты формирования узких годичных колец в различные циркуляционные эпохи [5]. На территории Сибири с 1899 по 2017 г. выделено 5 периодов с преобладанием широтных (2 периода) и меридиональных (3) циркуляционных процессов [8]. В рамках каждого была проанализирована частота проявления минимумов прироста во всех ДКХ, а также подсчитаны их средние и минимальные индексированные значения. Полученные результаты (рис. 5) показали увеличение частоты формирования узких колец (а также снижение их размера) в меридиональные южные эпохи, к которым относятся периоды второй половины XX в. Первая меридиональная эпоха, выделяемая для территории Сибири в начале прошлого столетия, была северной (эпоха блокирующих процессов) и характеризовалась общим похолоданием. В этом периоде не выражена концентрация минимумов прироста, что подтверждается метеорологическими данными (в первой трети XX в. не наблюдалось выраженных засушливых явлений в Алтайском крае [17]). Стоит отметить, что на временны́х отрезках смен циркуляционных эпох фиксируется от одного до нескольких узких колец. Полученные выводы согласуются с результатами исследования связи меридиональных циркуляционных процессов с летними засухами в Западной Сибири и Казахстане [9] и отличаются от полученных ранее [23] для европейской территории России (ЕТР), где частота опасных атмосферных засух выше при преобладании широтных циркуляционных процессов. Для установления зависимостей между циркуляционными

процессами и формированием засушливых условий необходимо анализировать погодичное соотношение типов циркуляции на данной территории, так как проведенные исследования [8] показали отличие циркуляционных процессов, наблюдаемых в Сибири, от проходящих на территории Евразии, в том числе на ЕТР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданная трехсотлетняя хронология узких годичных колец сосны степной зоны юга Западной Сибири позволяет проводить ретроспективные исследования климатических аномалий, прежде всего засух. В проявлении минимумов прироста во времени выделяются внутривековые 2–3-, 5–6-, 11- и 54-летние циклы, более длительные циклы не фиксируются из-за ограниченности длины хронологий. При этом отмечается увеличение частоты минимумов радиального прироста во второй половине XX в., а также во второй половине XVIII – начале XIX в. Наименьшее количество узких колец деревьев приходится на конец XVII – начало XVIII в.

Увеличение частоты формирования узких колец в конце XX в. свидетельствует об увеличении экстремальности климатических условий за последние три столетия. Наибольшая концентрация минимумов прироста отмечается в периоды повышения температуры воздуха и наоборот, что наблюдается и в настоящее время. Результаты анализа распределения узких колец во времени согласуются с палеоклиматическими данными смены теплых и холодных периодов, полученными для Алтая различными методами (по древесно-кольцевым хронологиям [21], данным ледникового керна Белухи и донным отложениям Телецкого озера [16]).

Формирование узких годичных колец определяется снижением увлажнения территории (засухами) в течение текущего вегетационного периода и во второй половине предыдущего, а также снижением количества осадков в предшествующий зимний сезон. Установлена значимая корреляционная зависимость ($r = 0.6$, $p < 0.05$) ширины узких годичных колец сосны сухостепной подзоны района исследований от величины ГТК Селянинова вегетационного периода в год формирования минимума прироста, ГТК мая текущего и ГТК сентября предыдущего года.

Сопоставление частоты проявления минимумов прироста в периоды разных циркуляционных эпох позволило выявить определенные закономерности: концентрация узких годичных колец в ДКХ приурочена к периоду преобладания южных меридиональных циркуляционных процессов на территории Западной Сибири, которые, в свою очередь, предопределяют неблагоприятные засушливые явления.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках реализации проекта № 18-05-00694_а.

FUNDING

The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-00694_a).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтайский край. Атлас. Т. I. М.–Барнаул: ГУГК, 1978. 222 с.
2. *Барашкова Н.К.* Состояние глобальной циркуляции и экстремальные условия погоды на юге Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2002. № 3. С. 64–68.
3. *Демидко Д.А., Кривец С.А., Бисирова Э.М.* Связь радиального прироста и жизненного состояния у деревьев кедра сибирского // Вестн. Томского ун-та. Сер. биол. 2010. № 4 (12). С. 68–80.
4. *Демина А.В., Белокопытова Л.В., Андреев С.Г., Костякова Т.В., Бабушкина Е.А.* Динамика радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как индикатор гидротермического режима лесостепи Западного Забайкалья // Сиб. экол. журн. 2017. Т. 24. № 5. С. 553–566.
5. *Дзердзеевский Б.Л.* Общая циркуляция атмосферы и климат. М.: Наука, 1975. 285 с.
6. Звездчатый пилильщик-ткач: вредоносность, лесопатологические обследования в очагах и меры защиты / ред. Ю.И. Гниненко, Г.А. Серый, Е.Ю. Бондаренко. Пушкино: ВНИИЛМ, 2015. 60 с.
7. *Козлова Д.С., Харламова Н.Ф.* Изменения показателей экстремальности климата Алтайского края за период 1960–2010 гг. // Изв. Алтайского отд. РГО. 2013. № 34. С. 105–108.
8. *Кононова Н.К.* Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899–2017 гг. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 3. С. 108–123.
9. Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации / отв. ред. П.Я. Полубаринова-Кочина. Новосибирск: Наука, 1972. 506 с.
10. *Кучеров С.Е., Мулдашев А.А.* Радиальный прирост сосны обыкновенной в районе Карабашского медеплавильного комбината // Лесоведение. 2003. № 2. С. 43–49.
11. *Магда В.Н., Ойдупаа О.Ч., Блок Й.* Исследование географических особенностей климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий методами кластерного анализа // Изв. РГО. 2004. Т. 136. Вып. 6. С. 46–53.

12. *Малышева (Рыгалова) Н.В., Быков Н.И.* Дендрохронологические исследования ленточных боров юга Западной Сибири. Барнаул: Азбука, 2011. 125 с.

13. *Матвеев С.М., Матвеева С.В., Шурыгин Ю.Н.* Повторяемость сильных засух и многолетняя динамика радиального прироста сосны обыкновенной в Усманском и Хреновском борах Воронежской области // Журн. Сиб. фед. ун-та. Сер. биол. 2012. № 5. С. 27–42.

14. *Мыглан В.С.* Климат и социум Сибири в малый ледниковый период. Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2010. 230 с.

15. *Огурцов Л.А., Чередько Н.Н., Волкова М.А., Журавлев Г.Г.* Динамика показателей экстремальности климата на территории Западной Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 8. С. 633–639.

16. *Папина Т.С., Малыгина Н.С., Митрофанова Е.Ю.* Сравнение реконструкций изменения температуры на Алтае за последние 750 лет по данным с ледника на горе Белуха и донным осадкам Телецкого озера // Лёд и Снег. 2011. № 1 (113). С. 114–118.

17. *Ревякин В.С., Харламова Н.Ф.* Особенности засушливого климата на территории Алтайского края // Кулундинская степь: прошлое, настоящее, будущее. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2003. С. 305–312.

18. *Румянцев Д.Е., Кухта А.Е., Пучинская Д.В.* Климатический сигнал засух в хронологии ели из кисличного типа леса Центрально-лесного заповедника // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 2. С. 36–43.

19. *Рыгалова Н.В. Быков Н.И.* Пространственно-временная изменчивость климатического сигнала древесно-кольцевых хронологий ленточных и Приобских боров // Журн. Сиб. фед. ун-та. Сер. биол. 2015. Т. 8. № 4. С. 394–409.

20. *Соломина О.Н. и др.* Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным. М.–СПб.: Нестор-История, 2017. 360 с.

21. *Тайник А.В., Мыглан В.С., Баринов В.В., Назаров А.Н., Агатова А.Р., Henon P.K.* Прирост лиственницы сибирской (*Larix sibirica Ldb.*) на верхней границе леса в Республике Алтай // Изв. РАН. Сер. геогр. 2015. № 6. С. 61–71.

22. *Хантемиров Р.М., Горланова Л.А., Сурков А.Ю., Шиятов С.Г.* Экстремальные климатические события на Ямале за последние 4100 лет по дендрохронологическим данным // Изв. РАН. Сер. геогр. 2011. № 2. С. 89–102.

23. *Черенкова Е.А., Кононова Н.К.* Связь атмосферных засух в Европейской России в XX веке с макроциркуляционными процессами // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009. № 1. С. 73–82.

24. *Шиятов С.Г. и др.* Методы дендрохронологии. Ч. I. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2000. 80 с.

25. *Babushkina E.A., Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Tychkov I.I., Vaganov E.A., Krutovsky K.V.* Response of four tree species to changing climate in a moisture-limited area of South Siberia // Forests. 2019. V. 10. № 11. 99 p.

26. *Bloomfield P.* Fourier Analysis of Time Series: An Introduction. John Wiley & Sons Publ., 2000. 275 p.

27. *Cook E.R., Kairiukstis L.* Methods of Dendrochronology: applications in environmental sciences. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

28. *Cropper J.P.* Tree-ring skeleton plotting by computer // Tree-Ring Bull. 1979. V. 39. P. 47–60.

29. *He M., Bräuning A., Grießinger J., HochreutherP., Wernicke J.* May–June drought reconstruction over the past 821 years on the south-central Tibetan Plateau derived from tree-ring width series // Dendrochronologia. 2018. V. 47. P. 48–57.

30. *Holmes R.L.* Computer-assisted quality control in tree-ring data and measurement // Tree-Ring Bull. 1983. V. 43. P. 69–78.

31. *Jetschke G., Maaten E., Maaten-Theunissen M.* Towards the extremes: A critical analysis of pointer year detection methods // Dendrochronologia. 2019. V. 53. P. 55–62.

32. *Kopabayeva A., Mazarzhanova K., Köse N., Akkemik Ü.* Tree-ring chronologies of *Pinus sylvestris* from Burabai Region (Kazakhstan) and their response to climate change // Dendrobiology. 2017. V. 78. P. 96–110.

33. *Koprowski M., Przybylak R., Zielski A., Pospieszyńska A.* Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland // Int. J. of Biometeorology. 2012. V. 56 (1). P. 1–10.

34. *Kostyakova T.V., Babushkina E.A., Belokopytova L.V., Touchan R.* Precipitation reconstruction for the Khakassia region, Siberia, from tree rings // The Holocene. 2018. V. 3 (28). P. 377–385.

35. *Peterson T.C., Folland Ch., Gruza G., Hogg W., Mokssit A., Plummer N.* Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneve, Switzerland. 143 p. http://etccdi.pacificclimate.org/docs/wgccd.2001.pdf

36. *Rinn F.* TSAP V3.5. Computer program for tree-ring analysis and presentation. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.

37. *Risio Allione L., Lara W.H., Bogino S., Bravo F.* How aridity variations affect *Prosopis caldenia* growth in transitional forests in the semiarid Argentinean Pampas // Dendrochronologia. 2018. V. 50. P. 126–133.

38. *St. George S. et al.* The Tree-Ring Record of Drought on the Canadian Prairies // J. Climate. 2009. V. 22. P. 689–710.

39. *Tabakova M.A., Arzac A., Martínez E., Kirdyanov A.V.* Climatic factors controlling *Pinus sylvestris* radial growth along a transect of increasing continentality in southern Siberia // Dendrochronologia. 2020. V. 62. 125709.

40. *Ward J.H.* Hierarchical grouping to optimize an objective function // J. American Statistical Association. 1963. V. 58. Iss. 301. P. 236–244.

Spatiotemporal Analysis of the Formation of Narrow Tree-Rings of Pine Belt Forests in the Steppe Zone of Western Siberia

N. V. Rygalova[1, *] and N. F. Kharlamova[1]

[1]*Altai State University, Barnaul, Russia*

**e-mail: natalia.ml@mail.ru*

This article presents the results of the study of narrow pine tree-rings (*Pinus sylvestris* L.) of the belt forests (south of Western Siberia) in the steppe zone for the period from 1661 to 2019. In the analysis 19 tree-ring chronologies obtained from living trees and historical wood of old rural houses have been used. Narrow tree-rings in 75% of all chronologies have been noted for 2012, 2003, 1996, 1991, 1980, 1974, 1963, 1910, 1896, 1888, 1812, 1795, 1786, 1752, 1748, 1695, 1690 and 1688, which can be defined as regional pointer years. The increase in the frequency of formation of minimum radial growth in the second half of the 20th century, as well as in the second half of the 18th–early 19th centuries has been distinguished. The minimum number of narrow rings falls on the end of the 17th century–the beginning of the 18th century. Drought in the spring and summer period (especially in May) has been observed in the years of narrow rings formation in almost 100% of cases. Also significant is the deficit of precipitation in the preceding autumn-winter season. It has been established that the maximum concentration of pine growth minima falls on the periods of dominance of southern meridional circulation epochs.

Keywords: Narrow tree-rings, Scots pine, tree-ring chronology, pine belt forests, historical wood, drought, semi-arid territory, circulation epochs, pointer year

REFERENCES

1. *Altaiskii krai. Atlas* [Altai krai. Atlas]. Moscow, Barnaul: GUGK Publ., 1978, vol. 1. 222 p.
2. Barashkova N.K. State of global circulation and extreme weather conditions in the south of Western Siberia. *Geogr. Prir. Resur*, 2002, no. 3, pp. 64–68. (In Russ.).
3. Demidko D.A., Krivets S.A., Bisirova E.M. Connection between radial increment and tree vitality of Siberian stone pine. *Vestn. Tomsk. Gos. Univ., Ser. Biol.*, 2010, vol. 12, no. 4, pp. 68–80. (In Russ.).
4. Demina A.V., Belokopytova L.V., Andreev S.G., Kostyakova T.V., Babushkina E.A. Radial increment dynamics of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as an indicator of hydrothermal regime of the Western Transbaikalia forest steppe. *Sib. Ekol. Zh.*, 2017, vol. 24, no. 5, pp. 553–566. (In Russ.).
5. Dzerdzeevskii B.L. *Obshchaya tsirkulyatsiya atmosfery i klimat* [General Atmospheric Circulation and Climate]. Moscow: Nauka Publ., 1975. 285 p.
6. *Zvezdchatyi pilil'shchik-tkach: vredonosnost', lesopatologicheskie obsledovaniya v ochagakh i mery zashchity* [Acantholyda posticalis: Harmfulness, Forest Pathology Examinations in Hearths and Protection Measures]. Gninenko Yu.I., Seryi G.A., Bondarenko E.Yu., Eds. Pushkino: VNIILM, 2015. 60 p.
7. Kozlova D.S., Kharlamova N.F Changes in the Altai krai's climate extremes over the period 1960–2010. *Izv. Altai. Otd. Russ. Geogr. O-va*, 2013, vol. 34, no. 1, pp. 105–108. (In Russ.).
8. Kononova N.K. Types of global atmospheric circulation: results of monitoring and retrospective assessment for 1899–2017. *Fundam. Prikl. Klimatol.*, 2018, no. 3, pp. 108–123. (In Russ.).
9. *Kulundinskaya step' i voprosy ee melioratsii* [Kulunda Steppe and Land Reclamation Issues]. Polubarinova-Kochina P.Ya., Ed. Novosibirsk: Nauka Publ., 1972. 506 p.
10. Kucherov S.E., Muldashev A.A. Radial growth of ordinary pine in the area of Karabash copper smelting plant. *Lesovedenie*, 2003, no. 2, pp. 43–49. (In Russ.).
11. Magda V.N., Oidupaa O.Ch., Blok I. Study of geographical features of the climatic signal of tree-ring chronologies by methods of cluster analysis. *Izv. Russ. Geogr. O-va*, 2004, vol. 136, no. 6, pp. 46–53. (In Russ.).
12. Malysheva (Rygalova) N.V., Bykov N.I. *Dendrokhronologicheskie issledovaniya lentochnykh borov yuga Zapadnoi Sibiri* [Dendrochronological Studies of the Pine Belt Forests in the South of Western Siberia]. Barnaul: Azbuka Publ., 2011. 125 p.
13. Matveev S.M., Matveeva S.V., Shurygin Y.N. Repetitiveness of severe droughts and long-term dynamics of radial growth of ordinary pine in Usman and Khrenov pine forests of Voronezh oblast. *Zh. Sib. Fed. Univ., Ser. Biol.*, 2012, no. 5, pp. 27–42. (In Russ.).
14. Myglan V.S. *Klimat i sotsium Sibiri v malyi lednikovyi period* [Siberia's Climate and Society in the Little Ice Age]. Krasnoyarsk: Sib. Fed. Univ., 2010. 230 p.
15. Ogurtsov L.A., Cheredko N.N., Volkova M.A., Zhuravlev G.G. Dynamics of climate extremes in Western Siberia. *Optika Atmosfery i Okeana*, 2016, vol. 29, no. 8, pp. 633–639. (In Russ.).
16. Papina T.S., Malygina N.S., Mitrofanova E.Yu. Comparison of temperature change reconstructions in Altai over the last 750 years according to the data from the Belukha glacier and bottom sediments of the Teletskoye Lake. *Led i Sneg*, 2011, vol. 113, no. 1, pp. 114–118. (In Russ.).
17. Revyakin V.S., Kharlamova N.F. Features of arid climate in the Altai krai. In *Kulundinskaya step': proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Kulunda Steppe: Past,

Present, Future]. Barnaul: Altai. Univ., 2003, pp. 305–312. (In Russ.).

18. Rumyantsev D.E., Kukhta A.E., Puchinskaya D.V. Climatic signal of droughts at the Norway spruce chronology from oxalis acetosella site in Central forest reserve. *Vestn. Mosk. Gos. Univ. Lesa – Lesnoi Vestn.*, 2016, vol. 20, no. 2, pp. 36–43. (In Russ.).
19. Rygalova N.V., Bykov N.I. Spatiotemporal variation of the climatic signal of tree-rings chronology of the pine belt and pine forests in the Ob region. *Zh. Sib. Fed. Univ., Ser. Biol.,* 2015, vol. 8, no. 4, pp. 394–409. (In Russ.).
20. Solomina O. et al. *Zasukhi Vostochno-Evropeiskoi ravniny po gidrometeorologicheskim i dendrokhronologicheskim dannym* [Droughts of the East European Plain According to Hydrometeorological and Tree-Ring Data]. Moscow, St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2017. 360 p.
21. Tainik A.V., Myglan V.S., Barinov V.V., Nazarov A.N., Agatova A.R., Nepop R.K. Tree-ring growth of Siberian larch at the upper treeline in the Altai Republic. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2015, no. 6, pp. 61–71. (In Russ.).
22. Khantemirov R.M., Gorlanova L.A., Surkov A.Yu., Shiyatov S.G. Extreme climate events on Yamal for the last 4100 years according to dendrochronological data. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2011, no. 2, pp. 89–102. (In Russ.).
23. Cherenkova E.A., Kononova N. K. Relationship between atmospheric droughts in European Russia in the 20th century and macrocirculation processes. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2009, no. 1, pp. 73–82. (In Russ.).
24. Shiyatov S.G. et al. *Metody dendrokhronologii* [Methods of Dendrochronology]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Univ. Publ., 2000, vol. 1. 80 p.
25. Babushkina E.A., Zhirnova D.F., Belokopytova L.V., Tychkov I.I., Vaganov E.A., Krutovsky K.V. Response of four tree species to changing climate in a moisture-limited area of South Siberia. *Forests*, 2019, vol. 10, no. 11, 999. doi 10.3390/f10110999
26. Bloomfield P. *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction*. John Wiley & Sons Publ., 2000. 275 p.
27. Cook E.R., Kairiukstis L. *Methods of Dendrochronology: Applications in Environmental Sciences*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.
28. Cropper J.P. Tree-ring skeleton plotting by computer. *Tree-Ring Bull.*, 1979, vol. 39, pp. 47–60.
29. He M., Bräuning A., Grießinger J., HochreutherP., Wernicke J. May–June drought reconstruction over the past 821 years on the south-central Tibetan Plateau derived from tree-ring width series. *Dendrochronologia*, 2018, vol. 47, pp. 48–57.
30. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring data and measurement. *Tree-Ring Bull.*, 1983, vol. 43, pp. 69–78.
31. Jetschke G., Maaten E., Maaten-Theunissen M. Towards the extremes: A critical analysis of pointer year detection methods. *Dendrochronologia*, 2019, vol. 53, pp. 55–62.
32. Kopabayeva A., Mazarzhanova K., Köse N., Akkemik Ü. Tree-ring chronologies of *Pinus sylvestris* from Burabai Region (Kazakhstan) and their response to climate change. *Dendrobiol.*, 2017, vol. 78, pp. 96–110.
33. Koprowski M., Przybylak R., Zielski A., Pospieszyńska A. Tree rings of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a source of information about past climate in northern Poland. *Int. J. Biometeorol.*, 2012, vol. 56, no. 1, pp. 1–10.
34. Kostyakova T.V., Babushkina E.A., Belokopytova L.V., Touchan R. Precipitation reconstruction for the Khakassia region, Siberia, from tree rings. *The Holocene*, 2018, vol. 28, no. 3, pp. 377–385.
35. Peterson T.C., Folland C., Gruza G., Hogg W., Mokssit A., Plummer N. *Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001.* ICPO Publication Series, no. 48. Geneva: WMO, 2001. 143 p. Available at: http://etccdi.pacificclimate.org/docs/wgccd.2001.pdf (accessed: 08.11.2020).
36. Rinn F. *TSAP V3.5. Computer Program For Tree-Ring Analysis and Presentation*. Heidelberg: Frank Rinn Distribution, 1996. 264 p.
37. Allione L.R., Lara W.H., Bogino S., Bravo F. How aridity variations affect Prosopis caldenia growth in transitional forests in the semiarid Argentinean Pampas. *Dendrochronologia*, 2018, vol. 50, pp. 126–133.
38. St. George S., Meko D.M., Girardin M.P. et al. The tree-ring record of drought on the Canadian Prairies. *J. Clim.*, 2009, vol. 22, no. 3, pp. 689–710.
39. Tabakova M.A., Arzac A., Martínez E., Kirdyanov A.V. Climatic factors controlling *Pinus sylvestris* radial growth along a transect of increasing continentality in southern Siberia. *Dendrochronologia*, 2020, vol. 62, 125709. doi 10.1016/j.dendro.2020.125709
40. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.*, 1963, vol. 58, no. 301, pp. 236–244.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 120–135

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 556.53,556.55

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК И ВОДОЕМОВ РОССИИ И АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ

© 2021 г. В. А. Румянцев[a], Н. И. Коронкевич[b, *], А. В. Измайлова[a, **], А. Г. Георгиади[b], И. С. Зайцева[b], Е. А. Барабанова[b], В. Г. Драбкова[a], Н. Ю. Корнеенкова[a]

[a] *Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия*

[b] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**e-mail: hydro-igras@yandex.ru*

***e-mail: ianna64@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.05.2020 г.
После доработки 25.08.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

В статье приводится комплексная оценка водных ресурсов России, учитывающая речной сток, а также воды озер и водохранилищ, свидетельствующая о том, что при общей их большой величине они весьма неравномерно распределены по территории и во времени, как и их использование. Дана оценка водных ресурсов и удельной водообеспеченности по субъектам Российской Федерации. Проанализированы изменения водных ресурсов за последние десятилетия, происходящие под влиянием антропогенных факторов, и эффективность их использования. Выявлено существенное уменьшение водопотребления по сравнению с 1990 г., когда оно было наибольшим. Рассмотрено загрязнение речных и озерных вод. Показано, что антропогенная нагрузка на водные ресурсы России в целом ниже средних мировых показателей, по ряду показателей использования воды и состояния водных ресурсов ситуация лучше. Выявлено значительное уменьшение удельного водопотребления по отношению к ВВП. Однако в России все еще велики непроизводительные расходы воды, загрязнены многие реки и водоемы. Гидроэкологическая и водохозяйственная ситуация неблагополучна в ряде районов, особенно на Северном Кавказе, в низовьях Волги и Дона. Дана сценарная оценка возможного водопотребления на уровень 2030–2035 гг., сочетающая сценарии экономического развития и удельного водопотребления. Намечены пути минимизации негативных последствий антропогенного воздействия на водные ресурсы.

Ключевые слова: водные ресурсы России, озерные экосистемы, речной сток, водопотребление, сточные воды, безвозвратный расход, водообеспеченность, эффективность водопользования

DOI: 10.31857/S258755662101012X

ВВЕДЕНИЕ

Основным видом водных ресурсов традиционно считается речной сток, характеризующийся быстрой возобновляемостью. Но значительным источником водных ресурсов могут служить и статические запасы подземных и поверхностных вод. Известно, что интенсивное использование статических запасов, особенно тех, объемы которых невелики, неизбежно приводит к их истощению и неблагоприятным экологическим последствиям, тем большим, чем дольше период их возобновления. В то же время по мере интенсификации хозяйственной деятельности необходимость использования статических запасов пресной воды и прежде всего наиболее доступных из них, заключенных как в естественных водоемах (озерах), так и в созданных человеком (водохранилищах), нарастает. В результате к настоящему времени наряду с речным стоком воды озер и водохранилищ занимают важное место в водообеспечении многих территорий. Водные ресурсы подвергаются антропогенному воздействию, интенсивность которого в ряде регионов превышает скорость их возобновления. Очень важно, что антропогенное воздействие на водные ресурсы сопровождается загрязнением водных объектов, делающим часто невозможным их использование даже при больших запасах воды. Количественное и качественное истощение природных вод обычно сопровождается негативными изменениями водных и околоводных экосистем. В рамках настоящей статьи предложен комплексный анализ водных ресурсов рек и водоемов с учетом их количественных и качественных изменений, происшедших в последние десятилетия, и намечены пути минимизации негативных последствий, обусловленных воздействием антропогенных факторов на водную среду.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК И ВОДОЕМОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Средние многолетние общие ресурсы речного стока России составляют 4260 км^3 в год, изменяясь от 3760 км^3/год в 1954 г. до 4710 км^3/год в 1974 г. [21], из которых около 200 км^3/год формируется за пределами России. Таким образом, Россия, на долю которой приходится около 11% мировых общих ресурсов речного стока, занимает второе место в мире, уступая лишь Бразилии [22]. Наряду с быстро возобновляемыми водными ресурсами, еще 26745 км^3 пресной воды содержится в озерах и водохранилищах, из которых в озерах – 25855 км^3, что составляет более четверти от общих мировых запасов пресных озерных вод (91000 км^3), если ориентироваться на приближенную оценку, опубликованную в [25]. Однако водные ресурсы России весьма неравномерно распределены по территории и во времени и в основном не соответствуют распределению населения и экономики. На рис. 1 приведены карты удельной (на одного человека) водообеспеченоcти по субъектам Российской Федерации, рассчитанной по данным о возобновляемых водных ресурсах и о запасах вод в озерах и водохранилищах.

В настоящее время удельная водообеспеченность ресурсами речного стока в среднем по стране составляет около 28 тыс. м^3/чел. в год, что почти в 5 раз превышает среднюю по миру. Если ориентироваться на градацию удельной водообеспеченности, разработанную И.А. Шикломановым и О.Л. Марковой [23], она в России “очень высокая”. На каждого жителя приходится также ~176 тыс. м^3 озерных вод. Однако высокими значениями удельной водообеспеченности характеризуются прежде всего мало заселенные северные регионы страны. В то же время в регионах с низкой и средней водообеспеченностью речным стоком (с учетом как местного, так и транзитного) проживает почти 60% населения России, в том числе около 20% – в регионах, где водообеспеченность “очень низкая” и “катастрофически низкая”. Бóльшая часть регионов, в той или иной мере испытывающих водный дефицит, относится к зоне недостаточного увлажнения, однако и ряд регионов зоны достаточного увлажнения также его испытывают. Регионами с катастрофически низкой (до 1 тыс. м^3/чел.) удельной водообеспеченностью (см. рис. 1) являются Республика Крым и Севастополь, а также Москва и Московская область, с очень низкой (1–2 тыс. м^3/чел.) – Ставропольский край и Белгородская область. Еще в 13 субъектах Федерации, расположенных в южной части Европейской территории страны (ЕТС) и на юге Урала, удельная водообеспеченность низкая (2–5 тыс. м^3/чел.). Большинство регионов с низкой и средней водообеспеченностью обладают значительными запасами воды, содержащейся в искусственных водоемах, а ряд из них имеет и значительные запасы озерных вод. Согласно [14], в озерах, расположенных в зоне недостаточного увлажнения в регионах, характеризующихся пониженной водообеспеченностью, суммарно содержится 37 км^3 воды, в том числе 20 км^3 пресной, в водохранилищах – еще 113 км^3. В зоне достаточного увлажнения в озерах регионов с пониженной водообеспеченностью заключено 2.4 км^3 пресной воды, в водохранилищах – 4.5 км^3.

Наблюдаемый в ряде регионов дефицит водных ресурсов усиливается и за счет их временнóй вариативности. Для приведенной выше оценки водообеспеченности были использованы данные по средним за многолетний период значениям стока. Однако необходимо учитывать изменчивость стока как в многолетнем, так и во внутригодовом разрезе, в маловодные периоды водообеспеченность становится существенно ниже приведенной выше. На рис. 2 представлена динамика ресурсов речного стока России в целом и ее федеральных округов (ФО), а также ЕТС и Азиатской территории страны (АТС) в начале XXI в. (в связи с изменением границ за рассматриваемый период между Южным и Северо-Кавказским ФО по ним представлены суммарные данные).

Анализ изменения суммарных значений годового стока рек и удельной водообеспеченности населения в начале XXI в. и их сравнение с данными за период исчисления нормы стока (1930–1980 гг.) свидетельствует, что в последние годы практически по всем федеральным округам была характерна более высокая водообеспеченность. Для России в среднем это превышение составило 7%. Наибольшая прибавка в величине стока пришлась на 2001–2008 гг., тогда как в 2009–2016 гг. наблюдалось некоторое снижения стока. Отметим, что на величину удельной водообеспеченности оказало влияние и снижение в этот период численности населения в ряде регионов страны.

Поскольку пополнение озер в основном происходит за счет речного стока, смена многоводных периодов на маловодные по речному стоку вызывает снижение водных запасов. Однако в целом озера, особенно крупные, в силу своей инерционности медленнее реагируют на изменение увлажненности, что позволяет им при переходе к маловодной фазе в течение какого-то времени удерживать значительные запасы воды.

Необходимо отметить, что около 2/3 годового стока рек России приходится на сравнительно короткий период весеннего половодья, а основная

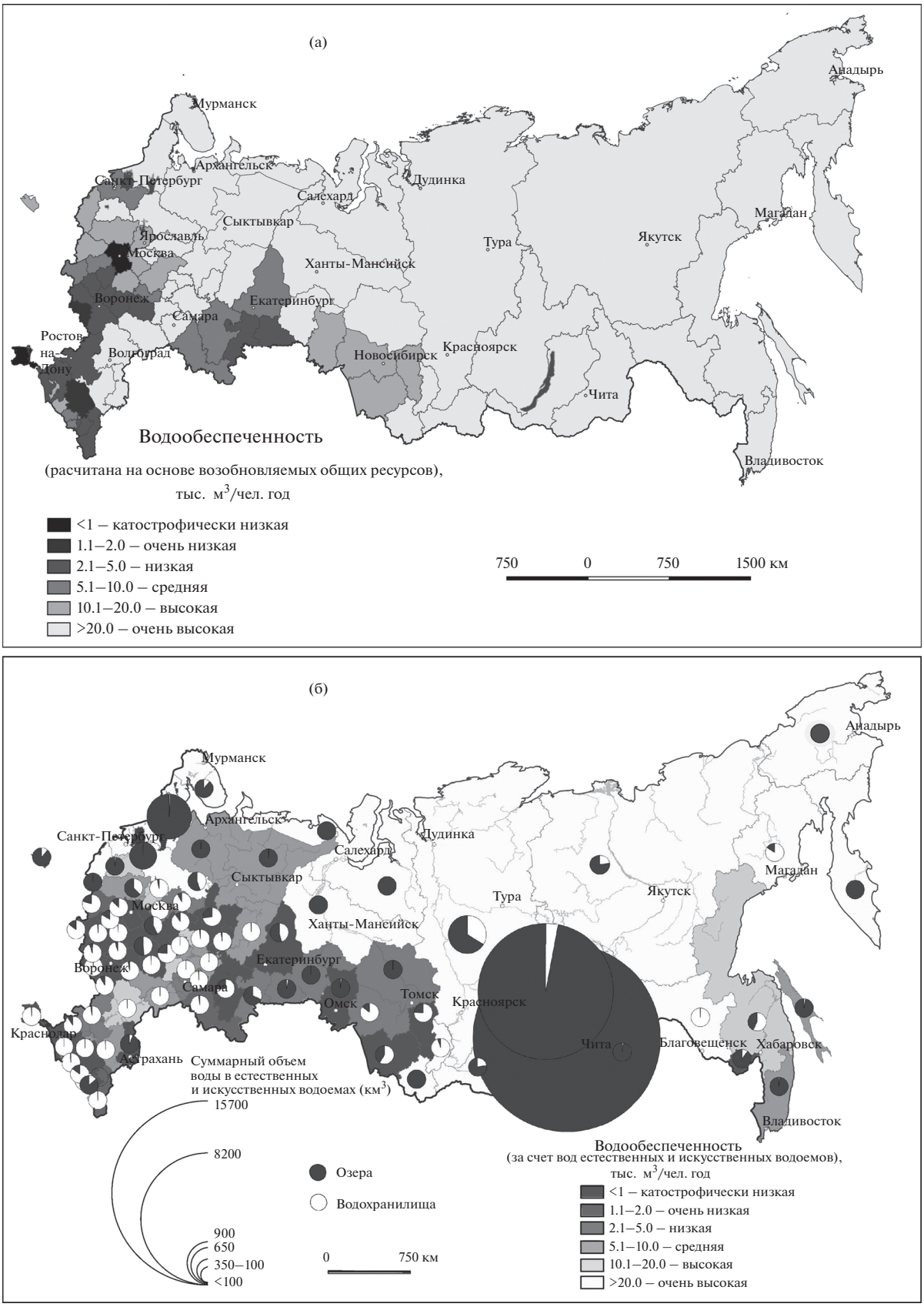

Рис. 1. Удельная водообеспеченность по субъектам Российской Федерации: (а) – за счет ресурсов речных вод (общие ресурсы, с учетом притока); (б) – за счет ресурсов вод озер и водохранилищ.

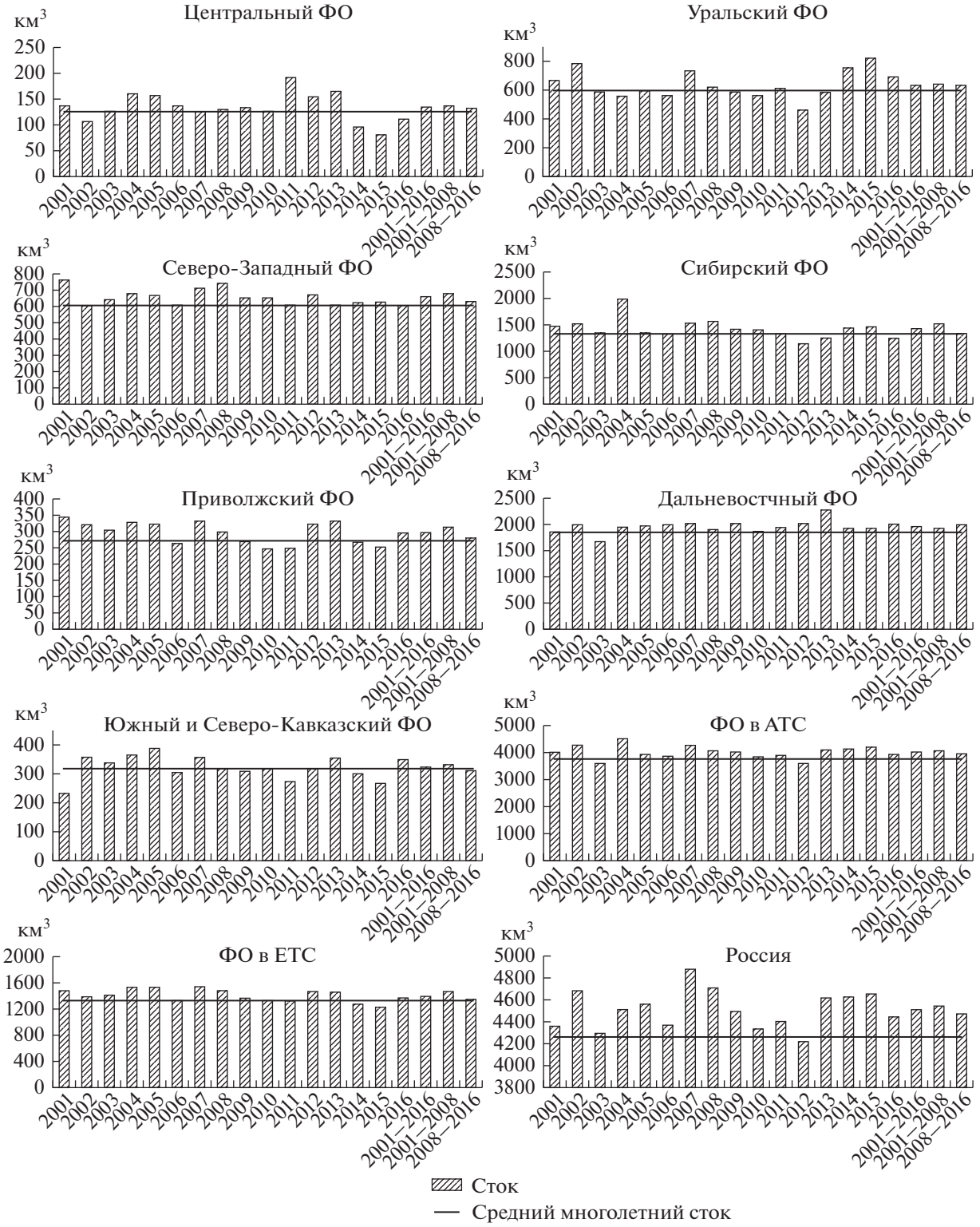

Рис. 2. Динамика ресурсов речного стока России и федеральных округов в начале XXI в.

потребность в воде наблюдается в меженный период, прежде всего – в период летне-осенней межени. Одним из наиболее опасных проявлений неравномерного внутригодового распределения стока являются наводнения, особенно на Дальнем Востоке и Кавказе. Хотя их опасность на территории России в целом не так велика, как во многих других регионах мира, например в Юго-

Восточной Азии [11]. Частичным решением проблемы неравномерного распределения во времени речного стока является искусственное зарегулирование стока.

АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Гидротехническое воздействие на величину водных ресурсов и их режим

В нашей стране гидротехническое строительство, особенно создание водохранилищ, актуально, учитывая, что по ресурсам устойчивого стока подземного происхождения территория России уступает среднемировым показателям почти в 1.8 раза. К настоящему времени в России создано более 2200 водохранилищ объемом свыше 1 млн м^3 каждое. Как указывалось в [22], полезный объем всех водохранилищ позволяет регулировать более 7% полного годового речного стока и свыше 12% стока половодья. Однако из-за несовершенства гидрометеорологических прогнозов, а зачастую и изменения режима попусков из водохранилищ процент реального зарегулирования меньше. Годовой речной сток потенциально наиболее зарегулирован в Приволжском (около 30%) и Центральном (около 18%) ФО. В Южном, Северо-Кавказском и Сибирском ФО величина регулирования близка к 9%, в Дальневосточном – 3.3%, Северо-Западном – 2.4%. Меньше всего зарегулирован сток в Уральском ФО – 0.5%.

В мертвом объеме водохранилищ России законсервировано более 500 км^3 воды, из которых 60% приходится на водохранилища Сибирского и Дальневосточного ФО. Влияние мертвого объема на сток сказывается в основном в годы заполнения водохранилищ, то есть главным образом оно имело место в середине XX в. Потери воды на дополнительное испарение с поверхности водохранилищ России объемом более 1 млн м^3 суммарно составляют около 11 км^3/год, причем более половины этого объема приходится на водохранилища Волжско-Камского каскада [4].

Еще одним видом гидротехнического воздействия на водные ресурсы является переброска речного стока. По данным [8], в России ежегодно перебрасывается около 17 км^3. Наиболее известна переброска около 2 км^3/год по каналу им. Москвы из Иваньковского водохранилища на Волге в бассейн р. Москвы.

ВОДОЗАБОР

В отличие от гидротехнического строительства, влияние которого на водные ресурсы сравнительно мало изменилось в последние десятилетия, водозабор резко изменился в сторону уменьшения в основном в связи с кризисными явлениями в экономике после распада СССР, перестройкой ее структуры в сторону менее затратного использования воды. На рис. 3 и в табл. 1 и 2 представлена динамика водозабора, сточных вод и безвозвратного расхода (рассчитываемого по разнице водозабора и объема сточных вод) за период от наибольшего водопотребления до последних лет. Данные для построения рисунка и таблиц почерпнуты из статистических справочников [6–8]. Заметим, что с начала 1960-х годов, когда начался систематизированный учет использования воды, до середины 1970-х годов наблюдался быстрый рост водопотребления, а затем оно было довольно стабильным с некоторой тенденцией роста до 1990 г. [2]. На рис. 3 и в табл. 1 и 2 приведены данные по водопотреблению с учетом подземных вод. Использование ресурсов подземных вод уменьшает водозабор из поверхностных водных объектов в 20 субъектах РФ на половину и больше. В то же время использование подземных вод, как представляется, сравнительно мало сказывается на реальной величине общего безвозвратного изъятия и уменьшения речного стока, поскольку изъятие подземных вод способствует усилению оттока вод рек и водоемов в подземные горизонты. С другой стороны, при определении безвозвратных изъятий не учитывается, что значительная часть сточных вод попадает в водные объекты в подогретом состоянии, увеличивая расход воды на испарение.

Из рис. 3 видно, что по сравнению с 1990 г. водозабор к 2017 г. снизился в России в 1.7 раза, безвозвратный расход – в 1.4 раза, объем сточных вод – почти в 2 раза. Быстрее всего это снижение происходило в 1990-е годы, а в начале XXI в. замедлилось. Наибольшее снижение произошло в производственном секторе и в орошаемом земледелии. Наибольшим в 2009–2016 гг. оно было в Дальневосточном ФО – до 55% от уровня 1990 г., наименьшим – в Уральском ФО, до 85% (см. табл. 2). Объем сточных вод больше всего снизился в Южном и Северо-Кавказском ФО (до 41%), а меньше всего – в Уральском ФО (до 94%). Уменьшение безвозвратного расхода оказалось наибольшим в Приволжском ФО (до 40%), а наименьшим – в Центральном – до 80% от уровня 1990 г. (см. табл. 2).

По отношению к средним многолетним ресурсам речного стока наибольший водозабор и сброс сточных вод в 2009–2016 гг. имел место в Центральном ФО, наименьший – в Дальневосточном (см. табл. 2). Наибольшая доля безвозвратного расхода – в Южном и Северо-Кавказском ФО, а наименьшая – в Дальневосточном. В европейской части страны водопотребление по отношению к средней многолетней величине речного стока заметно выше, чем в азиатской. По существу, эта разница еще больше, учитывая существенное увеличение в последние годы общих ресурсов речного стока в азиатской части по сравнению со средними многолетними значениями.

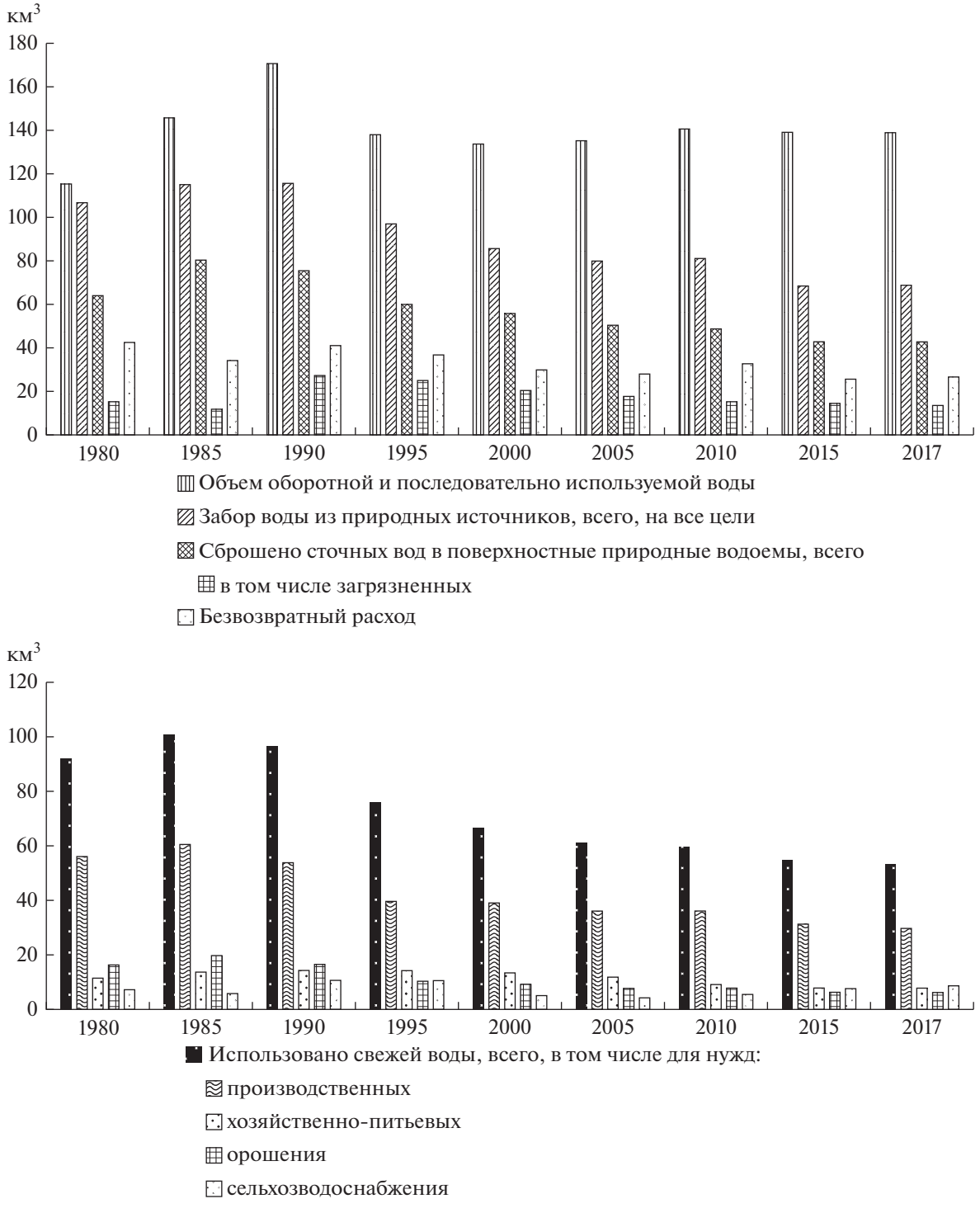

Рис. 3. Динамика использования водных ресурсов России в 1980–2017 гг.

ОБЩЕЕ АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Помимо гидротехнического воздействия и водозабора, на водные ресурсы оказывают влияние и другие факторы – такие, как агротехнические мероприятия на водосборах, урбанизация, лесное хозяйство, рекреация и пр. В данной работе влияние этих факторов не рассматривается, исходя из того, что согласно [15] они часто “взаимокомпенсируются”. Однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Таблица 1. Изменение водозабора (1), безвозвратного расхода (2) и сброса сточных вод (3) в федеральных округах России в начале XXI в.

Федеральный округ		2001–2016 гг.			2001–2008 гг.			2009–2016 гг.		
		показатель, млн м^3	доля от общероссийского, %	в сравнении с 1990 г.*, %	показатель, млн м^3	доля от общероссийского, %	в сравнении с 1990 г.*, %	показатель, млн м^3	доля от общероссийского, %	в сравнении с 1990 г.*, %
Центральный	1	13079	17.0	66.7	13733	16.9	70.1	12424	17.1	63.4
	2	4431	15.8	79.4	4388	15.2	78.7	4474	16.5	80.2
	3	8648	17.7	61.7	9345	17.9	66.7	7950	17.5	56.7
Северо-Западный	1	11790	15.3	78.4	12434	15.3	82.7	11146	15.4	74.1
	2	517	1.8	63.2	661	2.3	80.8	373	1.4	45.6
	3	11273	23.1	79.2	11773	22.5	82.8	10773	23.7	75.7
Южный и Северо-Кавказский**	1	24783	32.2	61.7	26036	32.1	64.8	23531	32.4	58.5
	2	16102	57.5	77.2	16606	57.7	79.6	15599	57.4	74.8
	3	8681	17.8	44.9	9430	18.0	48.8	7932	17.5	41.0
Приволжский	1	10583	13.8	61.2	11426	14.1	66.1	9740	13.4	56.3
	2	2594	9.3	42.9	2763	9.6	45.7	2425	8.9	40.1
	3	7989	16.3	71.1	8663	16.5	77.1	7315	16.1	65.1
Уральский	1	4891	6.4	85.0	4890	6.0	85.0	4892	6.7	85.0
	2	1755	6.3	69.5	1657	5.8	65.6	1853	6.8	73.3
	3	3136	6.4	97.2	3233	6.2	100.2	3039	6.7	94.2
Сибирский	1	9561	12.4	65.8	10429	12.9	71.7	8693	12.0	59.8
	2	1951	7.0	50.1	2138	7.4	54.9	1764	6.5	45.3
	3	7610	15.6	71.5	8291	15.8	77.9	6929	15.3	65.1
Дальневосточный	1	2121	2.8	57.2	2198	2.7	59.3	2044	2.8	55.2
	2	612	2.2	51.0	583	2.0	48.6	642	2.4	53.5
	3	1509	3.1	60.2	1615	3.1	64.5	1402	3.1	56.0
Россия	1	76853	100.0	66.2	81147	100.0	69.9	72559	100.0	62.5
	2	27987	100.0	68.4	28797	100.0	70.4	27176	100.0	66.4
	3	48866	100.0	65.0	52350	100.0	69.6	45383	100.0	60.4

Примечание. * Данные за 1990 г. для федеральных округов рассчитаны по субъектам РФ, входящим в них по состоянию на 2020 г.; ** суммарные данные по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам в связи с изменением их границ в рассматриваемый период.

Таблица 2. Отношение показателей водопотребления России и федеральных округов в 1990 г. и в начале XXI в. к ресурсам среднего многолетнего речного стока, %

Федеральный округ	Показатели водопотребления	1990 г.*	2001–2016 гг.	2001–2008 гг.	2009–2016 гг.
Центральный	Водозабор	15.6	9.8	10.2	9.4
	Сброс сточных вод	11.1	6.5	7.0	6.0
	Безвозвратный расход	4.5	3.3	3.3	3.4
Северо-Западный	Водозабор	2.5	1.8	1.8	1.8
	Сброс сточных вод	2.3	1.7	1.7	1.7
	Безвозвратный расход	0.2	0.1	0.1	0.1
Южный и Северо-Кавказский**	Водозабор	12.6	7.7	7.9	7.6
	Сброс сточных вод	6.1	2.7	2.8	2.6
	Безвозвратный расход	6.5	5.0	5.1	5.0
Приволжский	Водозабор	6.4	3.6	3.6	3.5
	Сброс сточных вод	4.1	2.7	2.8	2.6
	Безвозвратный расход	2.3	0.9	0.8	0.9
Уральский	Водозабор	1.0	0.8	0.8	0.8
	Сброс сточных вод	0.5	0.5	0.5	0.5
	Безвозвратный расход	0.5	0.3	0.3	0.3
Сибирский	Водозабор	1.1	0.7	0.7	0.7
	Сброс сточных вод	0.8	0.5	0.5	0.5
	Безвозвратный расход	0.3	0.2	0.2	0.2
Дальневосточный	Водозабор	0.2	0.1	0.1	0.1
	Сброс сточных вод	0.1	0.1	0.1	0.1
	Безвозвратный расход	0.1	>0.1	>0.1	>0.1
ФО в сумме, в том числе:	Водозабор	2.7	1.7	1.8	1.6
	Сброс сточных вод	1.8	1.1	1.2	1.0
	безвозвратный расход	0.9	0.6	0.6	0.6
ЕТС	Водозабор	7.0	4.3	4.4	4.2
	Сброс сточных вод	4.4	2.6	2.7	2.5
	Безвозвратный расход	2.6	1.7	1.7	1.7
АТС	Водозабор	0.6	0.4	0.4	0.4
	Сброс сточных вод	0.4	0.3	0.3	0.3
	Безвозвратный расход	0.2	0.1	0.1	0.1

Примечание. * Данные за 1990 г. для федеральных округов рассчитаны по субъектам РФ, входящим в них по состоянию на 2020 г.; ** суммарные данные по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам в связи с изменением их границ в рассматриваемый период.

На современном этапе в России в результате водозабора и строительства водохранилищ величина среднего многолетнего стока уменьшается на величину менее 1% [22]. Однако такое уменьшение оценивается в 5.5% в Южном и Северо-Кавказском ФО, 6.4% – в Приволжском ФО, 5.3% – в бассейне Волги и 12.3% – в бассейне Дона. В маловодные годы водохозяйственная и гидроэкологическая ситуации обостряются, поскольку доля уменьшения стока резко возрастает. Так, по отношению к диапазону изменений стока за 2003–2015 гг. среднее антропогенное изменение стока на уровне 2015 г. составляет в Центральном округе более 5%, в Южном и Северо-Кавказском – почти 12%, в бассейне Дона – около 20%. Заметим, что средние значения для федеральных округов не дают полного представления о водохозяйственной и гидроэкологической ситуациях в регионах. Например, в Ростовской области складывается очень напряженная ситуация.

Снижение притока в озера вследствие его разбора на хозяйственные нужды приводит к нарушению водного баланса, обмелению небольших водоемов и снижению грунтовых вод. Как пока-

Таблица 3. Кратность разбавления сточных вод ресурсами речного стока, раз

Федеральный округ, река	1990 г.*	2001–2016 гг.	2001–2008 гг.	2008–2016 гг.
Центральный	9	14	13	15
Северо-Западный	43	54	52	56
Южный и Северо-Кавказский**	15	35	32	38
Приволжский	24	34	31	37
Уральский	184	190	184	196
Сибирский	124	173	159	190
Дальневосточный	737	1225	1144	1317
р. Северная Двина	98	168	149	193
р. Печора	270	385	355	420
р. Дон	3	7	6	7
р. Волга	10	16	14	18
р. Кубань	1	2	1	2
р. Терек	3	14	9	27
р. Обь	51	59	55	65
р. Енисей	125	251	226	281
р. Лена	1971	2211	2043	2410
р. Амур	433	483	420	568
Россия	56	87	81	93
ЕТС	22	36	33	38
АТС	230	307	286	331

Примечание. * Данные за 1990 г. для федеральных округов рассчитаны по субъектам РФ, входящим в них по состоянию на 2020 г.; ** суммарные данные по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам в связи с изменением их границ в рассматриваемый период.

зало сравнение данных по современным площадям озер России с предшествующими оценками, в том числе с данными [22], в некоторых регионах за последние полстолетия произошло снижение площади естественных водоемов. В центральной и южной частях Европейской России исчезло до 20% и более малых водоемов. Снижение озерного фонда наиболее выражено в районах активного гидростроительства, являющихся и районами наиболее значимого антропогенного воздействия на природу.

Наряду с количественными изменениями водных ресурсов, происходит и снижение их качественных характеристик, связанное со сбросами в водоемы и водотоки сточных вод. При этом опасность представляют не только загрязненные сточные воды, но и так называемые условно чистые. В России, как следует из рис. 3, к 2017 г. по сравнению с 1990 г. объем сточных вод снизился на 57% – до 42.6 км^3/год, из них загрязненных – до 13.6 км^3/год (32%). Согласно табл. 2, на уровне 1990 г. доля сточных вод в речном стоке была наибольшей в Центральном ФО (11%), в начале XXI в. лидерство округа сохранилось, хотя доля сточных вод снизилась до 6%.

Еще одним показателем загрязнения водоемов и водотоков может служить кратность разбавления сточных вод речным стоком, представленная в табл. 3. Наименьшая кратность разбавления сточных вод – в Центральном, Южном, Северо-Кавказском, а также в Приволжском ФО. Наименьшая кратность разбавления сточных вод среди крупных рек России характерна для Дона, Кубани, Терека, Волги. Гораздо более благополучной выглядит ситуация для северных европейских, сибирских и дальневосточных рек. Однако, если судить по данным непосредственного определения качества воды (табл. 4), они также загрязнены из-за недостаточной очистки сточных вод, влияния диффузного загрязнения (практически не учитываемого статистикой) и судоходства, а также относительно невысокой самоочищающей способности водоемов и рек в северных регионах.

В отличие от речных вод, характеризующихся быстрой возобновляемостью, озера аккумулируют поступающее в них загрязнение. Антропогенная активность вызывает ускорение процессов эвтрофирования, заиления и ацидификации озерных экосистем, приводит к токсическому загрязнению вод. В свою очередь все эти процессы ведут к изменению водных сообществ, чаще всего в сто-

Таблица 4. Характеристика качества воды основных рек России*

Река	Качество воды
Восточный склон территории России:	
Амур	От условно чистой до грязной
Реки Камчатки	От условно чистой до слабо загрязненной
Реки Сахалина	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Южный склон территории России:	
Урал	От слабо загрязненной до загрязненной
Волга	От загрязненной до экстремально грязной
Ока	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Москва	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Терек	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Дон	От загрязненной до экстремально грязной
Кубань	От слабо загрязненной до грязной
Днепр	От слабо загрязненной до грязной
Западный склон территории России:	
Нева	От слабо загрязненной до загрязненной
Северный склон территории России:	
Северная Двина	От слабо загрязненной до грязной
Печора	От слабо загрязненной до грязной
Реки Кольского полуострова	От загрязненной до экстремально грязной
Обь	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Енисей	Загрязненная
Лена	От условно чистой до грязной

Примечание. * По [20].

рону их упрощения. Как указывалось в [22], на экологическом состоянии крупнейших водоемов, характеризующихся повышенной буферной способностью и обладающих значительной емкостью, прежде всего, сказываются антропогенное эвтрофирование и токсическое загрязнение, тогда как для малых, средних, а также крупных мелководных озер опасны все процессы.

Оценка изменений озерных экосистем была проведена для всех регионов России [13]. В ее основу положен анализ современных лимнологических данных о функционировании озерных экосистем в разных природных условиях и их реакции на антропогенную нагрузку. Экологические проблемы особенно резко выражены в водоемах Центрального, Приволжского и Южного ФО, характеризующихся наибольшей заселенностью и хозяйственной освоенностью территории и обладающих небольшим фондом естественных водоемов. Большинство водоемов центра и юга ЕТС испытывает проблемы, связанные с эвтрофированием и токсическим загрязнением. Для многих водоемов Приволжского и Южного ФО характерны также высокие скорости заиления.

Снижение речного притока приводит как к исчезновению небольших озер, так и к преобразованиям достаточно крупных, в том числе лагун и лиманов Черноморского и Азовского побережий. В условиях недостаточного увлажнения, характерного для большей части Южного и Северо-Кавказского ФО, обмеление сопровождается ростом солености воды и ухудшением ее качества. В последние десятилетия значительное снижение качества воды происходит не только в озерах центра и юга ЕТС, но и в водоемах ранее благополучных регионов, таких как Архангельская область, Ненецкий АО, Республика Коми и запад Сибири.

Существенные изменения в связи с длительной антропогенной нагрузкой произошли в экосистемах ряда озер среднего и южного Урала, Западной и Восточной Сибири. Арктические озера характеризуются малой устойчивостью к загрязнениям.

Суммарная оценка качества вод [12], проведенная для всех крупнейших водоемов страны, свидетельствует, что доля олиготрофных вод в больших озерах с начала XX в. по настоящее время сократилась более чем на 4%, а вод 1 класса качества – на 5%. Основная масса озерных вод стра-

ны (>95%) сконцентрирована в нескольких крупнейших глубоководных водоемах, в которых загрязнение пока затрагивает лишь прибрежную зону. Только в оз. Байкал сосредоточен 91% озерных вод России. Экологическое состояние многих крупных речных водохранилищ несравнимо хуже.

В озерах и водохранилищах Центрального, Приволжского, Южного и Северо-Кавказского ФО практически отсутствуют воды, которые можно было бы характеризовать как условно-чистые. Большинство из них наполняют воды 3 и 4, а в ряде случаев и 5 класса качества. Так, доля вод 5 класса качества в водоемах Северо-Кавказского ФО составляет ~11%. Мезотрофные воды доминируют в озерах и водохранилищах Центрального и Приволжского ФО, эвтрофные – Южного и Северо-Кавказского ФО. Доля гипертрофных вод невелика, наибольшая она в водоемах Южного ФО (~9%).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Под эффективным в данной статье понимается экономное, экологичное, соответствующее передовым технологиям использование водных и связанных с ними земельных и других ресурсов. Конечно, эти технологии должны учитывать природные и хозяйственные особенности каждого региона. Эффективность использования водных ресурсов можно оценивать по-разному, в том числе по размерам душевого водопотребления, расхода воды на единицу производимой продукции, на единицу площади орошаемых земель и др. Начиная с работ Н.Ф. Глазовского [5], в России получила распространение оценка эффективности использования воды по показателю водоемкости, рассчитываемому как отношение использованной воды (в $м^3$) к величине регионального валового продукта (в долларах или в рублях). Необходимо отметить, что СССР сильно отставал от ведущих стран мира по данному показателю, расходуя слишком много воды на единицу ВВП. Как уже было отмечено [22], этот показатель не лишен недостатков, в частности, он не учитывает специфики природных условий и связанной с ними структуры водопотребления. Он заведомо больше в странах, в структуре водопотребления которых основное место принадлежит орошаемому земледелию, и, соответственно, меньше в странах, в экономике которых превалируют машиностроение или торговля. Необходимо отметить, что в СССР одну из ведущих ролей в водопотреблении играло как раз орошаемое земледелие, прежде всего за счет его широкого развития в южных республиках. В России расходование воды в орошаемом земледелии не столь велико, поэтому ее место в рейтинге стран по удельному водопотреблению существенно выше, чем было у СССР. Изменения в структуре водопотребления России после распада СССР произошли в сторону преобладания менее водоемких производств. Скорость снижения водопотребления стала опережать падение валового продукта, и удельное водопотребление в расчете на единицу ВВП (ВРП) стало снижаться. Показатель общего удельного водопотребления, рассчитываемого по отношению расхода воды к величине ВВП по паритету покупательной способности (ППС) в долларах (рис. 4), по данным Международного валютного фонда (МВФ), к 2017 г. снизился в 5 раз по сравнению с 2000 г., а по данным Всемирного банка

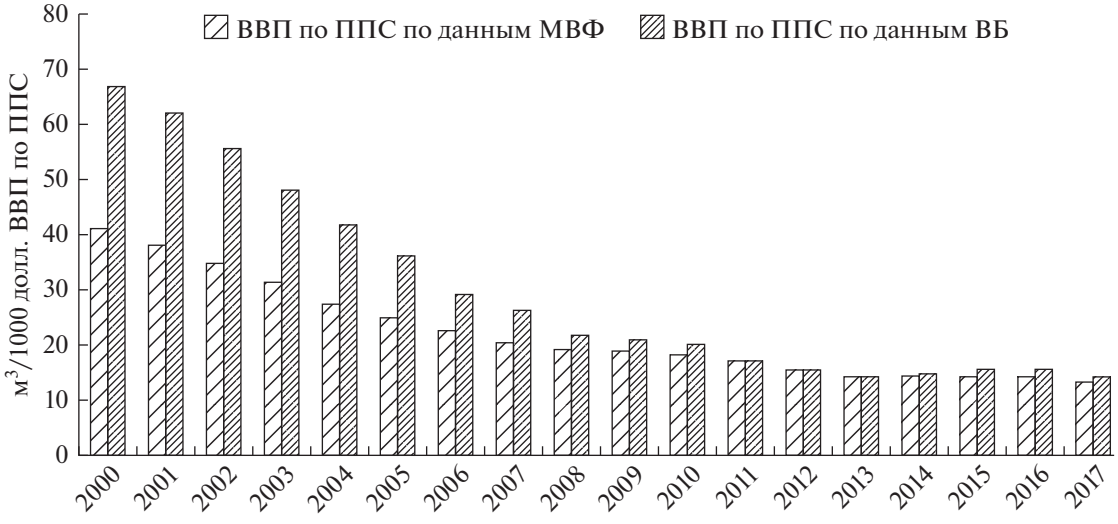

Рис. 4. Динамика удельного общего водопотребления в России ($м^3$/1000 долл. ВВП по ППС) по оценкам МВФ и ВБ.

(ВБ) – приблизительно в 3 раза. На 1000 долл. ВВП в последние годы в России воды расходуется в 1.4 раза меньше, чем, например, в США, в два раза меньше, чем в мире в целом [19, 24].

Наименьшее удельное водопотребление отмечается в Центральном ФО с развитой промышленностью и сферой услуг – 0.43 $м^3$/1000 руб. ВРП, а наибольший – в Северо-Кавказском ФО (5.8), где велика доля орошаемого земледелия. Как указывалось [22], Россия достигла высоких показателей во внедрении оборотного водоснабжения в промышленности, до 70–80% используемой воды приходится на оборотные системы водоснабжения. Несмотря на ряд лучших (по сравнению с мировыми) показателей использования воды, во многом обусловленных северным расположением и соответствующей структурой водопользования, использование водных ресурсов в России нельзя в целом признать высокоэффективным, хотя бы из-за того, что более 10% забранной воды теряется на пути к потребителю, из-за загрязнения водных ресурсов, наличия острых водохозяйственных и гидроэкологических проблем в ряде регионов страны, а также из-за больших изъятий земельных ресурсов при гидротехническом строительстве.

На Россию, занимающую 13% территории суши, приходится 16% площади водохранилищ мира, то есть затопление земель при их создании в среднем в 1.2–1.3 раза превысило общемировые показатели. Если сравнить площадь затопления, приходящуюся на 1 $км^3$ полного и полезного объемов, то в России она составляет около 60 и 138 $км^2$ соответственно, тогда как для мира в целом – 56 и 90 $км^2$.

Конечно, в настоящее время создание новых крупных водохранилищ на равнинных территориях практически исключено, оно будет происходить в горных районах, где удельное затопление земель невелико. В равнинных же условиях перспективно дальнейшее строительство малых водохранилищ и прудов. В помощь им в регулировании стока можно рекомендовать правильную организацию водосбора с разумным чередованием лесных и безлесных участков, проведение агролесомелиоративных мероприятий по задержанию на полях поверхностного стока. Вместе с тем, спуск ранее созданных на равнине водохранилищ, таких как водохранилища Волжско-Камского каскада, Цимлянское, к чему призывают некоторые исследователи, нецелесообразен, что хорошо показал еще А.Б. Авакян [1].

Значительные возможности дальнейшего повышения эффективности использования водных ресурсов в орошении кроются в широком применении капельного и внутрипочвенного орошения, как это уже сейчас практикуется во многих хозяйствах Астраханской области.

Ранее нами уже публиковались [22] данные вариантного прогноза водопотребления на уровне 2030–2035 гг. в федеральных округах, сочетающие сценарии экономического развития и удельного водопотребления. Их результаты представлены на рис. 5. Рассматривались следующие сценарии экономического развития: максимальное развитие экономики (при росте промышленного производства в предстоящие 10–15 лет на 4% ежегодно, хозяйственно-бытового сектора на 10% к концу расчетного периода; сельскохозяйственного водоснабжения и орошаемого земледелия, а также прочих нужд – на 3% ежегодно) при существующем водопотреблении; умеренное развитие экономики (при росте промышленного производства на 2%, хозяйственно-бытового сектора – на 3% к концу расчетного периода, сельскохозяйственного водоснабжения и орошаемого земледелия, а также прочих нужд – на 1% ежегодно) при максимальном снижении водопотребления (удельное водопотребление снижается к 2030–2035 гг. в промышленности в 1.5 раза, в хозяйственно-бытовом секторе – на 20%, в сельскохозяйственном водоснабжении, орошении и на прочие нужды – в 1.3 раза); экстраполяционный вариант, исходящий из современных тенденций водопотребления. Очевидны гидроэкологические преимущества сценария, подразумевающего умеренное развитие экономики при максимальном снижении удельного водопотребления.

Важнейшим показателем эффективности использования водных ресурсов является уровень их загрязнения. В этой связи необходимо постоянно совершенствовать системы очистки сточных вод. При этом следует также учесть запаздывание новых технологий очистки по сравнению с появлением новых загрязняющих веществ. Также необходимо критично отнестись к практике ориентирования на самоочищающую способность рек и водоемов. Даже очищенные сточные воды нуждаются в дальнейшем многократном разбавлении чистой водой, объемов которой часто недостаточно.

Уже с конца XX в. стало очевидно [17, 18], что наиболее радикальным средством борьбы с загрязнением вод промышленными сточными водами является максимально возможный переход на замкнутые циклы водоснабжения без сброса сточных вод в водные объекты и безводные технологии. Данный путь решения экологических проблем является дорогостоящим, но он представляется наиболее перспективным. Борьба с диффузным загрязнением (прежде всего сельскохозяйственные стоки) включает проведение системы агротехнических и лесомелиоративных мероприятий на водосборах, что требует меньших денежных, но значительных трудовых вложений. К снижению диффузного выноса биогенов также приводит переработка навоза на установках по

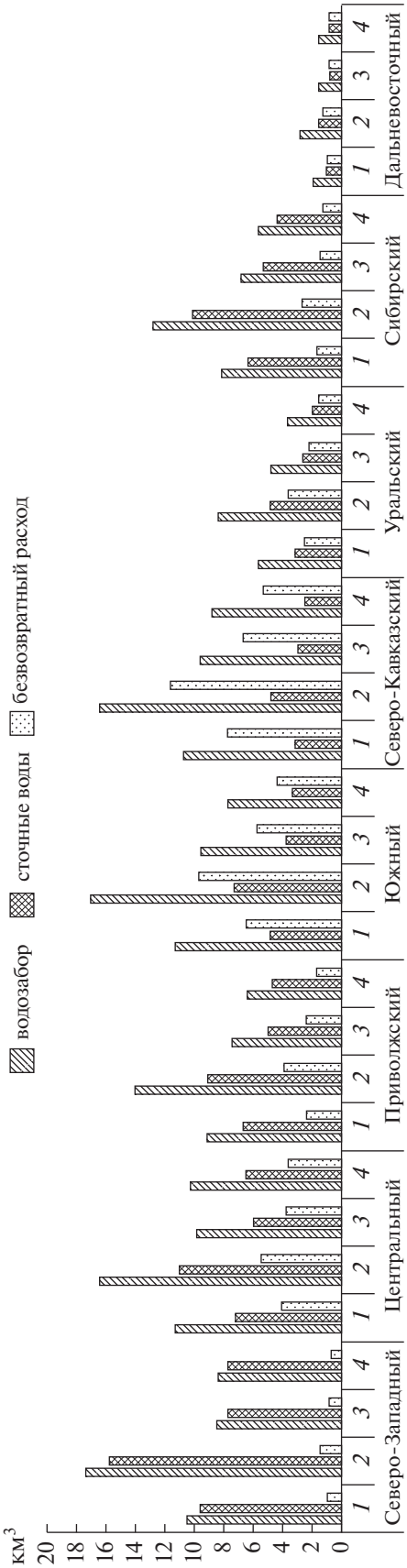

Рис. 5. Сценарии возможного водопотребления в федеральных округах России на уровне 2030–2035 гг.
Условные обозначения: *1* – современный водозабор; *2* – максимальное развитие экономики при существующем удельном водопотреблении; *3* – умеренное развитие экономики при максимальном снижении удельного водопотребления; *4* – экстраполяционный вариант.

производству биогаза. Целый ряд мер по повышению эффективности использования водных ресурсов содержится в работах [3, 9, 10, 16].

Необходимы и дополнительные меры для поддержания экологического здоровья озерных экосистем. При этом если экологическое состояние крупнейших озер уже давно является объектом пристального внимания, то внимание к малым водоемам крайне недостаточное. Актуально усилить внимание к экологическому состоянию озер, расположенных в регионах с наибольшей плотностью населения. Количество озер, уже получивших охранный статус, могло бы быть расширено. Для сохранения озер и улучшения их состояния требуются регулярные мониторинговые работы, проводимые на всех водоемах, получающих охранный статус, которые в настоящее время фактически не проводятся. Для получения дополнительного финансирования таких работ может быть учтен европейский опыт платных услуг, предоставляемых на большинстве водоемов, имеющих рекреационный интерес. Владелец права на предоставление таких услуг, во-первых, должен будет нести ответственность за поддержание водоема на должном экологическом уровне, во-вторых, при строгом контроле его деятельности он будет заинтересован в разработке мер по его оздоровлению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное рассмотрение ресурсов рек, озер и водохранилищ показывает, что Россия располагает очень большими суммарными запасами воды. Однако они, как и их использование, крайне неравномерно распределены по территории и во времени.

Созданные в России водохранилища позволяют регулировать более 7% годового речного стока и свыше 12% стока половодья. Переброски стока сравнительно невелики. Водозабор в России на различные нужды составил в 2009–2016 гг. в среднем около 73 км^3/год, безвозвратный расход – 27 км^3/год, а сброс сточных вод в реки и водоемы – немногим более 45 км^3/год, что составляет несколько более 60% наибольших их объемов на уровне 1990 г. Совокупное уменьшение стока в результате водозабора и влияния водохранилищ оценивается менее чем в 1% величины среднего многолетнего стока России. Однако в ряде речных бассейнов, особенно в южной части европейской территории страны, это уменьшение значительно выше.

Главную угрозу для водных объектов представляет их загрязнение сточными водами и стоком, поступающим с водосборов. Загрязнены воды большинства крупных рек России и многих водоемов, хотя крупнейшие озера (Байкал, Ладож-

ское, Онежское) остаются пока относительно чистыми.

Наиболее напряженная водохозяйственная и гидроэкологическая ситуация складывается на Северном Кавказе, в устьевых частях Волги и Дона, в Крыму.

Показатель общего удельного водопотребления, рассчитываемый по отношению расхода воды к величине ВВП, снизился к 2017 г. по сравнению с 2000 г. в 3–5 раз (по разным оценкам). Однако использование водных ресурсов в России все еще нельзя считать эффективным из-за большого объема непроизводительных ее расходов, загрязнения многих рек и водоемов, неблагополучной гидроэкологической и водохозяйственной ситуацией в целом ряде регионов.

Вместе с тем, как показывают и сценарные расчеты на уровень 2030–2035 гг., существует реальная возможность исправить существующую ситуацию за счет улучшения очистки сточных вод, более широкого внедрения систем оборотного водопользования, перехода к маловодным и безводным технологиям и др. Наряду с разработкой технических решений необходимо также совершенствование системы гидрологического мониторинга, юридических и правовых мер по охране водного элемента окружающей среды, повышение уровня гидроэкологических знаний населения, особенно лиц, принимающих решения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНОЗ РАН по темам № 0154-2018-0004 и № 0154-2014-0005 (оценка водных ресурсов водоемов), Государственного задания ИГРАН № 0148-2019-0007 (оценка водных ресурсов речного стока) и при поддержке РФФИ грант № 18-05-00479 (анализ антропогенного воздействия на водные ресурсы)

FUNDING

The work was carried out within the framework of the state-ordered research themes of the Institute of Limnology RAS (no. 0154-2018-0004, no. 0154-2014-0005), the Institute of Geography RAS (no. 0148-2019-0007), and with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-00479).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авакян А.Б.* Народнохозяйственные и экологические последствия спуска водохранилищ // Гидротехническое строительство. 1991. № 8. С. 1–8.
2. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003. 368 с.
3. *Болгов М.В., Демин А.П.* Водохозяйственные и экологические проблемы Нижней Волги и пути их решения // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 2. С. 211–220.
4. Водные ресурсы России и их использование / ред. И.А. Шикломанов. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
5. *Глазовский Н.Ф.* Глобальные закономерности распределения ресурсоемкости экономики // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 3. С. 12–22.
6. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 г.”. М.: НИА-Природа, 2017. 650 с.
7. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 г.”. М.: НИА-Природа, 2018. 660 с.
8. Государственный доклад “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 г.”. М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.
9. *Данилов-Данильян В.И.* Водные ресурсы России: состояние, использование, охрана, проблемы управления // Экономика. Налоги. Право. 2019. Т. 12. № 5. С. 18–31.
10. *Данилов-Данильян В.И., Вениционов Е.В., Аджиенко Г.В., Козлова М.А.* Оценка современных подходов к управлению качеством поверхностных вод и их охране // Вестн. РАН. 2019. Т. 89. № 12. С. 1248–1259.
11. *Добровольский С.Г., Истомина М.Н.* Наводнения мира. М.: ГЕОС, 2006. 225 с.
12. *Драбкова В.Г., Измайлова А.В.* Оценка изменения состояния вод крупнейших озер и водохранилищ Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 22–29.
13. *Измайлова А.В.* Озера России. Закономерности распределения, ресурсный потенциал. СПб.: Папирус, 2018. 288 с.
14. *Измайлова А.В.* Удельная водообеспеченность и озерный фонд регионов водного дефицита // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 6–24.
15. *Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутина Е.А., Мельник К.С.* Гидрология антропогенного направления: становление, методы, результаты // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017а. № 2. С. 8–23.
16. *Косолапов А.Е., Матвеева Л.Г.* Управление эффективностью водообеспечения региональной системы // Региональная экономика. Юг России. 2018. № 4. С. 170–181.
17. *Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П., Сенин В.Н.* Проблемы развития безотходных производств. М.: Стройиздат, 1981. 207 с.
18. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
19. Мировой Атлас Данных. Мировая и региональная статистика, национальные данные, карты и рейтинги. http://knoema.ru/atlas
20. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2017. 216 с.
21. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. (Ежегодное издание) 2016 г. М.: ООО “РПЦ Офорт”, 2017. 164 с.

22. *Румянцев В.А., Коронкевич Н.И., Измайлова А.В., Георгиади А.Г., Зайцева И.С., Барабанова Е.А., Долгов С.В., Корнеенкова Н.Ю.* Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и пути минимизации их негативных последствий // Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике. Минск: СтройМедиаПроект, 2019. С. 193–209.

23. *Шикломанов И.А., Маркова О.Л.* Проблемы водных ресурсов и переброс стока в мире. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 196 с.

24. FAO: AQUASTAT database. www.fao.org/nr/water

25. World Water Resources at the Beginning of 21st Century / Shiklomanov I.A., Rodda J.C. (Ed.). Cambridge Univ. Press, 2003. 450 p.

Water Resources of Rivers, Lakes and Reservoirs of Russia and Anthropogenic Impacts on Them

V. A. Rumyancev[1], N. I. Koronkevich[2, *], A. V. Izmailova[1, **], A. G. Georgiadi[2], I. S. Zaitseva[2], E. A. Barabanova[2], V. G. Drabkova[1], and N. Yu. Korneenkova[1]

[1]Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

[2]Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**e-mail: hydro-igras@yandex.ru*

***e-mail: ianna64@mail.ru*

The article provides a comprehensive assessment of the water resources of Russia, considering the river runoff, as well as the waters of lakes and reservoirs. The assessment indicates that, with their total large quantity, they are very unevenly distributed and used over the territory and in time. Water resources for the federal subjects of the Russia are estimated. Maps of specific water availability for the federal subjects have been drawn, areas with low water availability have been identified. The recent changes occurring with water resources under the influence of anthropogenic factors and the effectiveness of their modern use are analyzed. A significant decrease in water consumption has been revealed to date compared to 1990, when it was the highest. The pollution of river and lake waters is considered. It is shown that the anthropogenic load on Russia's water resources is generally lower than the global average, and a number of indicators of water use and water resources condition is better. A significant decrease in specific water consumption in relation to GDP in recent years has been revealed. However, in Russia there are still large volumes of unproductive water consumption, many rivers and water bodies are polluted. The hydroecological and water management situation is unfavorable in a number of regions, especially in the North Caucasus, in the lower reaches of the Volga and Don rivers. A scenario assessment of possible water consumption in the federal districts of Russia at the level of 2030–2035, combining scenarios of economic development and specific water consumption, is given. It is shown that the most acceptable scenario is one that assumes moderate economic development and a further decrease in specific water consumption. Ways to minimize the negative consequences of anthropogenic impact on water resources are outlined.

Keywords: water resources of Russia, lake ecosystems, river runoff, water use, wastewater, water consumption, water availability, water use efficiency

REFERENCES

1. Avakyan A.B. Economic and environmental consequences of reservoir discharge. *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*, 1991, no. 8, pp. 1–8. (In Russ.).

2. *Antropogennye vozdeistviya na vodnye resursy Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v kontse XX stoletiya* [Anthropogenic Impacts on Water Resources of Russia and Neighboring Countries at the End of the 20th Century]. Moscow: Nauka Publ., 2003. 368 p.

3. Bolgov M.V., Demin A.P. Water-management and environmental problems of the Lower Volga and ways to their solution. *Water Resour.*, 2018, vol. 45, pp. 297–305. doi 10.1134/S0097807818020033

4. *Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie* [Water Resources of Russia and their Use]. Shiklomanov I.A., Ed. St. Petersburg: GGI Publ., 2008. 600 p.

5. Glazovskii N.F. Global patterns of distribution of resource intensity on the economy. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1992, no. 3, pp. 12–22. (In Russ.).

6. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2016* [State Report on "The State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2016"]. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2016. 650 p.

7. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2017* [State Report on "The State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2017"]. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2018. 660 p.

8. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2018* [State Report on the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2018"]. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2019. 290 p.

9. Danilov-Danilyan V.I. Water resources of Russia: state, use, protection, management problems. *Ekonomika. Nalogi. Pravo.* 2019, vol. 12, no. 5, pp. 18–31. (In Russ.).
10. Danilov-Danilyan V.I., Venitsianov E.V., Adzhienko G.V., Kozlova M.A. Assessment of modern approaches to surface water quality management and protection. *Vestn. Ross. Akad. Nauk*, 2019, vol. 89, no. 12, pp. 1248–1259. (In Russ.).
11. Dobrovol'skii S.G., Istomina M.N. *Navodneniya mira* [Floods of the World]. Moscow: GEOS Publ., 2006. 225 p.
12. Drabkova V.G., Izmailova A.V. Change in water condition of major lakes and reservoirs of Russia. *Geogr. Nat. Resour.,* 2014, vol. 35, pp. 319–325. doi 10.1134/S1875372814040039
13. Izmailova A.V. *Ozera Rossii: zakonomernosti raspredeleniya, resursnyi potentsial* [Lakes of Russia. Patterns of Distribution, Resource Potential]. St. Petersburg: Papirus Publ., 2018. 288 p.
14. Izmailova A.V. Specific water availability and lake fund of water scarcity regions. *Vodn. Khozyaistvo Rossii: Probl., Tekhnol., Upravlenie*, 2019, no. 5, pp. 6–24. (In Russ.).
15. Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Zaitseva I.C., Kashutina E.A., Melnik K.S. Hydrology of the anthropogenic direction: formation, methods, results. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2017, no. 2, pp. 8–23. (In Russ.).
16. Kosolapov A.E., Matveeva L.G. Management of the efficiency of water supply of the regional system. *Reg. Ekon. Yug Rossii*, 2018, no. 4, pp. 170–181. (In Russ.).
17. Laskorin B.N., Gromov B.V., Tsyganov A.P., Senin V.N. *Problemy razvitiya bezotkhodnykh proizvodstv* [Problems of Development of Non-Waste Production]. Moscow: Stroiizdat Publ., 1981. 207 p.
18. L'vovich M.I. *Mirovye vodnye resursy i ikh budushchee* [World Water Resources and Their Future]. Moscow: Mysl' Publ., 1974. 448 p.
19. World Data Atlas. World and Regional Statistics, National Data, Maps, and Ratings. Available at: http://knoema.ru/atlas (accessed: 08.11.2020).
20. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhaushchei sredy v Rossiskoi Federatsii* [Overview of the State and Environmental Pollution in the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet, 2017. 216 p.
21. *Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispolzovanie i kachestvo. (Ezhegodnoe izdanie) 2016* [Resources of Surface and Groundwaters, Their Use and Quality. (Annual Edition) 2016]. Moscow: RPTs Ofort Publ., 2017. 164 p.
22. Rumyantsev V.A., Koronkevich N.I., Izmailova A.V., Georgiadi A.G., Zaitseva I.C., Barabanova E.A., Dolgov S.V., Korneenkova N.Yu. Anthropogenic impacts on Russia's water resources and ways to minimize their negative consequences. In *Ekologo-geograficheskie Problemy Perekhoda k Zelenoi Ekonomike* [Ecological and Geographical Problems of the Transition to Green Economy]. Minsk: StroiMediaProekt Publ., 2019, pp. 193–209. (In Russ.).
23. Shiklomanov I.A., Markova O.L. *Problemy vodnykh resursov i perebrosok stoka v mire* [Water Resources Problems and the Diversion of Runoff in the World]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1987. 196 p.
24. AQUASTAT – FAO's Global Information System on Water and Agriculture. FAO, 2020. Available at: http://www.fao.org/aquastat/en/ (accessed: 08.11.2020).
25. *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century.* Shiklomanov I.A., Rodda J.C., Eds. Cambridge University Press, 2003. 450 p.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 136–145

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 551.438.5:556.51/.54 (470-25)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДОСБОРНЫХ БАССЕЙНОВ ЦЕНТРА МОСКВЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

© 2021 г. Э. А. Лихачева[a], Н. В. Аникина[a], *, А. Н. Маккавеев[a], **

[a] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**e-mail: nikitina.nadine@gmail.com*

***e-mail: aleksander-mackaveeff@yandex.ru*

Поступила в редакцию 23.05.2019 г.
После доработки 09.02.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Одна из характерных черт центра Москвы – густая сеть подземных коммуникаций разного возраста, в том числе коллекторов малых рек. Проведено сравнение "Нивеллирного плана города Москвы" 1888 г. с топографической картой Москвы 1984 г. издания. Общий характер рельефа центра города за 100 лет практически не изменился, абсолютные отметки рельефа увеличились не более чем на 0.6 м в среднем. На примере в настоящее время забранных в коллектор рек – Неглинной, Пресни, Чечёры и Золотого Рожка – показано, что антропогенные изменения с конца XIX в. до настоящего времени привели к тому, что густота эрозионной сети стала близка практически к нулю, а площадь субгоризонтальных поверхностей увеличилась. Однако если в долинах малых городских рек, текущих на поверхности, геоморфологические процессы замирают, то спрятанные в коллектор такие реки становятся местами интенсификации суффозионно-просадочных явлений, подтопления и деформаций зданий и сооружений, приносящих значительный ущерб городскому хозяйству. Упростились структура и морфометрические показатели водосборных бассейнов, а значительная часть их площади стала водонепроницаемой. Несмотря на уменьшение уклонов рельефа, скорости течения и мощности потоков возросли, а с ними и их эрозионный потенциал. В настоящее время сохраняется угроза ливневых паводков.

Ключевые слова: водосборный бассейн, антропогенная трансформация, техногенно погребенные реки, поверхностный сток, морфометрия речных бассейнов

DOI: 10.31857/S2587556621010106

ВВЕДЕНИЕ

Урбанизированную морфолитосистему территориально можно представить, как систему водосборов поверхностного стока (речных, овражно-балочных). Она гораздо сложнее, чем природная, и проходящие в ней процессы способствуют возникновению новой организованности системы водосборного бассейна [7, 10].

Изучение особенностей функционирования современной системы водосборных бассейнов – одна из приоритетных задач инженерной геоморфологии и геоэкологии. Без решения этой задачи невозможен объективный прогноз развития городской среды. Влияние различных видов хозяйственной деятельности на водный баланс водосборов еще недостаточно исследовано. Анализ данных о потерях или изменениях стока (водозаборе, переброске, регулировании плотинами) не дает надежной основы для прогноза развития бассейна. Необходимо выявление всего комплекса элементов сложной структуры стока и особенно оценка степени антропогенной трансформации рельефа.

В данной работе показано, что для решения поставленной задачи можно использовать картометрические методы. В том числе сопоставление морфометрических характеристик современной и утраченной сети, сравнение карт разных периодов освоения, которое дает возможность оценить изменения площади поверхностей различной крутизны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Данная работа основана на анализе морфометрических параметров рельефа. Одним из методов изучения трансформации рельефа служит сравнение разновременных топографических карт. В 1870 г. Московская городская дума, планируя развитие городской канализации, приняла решение о создании новой карты города, содержащей метрические сведения о рельефе. Выиграл проект, поданный преподавателями Константиновского межевого института – Н.Н. Смирновым,

Д.П. Рашковым и А.П. Захаровым (последний в дальнейших работах не участвовал), и в 1874–1877 гг. была проведена мензульная и нивелирная съемка территории. На основании первичного съемочного оригинала было составлено несколько вариантов "нивеллирных планов Москвы", наиболее известным из которых и фактически первым картографическим изображением Москвы в горизонталях является "Нивеллирный план города Москвы. Составлен на основании тригонометрической сети, по съемке и нивелировке города в 1874–1877 гг. межевыми инженерами Н.Н. Смирновым и Д.П. Рашковым". Огромная карта масштаба 1 : 8400 с горизонталями, проведенными через 1 сажень, была напечатана в 1879 г. [15]. В 1888 г. вышло второе издание плана в том же масштабе, но с бóльшим охватом территории. Работами руководил уже только Д.П. Рашков. На карте показана Москва конца XIX в. в пределах Камер-Коллежского вала и ее ближайшие окрестности (Марьина Роща, д. Кожухова, Даниловская слобода и др.). Довольно густая уличная сеть того времени сохранилась во многих районах без значительных изменений до сих пор. Именно этот вариант карты и был использован в данной работе.

Рельеф на плане показан с помощью горизонталей в относительных отметках (саженях) над меженным урезом р. Москвы ("московский ноль") с шагом через каждую сажень, что соответствует примерно 2 м. Такая точность изображения делает план важнейшим источником информации о рельефе столицы конца XIX в.; детальный масштаб позволяет сравнить его с более поздней топографической картой Москвы 1984 г. масштаба 1 : 10000 (с горизонталями, проведенными через 2 м).

Для оценки степени трансформации рельефа первоначально необходимо было привести "нивеллирный план" к принятым в настоящее время единицам – абсолютным отметкам над ур. м в метрах. Изолинии были векторизованы, а их значения переведены из саженей в метры (длина сажени составляет 2.1336 м), а затем, учитывая высоту отметки начала отсчета, относительные превышения изолиний переведены в абсолютные. В топографических работах конца XIX в. за начало отсчета высот была принята марка, соответствующая урезу р. Москвы у Данилова монастыря ("московский ноль"). Существуют небольшие расхождения в определении абсолютного значения этой отметки (марка в настоящее время не существует), но по результатам недавних геодезических измерений подтверждаются данные А. Бика (1903), определяющего эту отметку в 54.2 сажени, т.е. 115.6 м над ур. м. в Балтийской системе высот [6].

Для центра Москвы с помощью модуля Spatial Analyst программы ArcMap 10.3 были построены две цифровые модели рельефа (ЦМР) с разрешением ячейки 10 м; при этом использовались векторизованные изолинии рельефа "нивеллирного плана" 1888 г. и изолинии рельефа топокарты 1984 г. масштаба 1 : 10000. При построении использован механизм интерполяции topo to raster, наиболее подходящий для создания поверхности рельефа.

Для исследования были выбраны 4 водосборных бассейна малых рек центральной части Москвы: рр. Неглинная, Пресня, Чечёра и Золотой Рожок (рис. 1). Все они в настоящее время спрятаны под землю, то есть их долины претерпели существенную трансформацию. На основе построенных ЦМР и векторного слоя с границами водосборных бассейнов вычислены морфометрические показатели рельефа внутри бассейнов: максимальные, минимальные и средние абсолютные отметки рельефа, длины водотоков в конце XIX и в конце XX в., площади водосборных бассейнов. С помощью инструмента slope модуля Spatial Analyst построены карты уклонов для двух ЦМР, затем растровые поверхности с уклонами были переклассифицированы в соответствии с заданными интервалами с помощью инструмента Reclassify, после чего были высчитаны площади, занимаемые поверхностями с разной крутизной. Для автоматизации процесса морфометрического анализа с помощью модуля Model Builder создан геоинструмент, выполняющий последовательную цепочку операций пространственного анализа для каждого из четырех водосборных бассейнов.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

О динамическом потенциале речного бассейна косвенно можно судить по таким морфометрическим характеристикам, как площадь водосбора и уклоны его поверхности. В результате урбанизации резко изменилась структура бассейнов. Инженерно-технические мероприятия по приведению территории города в соответствие с требованиями строительных норм и правил направлены на снижение энергии рельефа: выравнивание склонов, уничтожение мелкой дренажной сети, выполаживание среднего звена дренажной сети (засыпка поймы и заключение в трубу водотока), переведение системой ливневой канализации поверхностного стока в подземный. В результате структура и морфометрические показатели поверхности стоковых бассейнов упростились. Работы по благоустройству территории привели к тому, что густота речной сети в бассейнах многих малых городских рек стала близка практически к нулю. В то время как более ста лет назад показатель густоты речной сети для рек центра Москвы (Неглинной, Пресни, Ходынки и др.) характеризовался величинами 0.8–1.2 км/км^2.

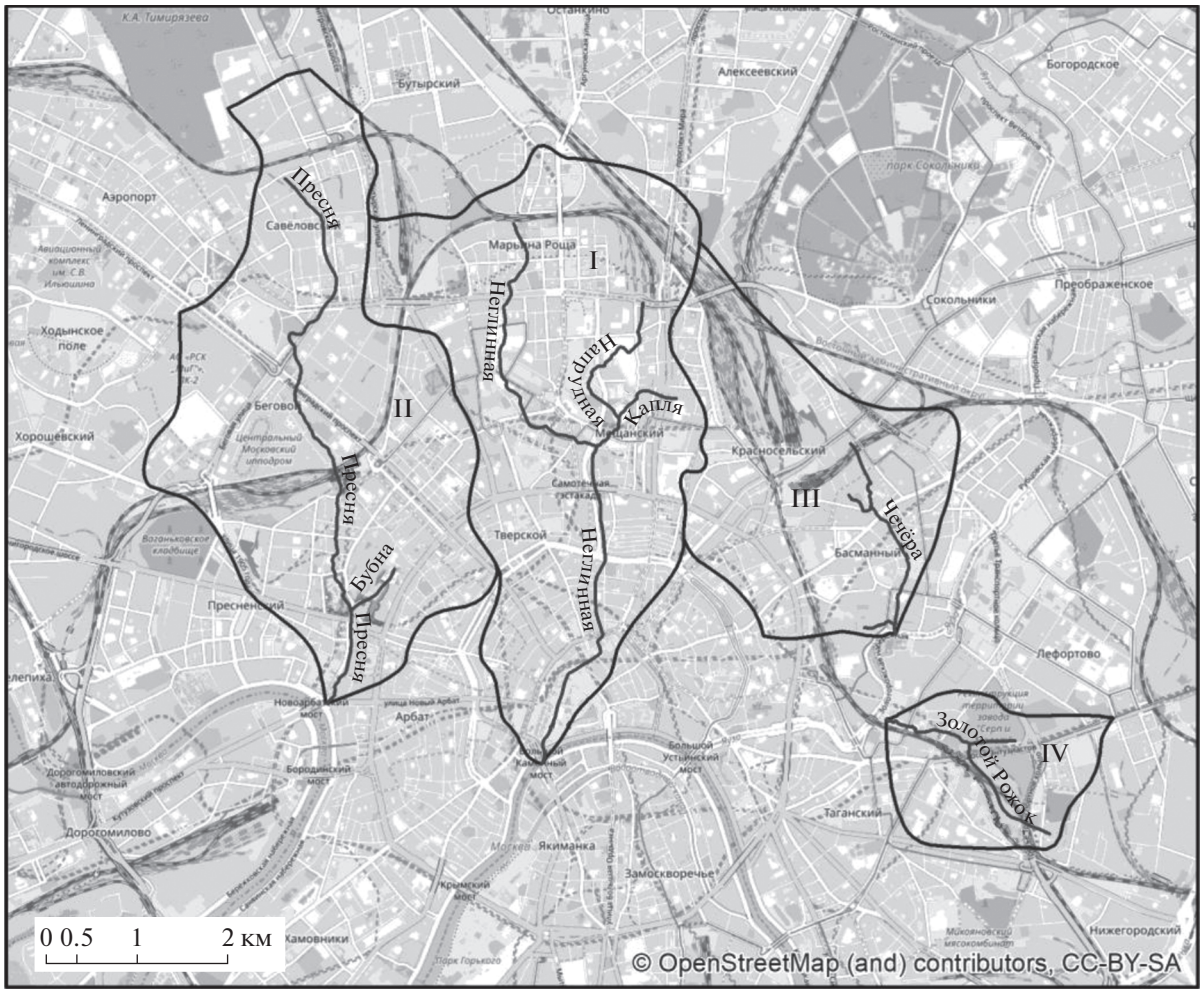

Рис. 1. Схема исследуемых речных бассейнов в Москве. I – р. Неглинная, II – р. Пресня, III – р. Чечёра, IV – р. Золотой Рожок.

На территории города большие площади могут быть отнесены к водонепроницаемым, уменьшающим испарение и инфильтрацию: застроенные, покрытые асфальтом и бетоном участки с искусственно уплотненными почвами. Наличие их в водосборном бассейне увеличивает поверхностный и снижает подземный сток при общем увеличении полного речного стока [13]. Во время сильных дождей склоновый сток с участков, имеющих искусственное покрытие, составляет от 50 до 80%, а в центральных частях даже 80–90% от общего склонового стока. Сток с них не пополняет запасы грунтовых вод, как прежде, а попадает в ливневую канализацию или непосредственно в реки. Н.И. Коронкевич и К.С. Мельник отмечают, что увеличение всего на 1% водонепроницаемых площадей способствует росту речного стока ориентировочно на 2–3% что, в свою очередь, приводит к затоплению и подтоплению пониженных территорий, особенно во время дождевых паводков [4, с. 86].

Несмотря на то, что большинство малых рек на территории города перестали существовать как открытые водотоки, их бассейны по-прежнему служат водосборами, но уже теперь, главным образом, подземного стока. Водоразделы элементарных водосборов уничтожены, но главные водоразделы (рек III порядка) сохранились. Улицы, проходящие на месте исчезнувших рек (например, Неглинная, Конюшковская и др.), по-прежнему ниже кварталов, занимающих бывшие водоразделы, и при паводках затопляются в первую очередь. Кроме двух “этажей” в бассейнах таких рек есть еще и третий – этаж канализации и дренажа, густота которых значительно превышает густоту уничтоженной поверхностной эрозионной сети. На каждом условном этаже деятельность потока проявляется по-своему. Кроме того, нарушение структуры стока вызывается и внедрением технических сооружений со сбросом вод в более глубокие водоносные горизонты, которые в естественном состоянии не оказывали бы прямо-

го влияния на сток в бассейне реки, освоенном городом.

Даже скрытые под водонепроницаемым покровом подземные потоки получают достаточное питание для продолжения своей работы. Один из источников этого питания – рост атмосферных осадков, вызванный изменением климатических характеристик (в основном развитием конвекции) урбанизированных территорий [2, 18]. В столице значительно возросло среднегодовое количество осадков – особенно в восточной (с 600 до 675 мм) и южной (с 600 до 700 мм) ее частях, что И.В. Михайлов объясняет антропогенным воздействием на атмосферу [13]. Увеличились продолжительность ливней высокой интенсивности, временна́я и пространственная неоднородность дождей средней интенсивности, количество осадков в теплый период года. В результате к началу XXI в. слой годового стока, по сравнению с серединой XIX в., возрос более чем на 100%, главным образом за счет поверхностного стока со склонов в теплое время года, обусловленного в основном ростом урбанизации [4, с. 84]. Рост количества выпадающих на территории города осадков влечет за собой, соответственно, увеличение величины паводковых расходов воды; повышение уровня сточных вод приводит к активизации эрозионной деятельности водотоков и увеличению количества транспортируемых наносов.

Хотя часть стока подземных потоков "теряется" – вывоз снега зимой, непроницаемое покрытие поверхности, отбор подземных вод для водоснабжения – уровень грунтовых вод повышается в большинстве городских районов. Об этом можно судить по широкому распространению в столице подтопления подвальных помещений, фундаментов и возникновению зон избыточного увлажнения (подтопления "скрытого" типа). Подтопление происходит главным образом из-за потерь вод из подземных водных коммуникаций, интенсивной поливки городских территорий летом, а также создания глубоких фундаментов и подземных сооружений, перекрывающих пути разгрузки подземных вод [5, 12 и др.].

Там, где эрозионная сеть просто засыпана грунтом — обычно верховья малых рек, овраги, балки — подземный поток вымывает глинистые частицы, выносит соли и другие растворимые вещества. В результате начинают действовать суффозионные процессы, нехарактерные для геолого-геоморфологических условий Москвы; а поверхностные потоки могут совершать свою эрозионную работу только в местах отсутствия твердого покрытия (асфальта, плитки и т.п.) или при нарушении сплошности последнего.

Из-за того, что деятельность поверхностного стока совершается не в русле, а в рыхлых разнородных грунтах, которыми обычно засыпаны спрятанные под землю реки, поток будет иметь бóльшую разрушительную силу.

Многие водотоки сначала были заключены в кирпичных коллекторах, затем их сменили бетонные. Коллекторы вместе с "впадающей" в них ливневой канализацией образуют разветвленную подземную сеть водотоков. Такие потоки во многом отличаются от потоков текущих в открытых руслах. Из-за их "замкнутости" в них нередко возникает напорное течение, не встречающееся в открытых водотоках на равнинах, а паводки из-за огромного количества переносимого материала напоминают сели. Во время ливней подземные реки могут выйти на поверхность, даже выбивая люки коллекторов. При этом поток размывает днище, особенно старых кирпичных коллекторов, что ведет к их разрушению, особенно на участках гидравлического прыжка (резкое повышение уровня воды при резком падении скорости потока), например, в местах выполаживания продольного профиля или подпруживания русла крупными предметами, попавшими сюда с поверхности, оставленными после ремонта и т.п. [14]. С дефектами, возникающими при воздействии подземных водотоков на коллекторы, связаны промоины и просадки на дневной поверхности.

В руслах подземных водотоков, при небольших скоростях течения происходит аккумуляция, в том числе загрязняющих веществ; из мусорных скоплений происходит выделение сероводорода и метана. Так, В.А. Неходцев указывает на очень большое превышение ПДК загрязняющих веществ на устьевом участке р. Неглинной [14]. Кроме того, и старые кирпичные, и более современные бетонные подземные коллекторы со временем местами сужаются из-за роста на их стенках травертиновых наростов, образующихся при выщелачивании кальцита из бетона и цемента, которым заделаны швы между секциями и облицована оболочка коллекторов. Частично или полностью подземные русла могут быть перекрыты в зимнее время наледями, образующимися в местах выходов их на поверхность или там, где в коллектор просачиваются грунтовые воды [14].

Засыпанные долины являются территориями пониженной устойчивости, что подтверждается статистикой аварий, вызванных провалами проезжей части и проседаниями грунтов, происходящих в столице [3, 11]. Они влияют на устойчивость зданий и сооружений, возведенных на их берегах. Например, некоторые здания, расположенные на левом, крутом борту долины р. Неглинной (район между улицами Рождественка и Неглинная), деформируются из-за сползания по склону верхних горизонтов грунтовой толщи, особенно техногенных отложений, вызванного влиянием

дополнительной нагрузки, оказываемой этими зданиями [11].

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ТРАНСФОРМАЦИИ МАЛЫХ МОСКОВСКИХ РЕК

Для исследования были выбраны четыре речных бассейна – рр. Неглинной, Пресни, Чечёры (Ольховки) и Золотого Рожка, расположенные в современном центре города, и проведен анализ изменения рельефа в пределах речных бассейнов за столетие, прошедшее со времени составления "нивеллирного плана" 1888 г. Все они находятся на левобережье р. Москвы – основной территории столицы до XX в. Сейчас все эти реки стали техногенно погребенными, их русла полностью помещены в коллекторы.

Неглинная, левый приток р. Москвы – первая и, наверное, самая известная из техногенно погребенных рек города, протекает с севера на юг, ее исток был в болотах исторического района Марьина Роща, а устье – в районе Водовзводной башни Кремля. Ее длина достигала 7.5 км, а площадь бассейна – около 14 км^2. На своем протяжении она принимала ряд коротких притоков, самый известный из которых р. Напрудная (Рыбная). У р. Неглинной развиты две аккумулятивные надпойменные террасы. Относительная высота первой террасы 10–12 м, второй – 15–18 м, сложены они разнозернистыми аллювиальными песками с включением гравия и гальки. Впоследствии русло спрямили, и в настоящее время коллектор с водами Неглинной расположен у Восточных стен Кремля в районе Большого Москворецкого моста.

Протекавшая непосредственно у стен Кремля и защищавшая его с запада р. Неглинная подвергалась активному антропогенному влиянию с давних времен: ее берега застраивались, на реке стояли мельницы, устраивались плотины, набережные на отдельных участках укреплялись, часть воды отводилась в искусственные рвы (табл. 1). В 1817–1819 гг. в ходе глобальной реконструкции центра Москвы после войны 1812 г. реку перекрыли кирпичным сводом на протяжении трех километров. А в 1862–1876 гг. в подземной трубе скрыли еще значительный участок – до Селезневской улицы. Окончательно же Неглинная исчезла с карты в начале XX в., когда в 1911–1912 гг. были спрятаны в коллектор ее верховья [9]. Мощность техногенных отложений в долине реки от 6–10 до 15 м.

Пресня – левый приток р. Москвы. Длина водотока составляла порядка 4.5 км. Исток Пресни находился в Горелом болоте недалеко от Рижского вокзала. Река впадает в Москву-реку у Новоарбатского моста, недалеко от Смоленской набережной. В 1908–1915 гг. большая часть прудов на р. Пресня спущены и засыпаны, сама река заключена в подземные трубы, верховья полностью уничтожены [11]. В 1930–1940 гг. отвалами метростроя засыпаны Горелое болото и исток реки. В современном рельефе от реки остались только фрагменты – Пресненские пруды на территории Московского зоопарка.

Чечёра (Ольховка) – правый приток Яузы – брала свое начало к северу от Ярославского вокзала. Длина реки была около 4 км. Река частично спрятана в коллектор уже в начале XX в. и в настоящее время на всем своем протяжении протекает под землей. При постройке Сыромятнического гидроузла уровень Яузы в районе устья повысился из-за подпора гидроузла. Поэтому в 1938 г. коллектор перестроен так, что вместо впадения в Яузу около Елизаветинского переулка р. Чечёра в коллекторе стала идти параллельно реке Яузе, а соседняя малая р. Черногрязка – впадать в р. Чечёру, и их общее устье оказалось чуть ниже плотины гидроузла.

Золотой Рожок – нижний левый приток Яузы – брал свое начало в болотистой местности в районе современной платформы "Серп и молот" и впадал в Яузу в районе Андроникова монастыря. В настоящее время река заключена в коллектор. Длина водотока 2.3 км. Мощность техногенных отложений в долине реки в основном 5–7 м.

Морфометрический анализ показал (табл. 2, рис. 2), что общий характер рельефа центра города за 100 лет в общих чертах сохранился, остается тем же соотношение водоразделов и долин, почти не изменились границы водосборных бассейнов. Практически во всех бассейнах абсолютные отметки рельефа незначительно увеличились. Однако в среднем изменение абсолютных отметок за 100 лет не превышает 0.6 м (бассейн Пресни), а в остальных анализируемых бассейнах – около 0.2–0.4 м. Максимальные абсолютные отметки выросли в бассейнах рек, расположенных в центре города (Неглинная) и недалеко от центра (Пресня), почти не изменились в бассейне Чечёры и уменьшились в бассейне Золотого Рожка, протекавшего в конце XIX в. по городским окраинам.

В тоже время минимальные высоты стали еще ниже в центральных районах города – в бассейне Неглинной на 2.7 м, в бассейне Пресни на 0.6 м, но увеличились в бассейнах Чечёры (3.4 м) и Золотого Рожка (1.9 м). Очевидно, что в последнем случае минимальные высоты увеличились и амплитуды рельефа уменьшились в результате сравнительно недавнего уничтожения рек текущих по поверхности. В центре столицы реки были спрятаны под землю раньше, чем в районах удаленных от центра (в случае нижнего течения Неглинной почти на 100 лет). Можно предположить, что за это время подземные искусственные русла (коллекторы) могли просесть под своей тяжестью. Этому способствовали суффозионные процессы и размыв их днища подземным водотоком. При ремонте старых коллекторов они оказались

Таблица 1. Изменение характера поверхности и поверхностного стока в бассейне р. Неглинной с конца XIX в. по настоящее время

Участок бассейна	Характер поверхности в 1888 г.	Характер поверхности в настоящее время [8]
Верховья бассейна до Сущевского вала	Огороды и пашни, река протекает в естественных берегах, в русле устроено 3 пруда	Плотность застройки 20–30%, закрытость территории 35–40%. Река полностью протекает в коллекторе
От Сущевского вала до Селезневской улицы	Часть проездов замощена, река протекает в естественных берегах, в русле имеется 5 прудов	Плотность застройки 15–20%, закрытость территории 30%
От Селезневской улицы до Самотечной площади	Проезжие места почти все замощены, дворы замощены частично. Река течет в каменной трубе, принимая приток Напрудную	Плотность застройки 20%, закрытость территории 35–40%
От Самотечной площади до Москвы-реки	Весь бассейн замощен, река протекает в трубе	Плотность застройки 60% и более, закрытость территории 70–90%

ниже своих первоначальных отметок, что, в свою очередь, привело к понижению дневной поверхности над ними.

Для оценки изменения рельефа и прогноза неблагоприятных процессов по крутизне были выделены поверхности нескольких типов (рис. 3):

– поверхности крутизной от 0° до 1.5° могут считаться субгоризонтальными; смыв здесь практически отсутствует;

– на слабо наклонных поверхностях (от 1.5° до 3°) возможен слабый плоскостной смыв;

– к потенциально эрозионно опасным относятся склоны крутизной от 3° до 6°;

– эрозионно опасные склоны крутизной 6°–12°;

– могут быть подвержены неглубоким оползням и оплывинам наиболее крутые для исследуемой территории склоны более 12°.

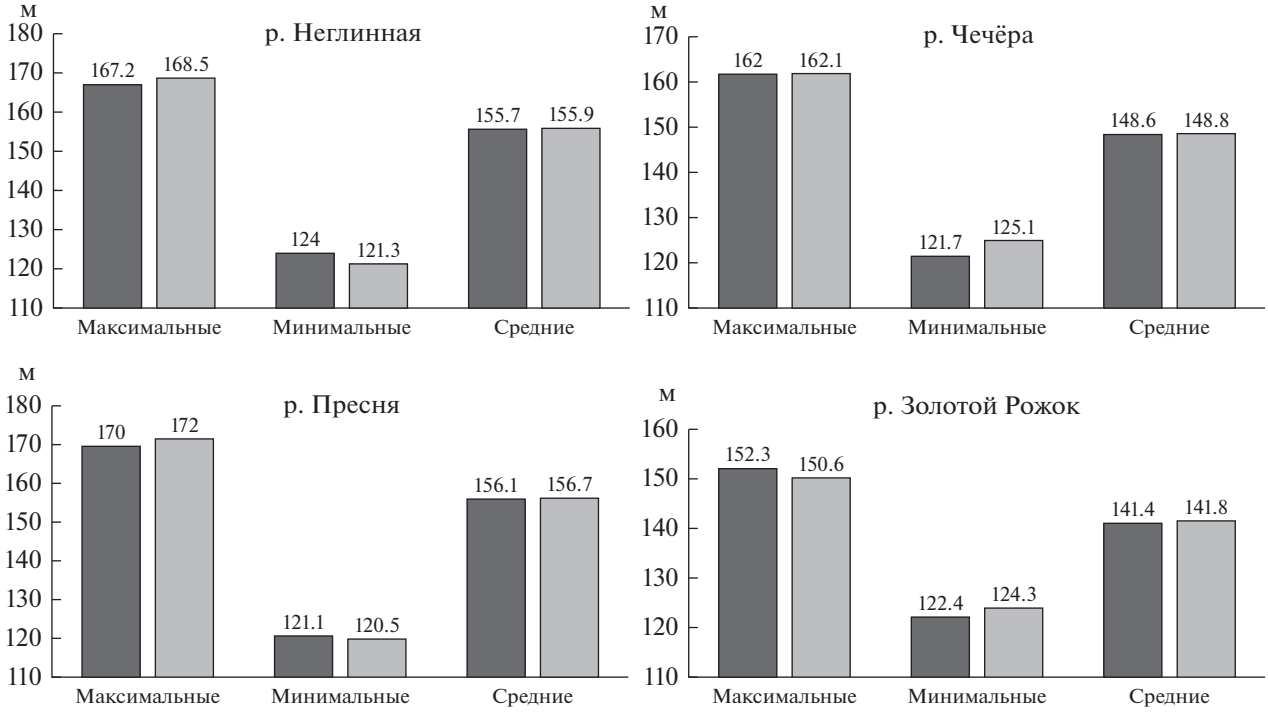

Рис. 2. Изменение абсолютных отметок рельефа за сто лет в пределах водосборных бассейнов малых рек г. Москвы. Значения абсолютных отметок показаны темно-серым для 1888 г., светло-серым – для 1984 г.

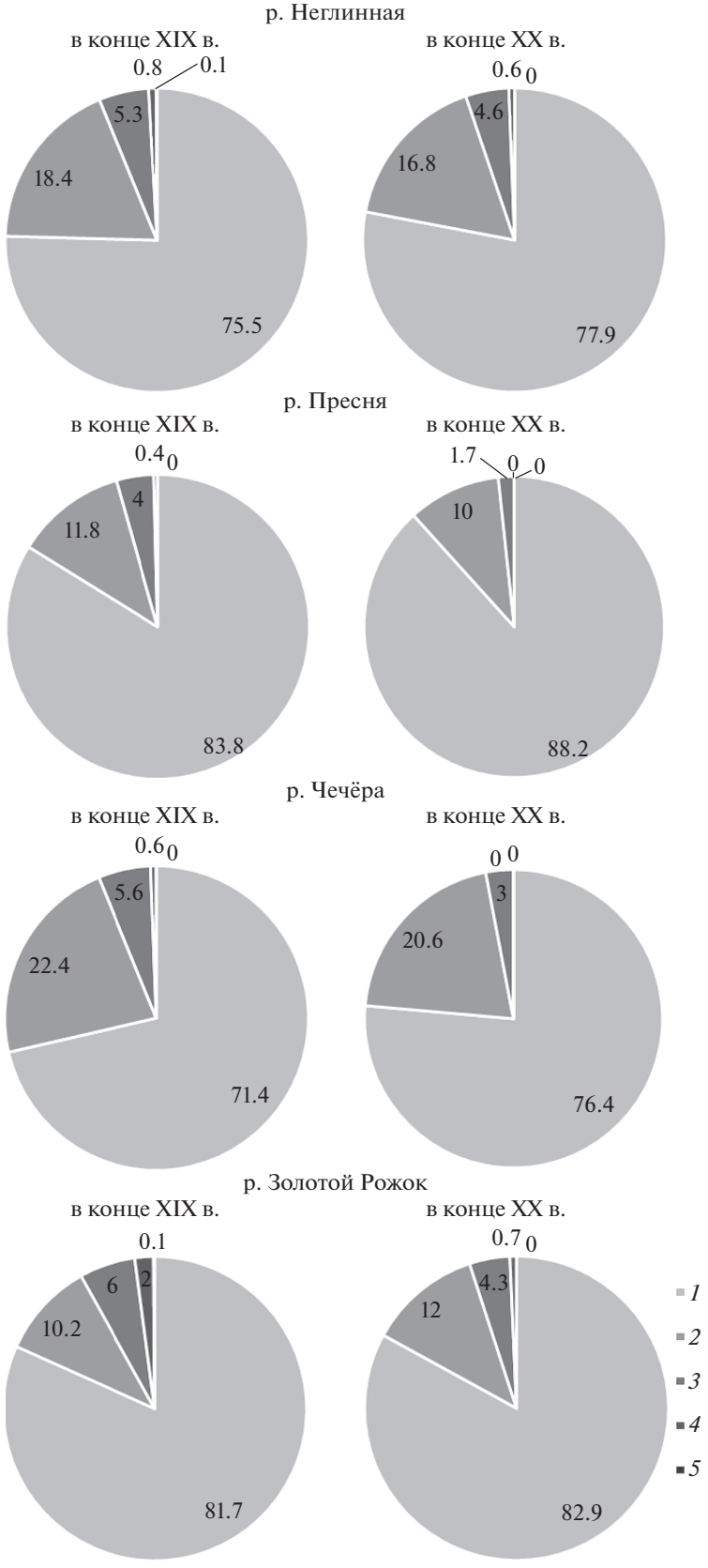

Рис. 3. Изменение площадей склонов различной крутизны в пределах водосборных бассейнов малых рек г. Москвы. *1* – субгоризонтальные поверхности (0°–1.5°), *2* – слабонаклонные поверхности (1.5°–3°), *3* – наклонные поверхности (3°–6°), *4* – пологие склоны (6°–12°), *5* – крутые склоны (12°–20°).

Таблица 2. Изменение основных морфометрических показателей в бассейнах малых московских рек

Река	Площадь бассейна, км^2	Длина водотока в открытом русле, км		Мощность техногенных отложений, м	
		1888 г.	настоящее время	средняя	максимальная
Неглинная	14.65	3.4	0	3.2	15.4
Пресня	15.37	6.7	0	2.4	13.5
Чечёра	8.06	2.4	0	2.8	10.5
Золотой Рожок	3.27	1	0	2.5	13.5

ОБСУЖДЕНИЕ

Для центральной части Москвы характерен сравнительно пологий рельеф (от 1.5° до 3°). В табл. 2 приведена площадь склонов каждого типа в пределах изучаемых речных бассейнов. Можно отметить, что в процессе антропогенной трансформации речных бассейнов в городе площадь субгоризонтальных поверхностей увеличивается за счет выравнивания и выполаживания склонов и уменьшения площади поверхностей круче 1.5° и более. В настоящее время она составляет не менее 3/4 всей территории анализируемых бассейнов, превышая в бассейне Пресни 88% (увеличение за 100 лет более чем на 4%). Наиболее крутые склоны (свыше 12°) практически исчезли.

За последние сто лет кардинально изменился водный баланс малых рек Москвы. В естественных условиях около 2/3 атмосферных осадков испарялось и просачивалось в грунт, тогда как только 1/3 приходилась на поверхностный сток. Сейчас же на поверхностный сток тратится более 2/3 выпадающих осадков. Замощение территории асфальтом и брусчаткой, большая плотность застройки привели к тому, что закрытость территории увеличилась, и значительная часть поверхности бассейна стала практически водонепроницаемой. Поэтому, несмотря на уменьшение уклонов рельефа, скорости течения и мощности потоков возросли, а с ними и их эрозионный потенциал. В настоящее время сохраняется угроза ливневых паводков.

Современные геоморфологические процессы в бассейнах малых рек кардинально изменились по сравнению с естественными. Раньше здесь преобладали плоскостной смыв, речная и овражная эрозия, аккумуляция, заболачивание. Сейчас овраги исчезли, но на гораздо большей части территории происходит подтопление. Поверхностный сток переведен в систему ливневой канализации. В результате ливневая канализация – искусственные русла временных водотоков – постоянно забивается наносами. Часть воды уходит в грунт, в основном в техногенно погребенные долины, заполненные разнородными и неустойчивыми техногенными отложениями; наблюдаются случаи суффозии, с которыми связаны аварии и просадки грунта, деформации зданий [3, 11, 17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бассейны рассмотренных рек подвержены многократному и разнообразному антропогенному воздействию, которое привело к нивелировке рельефа как долин (русла водотоков заключены в коллектор), так и водоразделов. Однако если в долинах малых рек на урбанизированных территориях геоморфологические процессы ослабевают и даже замирают, то, спрятанные в коллектор, такие реки вызывают интенсификацию процессов, приносящих значительный ущерб городскому хозяйству.

Рассмотренные водосборные бассейны центра Москвы прошли следующие этапы антропогенно-техногенной трансформации.

1. Бассейн малой реки с хорошо выраженными руслом и надпойменными террасами (природная система);

2. Частично канализированное русло (отдельные участки русла скрыты в подземный коллектор) с сохранением в целом структуры водосбора (природно-антропогенная система);

3. Русло полностью взято в коллектор. Водосборный бассейн застроен, проведены вертикальная планировка и ливневая канализация, зарегулирован поверхностный сток (техногенно-природная система). Без инженерного контроля система может “выйти из строя”.

Участки интенсивной антропогенной нагрузки, претерпевшие наибольшие антропогенные изменения рельефа, характеризуются и наибольшим числом случаев деформаций материально-технических объектов в расчете на единицу площади, наибольшим числом случаев нарушения асфальтового покрытия в результате его просадки и подтоплением подвалов. К ним относятся, прежде всего, устьевые участки полностью зарегулированных бассейнов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аникина Н.В.* Влияние палеорельефа на формирование антропогенной морфолитосистемы (на примере центральной части Москвы) // Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 215–221.
2. *Алексеева Л.И., Варенцов Е.В., Горбаренко Е.В., Горлач И.А., Еремина И.Д., Жданова Е.Ю., Кирсанов А.А., Кислов А.В., Константинов П.И., Корнева И.А., Локощенко М.А., Назваль Е.И., Ровокатова А.П., Ривин Г.С., Самсонов Т.Е., Сошинская И.В., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А.* Климат Москвы в условиях глобального потепления / под ред. А.В. Кислова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2017. 288 с.
3. Геоэкология Москвы: методология и методы оценки состояния городской среды. М.: Медиа-ПРЕСС, 2006. 200 с.
4. *Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Антропогенное воздействие на сток реки Москвы. М.: МАКС Пресс, 2015. 168 с.
5. *Кочетова Д.Ф.* Выявление техногенного воздействия на уровенный режим грунтовых вод городских территорий (на примере Горького) // Режимные инженерно-геологические и гидрогеологические наблюдения в городах. М.: Наука, 1983. С. 147–148.
6. *Кусов В.С.* Древнейшие нивелирные марки Москвы // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2000. № 2. С. 162–169.
7. *Лихачева Э.А.* Морфодинамика антропогенного рельефа городской территории // Проблемы морфодинамики. М.: АН СССР, 1983. С. 84–90.
8. *Лихачева Э.А., Бгатов Ан.П., Краснов А.Ф.* Особенности современных геоморфологических процессов на территории города // Современное экзогенное рельефообразование, его изучение и прогноз. М.: АН СССР, 1984. С. 32–43.
9. *Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Курбатова Л.С.* Древние и современные процессы в долине реки Неглинной // Геоморфология. 2001. № 4. С. 58–66.
10. *Лихачева Э.А., Маккавеев А.Н., Локшин Г.П.* Этапы и стадии развития водосборных бассейнов малых рек на урбанизированных территориях (на примере г. Москвы) // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 5. С. 103–111.
11. *Маккавеев А.Н., Махорина Е.И.* Технопогребенные долины как один из активнейших компонентов морфолитосистемы крупных городов // Очерки по геоморфологии урбосферы. М.: Медиа-ПРЕСС, 2009. С. 291–312.
12. *Маккавеев А.Н., Федорович Д.В.* Трансформация уровня грунтовых вод на городской территории (Москва) / Антропогенная геоморфология. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. С. 202–215.
13. *Михайлов И.В.* Влияние урбанизированных территорий на формирование некоторых элементов водного баланса Курской модельной области // Воздействие хозяйства и природы в городских и промышленных геосистемах. М., 1982. С. 45–52.
14. *Неходцев В.А.* Подземные реки городов // Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи. М.: Медиа-ПРЕСС, 2017. С. 103–120.
15. Нивеллирный план города Москвы. Составлен на основании тригонометрической сети, по съемке и нивеллировке города в 1874–1844 гг. межевыми инженерами Н.Н. Смирновым и Д.П. Рашковым. 1879 г. // Факсимильное издание первой карты Москвы с изображением рельефа. К 225-летию КМИ – МИИГАиК. Роскартография, 2002.
16. *Скоморохов А.И.* К развитию форм овражно-балочного рельефа // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1981. № 5. С. 114–121.
17. *Федорович Д.В., Маккавеев А.Н., Локшин Г.П., Горецкий К.В.* Особенности функционирования урбанизированного водосборного бассейна (на примере бассейна р. Ходынки, г. Москва) // Геоморфология. 2004. № 3. С. 29–36.
18. *Dixon P.G., Mote T.L.* Patterns and causes of Atlanta's Urban Heat Island-Initiated precipitation // J. Appl. Meteorol. 2003. V. 42. № 9. P. 1273–1284.

Drainage Basins Transformation of Moscow Center Influenced by Town-Planning

E. A. Likhacheva[1], N. V. Anikina[1, *], and A. N. Makkaveyev[1, **]

[1]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: nikitina.nadine@gmail.com*

***e-mail: aleksander.mackaveeff@yandex.ru*

The center of Moscow has a lengthy and complex evolution. One of its characteristics is a dense network of underground communications of different ages (including manifolds of small rivers). Comparison between the "Leveling plan of the Moscow city" (1888) and the topographic map of Moscow (1984) doesn't show significant changes of the city center's relief whose absolute level's rise hasn't exceed 0.6 m at an average. Studying small underground rivers, such as Neglinnaya, Presnya, Chichera and Zolotoy Rozhok reveals that since the late 19th century till present time, anthropogenic changes have reduced the density of the drainage network nearly to zero and enlarged the subhorizontal surfaces. Geomorphologic processes have ceased in small urban river valleys on the surface, but suffusion-subsidence phenomena, flooding and deformation of buildings and structures intensify around rivers hidden in collectors, which causes significant damage to the urban economy. The structure and morphometry of watersheds has been simplified, and a significant part of their area has become impermeable. Therefore, despite the reduction in the slope of the terrain, flow velocity, power of the streams, and their erosive potential increased. A threat of rainfall floods still remains.

Keywords: drainage basin, anthropogenic transformations, technoburied rivers, surface discharge, morphometry of river basins

REFERENCES

1. Anikina N.V. Influence of paleorelief on the formation of an anthropogenic morpholithosystem (on the example of the Central part of Moscow). In *Antropogennaya geomorfologiya* [Anthropogenic Geomorphology]. Moscow: Media-PRESS, 2013, pp. 215–221. (In Russ.).
2. Alekseeva L.I., Varentsov E.V., Gorbarenko E.V., Gorlach I.A., Eremina I.D., Zhdanova E.Yu., Kirsanov A.A., Kislov A.V., Konstantinov P.I., Korneva I.A., Lokoshchenko M.A., Nazval' E.I., Rovokatova A.P., Rivin G.S., Samsonov T.E., Soshinskaya I.V., Chubarova N.E., Shilovtseva O.A. *Klimat Moskvy v usloviyakh global'nogo potepleniya* [Moscow's Climate in the Context of Global Warming]. Kislov A.V., Ed. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2017. 288 p.
3. *Geoekologiya Moskvy: metodologiya i metody otsenki sostoyaniya gorodskoi sredy* [The Geoecology of Moscow: Methodology and Methods of Assessing the Urban Environment State]. Moscow: Media-PRESS, 2006. 200 p.
4. Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. *Antropogennoe vozdeistvie na stok reki Moskvy* [Anthropogenic Impacts on the Flow of the Moscow River]. Moscow: MAKS Press, 2015. 168 p.
5. Kochetova D.F. Identification of technogenic impact on the level regime of ground water in urban areas (on the example of Gorky). In *Rezhimnye inzhenerno-geologicheskie i gidrogeologicheskie nablyudeniya v gorodakh* [Regime Engineering-Geological and Hydrogeological Observations in Cities]. Moscow: Nauka Publ., 1983, pp. 147–148. (In Russ.).
6. Kusov V.S. The oldest benchmarks of Moscow. *Geodeziya i Aerofotos"emka*, 2000, no. 2, pp. 162–169. (In Russ.).
7. Likhacheva E.A. Morphodynamics of the anthropogenic relief of the urban area. In *Problemy Morfodinamiki* [Problems of Morphodynamics]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1983, pp. 84–90. (In Russ.).
8. Likhacheva E.A., Bgatov An.P., Krasnov A.F. Specificities of present-day geomorphological processes in the city. In *Sovremennoe ekzogennoe rel'efoobrazovanie, ego izuchenie i prognoz* [Modern Exogenous Relief Formation, Its Study and Forecast]. Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1984, pp. 32–43. (In Russ.).
9. Likhacheva E.A., Makkaveev A.N., Kurbatova L.S. Ancient and recent processes in the Neglinnaya river valley. *Geomorfologiya*, 2001, no. 4, pp. 58–66. (In Russ.).
10. Likhacheva E.A., Makkaveev A.N., Lokshin G.P. Stages of development of drained areas of small rivers on urbanized territories (on example of Moscow). *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2010, no. 5, pp. 103–111. (In Russ.).
11. Makkaveev A.N., Makhorina E.I. Technologically buried valleys as one of the most active components of the large cities morpholithosystem. In *Ocherki po geomorfologii urbosfery* [Studies of Urban Geomorphology]. Moscow: Media-PRESS, 2009, pp. 291–312. (In Russ.).
12. Makkaveev A.N., Fedorovich D.V. Transformation of the ground water level in the urban area (Moscow). In *Antropogennaya geomorfologiya* [Anthropogenic Geomorphology]. Moscow: Media-PRESS, 2013, pp. 202–215. (In Russ.).
13. Mikhailov I.V. Influence of urban area on the formation of some water balance elements of the Kursk model region. In *Vozdeistvie khozyaistva i prirody v gorodskikh i promyshlennykh geosistemakh* [Impact of Economic Activities and Nature in Urban and Industrial Geosystems]. Moscow, 1982, pp. 45–52. (In Russ.).
14. Nekhodtsev V.A. Cities' underground rivers. In *Geomorfologiya gorodskikh territorii: konstruktivnye idei* [Urban Geomorphology: Constructive Ideas]. Moscow: Media-PRESS, 2017, pp. 103–120. (In Russ.).
15. Geodetic Levelling Plan of Moscow City. Compiled on the Basis of the Trigonometric Network, on the Survey and Levelling of the City in 1874–44 by Land Survey Engineers N.N. Smirnov and D.P. Rashkov. 1879. Facsimile Ed. of the First Map of Moscow Depicting the Relief. On the 225th Anniversary of KMI-MIIGAiK. Roskartografiya, 2002. (In Russ.).
16. Skomorokhov A.I. To the development of gully landforms. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1981, no. 5, pp. 114–121. (In Russ.).
17. Fedorovich D.V., Makkaveev A.N., Lokshin G.P., Goretskii K.V. Functioning characteristics of urbanized catchment basin (Khodynka river in Moscow as an example). *Geomorfologiya*, 2004, no. 3, pp. 29–36. (In Russ.).
18. Dixon P.G., Mote T.L. Patterns and causes of Atlantàs Urban Heat Island-Initiated precipitation. *J. Appl. Meteorol.*, 2003, vol. 42, no. 9, pp. 1273–1284.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 146–155

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ГЕОГРАФОВ

УДК 91, 94, 902, 913, 327, 72

ГЕОПОЛИТИЧЕСКИЕ И ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИЧЕРНОМОРЬЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ 2019 г.)

© 2021 г. А. А. Герцен*

Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

**e-mail: gerzen@igras.ru*

Поступила в редакцию 31.10.2019 г.
После доработки 28.09.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

В статье представлены краткие сведения о международной конференции “Геополитические и историко-географические проблемы Причерноморья”, организованной Институтом международных отношений Молдовы совместно с Институтом географии Российской академии наук, Русским географическим обществом и Молдавским историко-географическим обществом, состоявшейся 5 июня 2019 г. в Кишинёве. На конференции были представлены итоги текущей и многолетней работы ученых из Республики Молдова и Российской Федерации, а также предварительные результаты комплексной экспедиции сотрудников ИГ РАН в Молдавию, проведенной с 26 мая по 6 июня 2019 г. Материалы докладов, прозвучавших на конференции, наглядно иллюстрируют широкий спектр актуальных геополитических и историко-географических проблем региона, представляют интерес для широкого круга географов, политологов, социологов, историков, археологов, культурологов и других специалистов, занимающихся проблемами регионалистики и, в частности, Причерноморья.

Ключевые слова: историко-географический ландшафт, наследие, геополитическое положение, границы, дискурс, Причерноморье, конференция

DOI: 10.31857/S2587556621010040

ВВЕДЕНИЕ

5 июня 2019 г. в Кишинёве состоялась международная конференция “Геополитические и историко-географические проблемы Причерноморья”, организованная Институтом международных отношений Молдовы (IRIM) совместно с Институтом географии Российской академии наук (ИГ РАН), Русским географическим обществом (РГО) и Молдавским историко-географическим обществом (МИГО). На конференции были представлены итоги текущей и многолетней работы ученых из Республики Молдова и Российской Федерации, а также предварительные результаты комплексной экспедиции сотрудников ИГ РАН в Молдавию (Кишинёв, Оргеев, Тирасполь, Бендеры, Дубоссары, Рашково, Вадул-Рашков, Жабка, Сороки, Бисерканы – рис. 1), проведенной с 26 мая по 6 июня 2019 г. при поддержке двух проектов: “Историко-географическая эволюция ландшафтов Северо-Западного Причерноморья” (РФФИ № 19-05-00533-А, рук. А.А. Герцен) и “Постсоветские непризнанные государства: факторы жизнеспособности и риски для России” (РНФ № 19-17-00232, рук. В.А. Колосов). Экспедиционные мероприятия и встречи ученых широко освещалась в местной прессе и интернет-пространстве. Конференция стала важным научным событием в жизни республики, впервые собрав на одной дискуссионной площадке представителей различных научных школ и направлений – географов-природоведов и обществоведов, политологов, социологов, экономистов, историков, археологов, культурологов, искусствоведов и др., а также практиков туристической отрасли экономики, в фокусе внимания которых был единый регион, его геополитические и историко-географические проблемы.

Одной из задач экспедиции стало изучение взаимосвязи географических условий и исторического процесса на примере ландшафтов Среднего Днестра как модельного полигона. В ходе полевых работ оценивалось влияние географических факторов, природных и социально-экономических условий на ход исторического развития, собиралась подробная информация по памятникам культурного наследия различных исторических периодов (время создания, основные характеристики, размещение) с целью дальнейшей рекон-

Рис. 1. Маршрут экспедиции на общегеографической (а) и ландшафтной (б) карте Северо-Западного Причерноморья [4].

струкции историко-географических ландшафтов различных эпох и выявления важнейших аспектов их эволюции. Другой важной задачей экспедиции стал сбор материалов и проведение глубинных экспертных интервью с представителями органов власти, научных и образовательных организаций, НКО, социологических агентств и СМИ с целью анализа изменения структуры экономики, населения и миграций, динамики и роли внешнеэкономических и внешнеполитических связей Республики Молдова после украинского кризиса 2014 г.

Северо-Западное Причерноморье представляет собой яркий и во многом уникальный пример ста-

роосвоенных территорий, где в процессе длительной исторической эволюции сформировались своеобразные историко-географические ландшафты. Политические и административные границы здесь многократно менялись на протяжении всей истории, а скрытые и явные взаимные территориальные претензии современных государств существуют и сегодня. Полимасштабный комплексный подход не только позволяет представить историко-географические ландшафты как целостные природно-антропогенные геосистемы, но и демонстрирует интереснейшие результаты решения важных научных проблем [4].

Изучение историко-географических ландшафтов интегрирует уже накопленные знания различных научных отраслей, дает основу для дальнейших географических, исторических, этнографических, культурологических, политологических исследований. Поэтому так важно в рамках экспедиции было охватить различные ландшафтные области (см. рис. 1б) – лесные, лесостепные, степные, бассейнов Днестра и Прута, в разной степени урбанизированные, с разной интенсивностью используемые в сельскохозяйственной деятельности. Их сопоставление дает адекватное представление об эволюции и современном состоянии историко-географических ландшафтов. Проведение комплексных научных историко-географических и социально-экономических исследований в Молдавии позволяет продвинуться в понимании эволюции природных и культурных ландшафтов, а также в изучении особенностей современного состояния социально-экономической сферы, причин и перспектив разрешения конфликтов. Это в полной мере подтверждают материалы докладов, прозвучавших на конференции [28]. Темы заслушанных сообщений можно структурировать в три крупных взаимосвязанных блока, в соответствии с которыми представим информацию о докладах.

ПРИРОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ И ИСТОРИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Доклад к.г.н. *А.А. Герцена* был посвящен теоретическим вопросам комплексности и полимасштабности в историко-географических исследованиях и практическим результатам применения такого подхода. Географический подход к пониманию глобальных проблем человечества и их полимасштабного характера неотделим от исторического подхода, а историко-географические исследования выступают интегральным фактором комплексного научного поиска. Историко-географические исследования, проводимые на примере исторически сложных, староосвоенных регионов, таких как Центральная и Восточная Европа, позволяют сделать вывод о важности комплексного историко-географического подхода для решения самых разных научных и практических задач [3–6, 9, 10, 15]. В работе к.г.н. *С.К. Костовской* (ИГ РАН) внимание сфокусировано на источниках информации в эколого-географическом анализе эволюции ландшафтов (справочно-литературных, статистических, картографических, текстовых, материалов дистанционного зондирования, графиках и др.). Сопоставление разновременных материалов позволяет более полно провести анализ эволюции историко-географических ландшафтов [11, 28]. Предмет исследования к.г.н. *Н.Н. Волонтир* и к.г.н. *И.В. Миронова* (Тираспольский гос. ун-т) – заповедник Цыпово как потенциальный культурный ландшафт в долине Днестра с его уникальными природными и антропогенными компонентами: особенностями рельефа и геологического строения (рассматриваются рельефообразующие процессы и основные типы и формы рельефа: каньоны, скалы, причудливые эоловые формы, пещеры и др.), источниками и многочисленными водопадами, разнообразием растительного мира и главной достопримечательностью – скальным монастырем [28].

Ранее неизученные письменные и картографические источники по истории Северо-Западного Причерноморья детально рассмотрены *Е.Г. Паскарем* (МИГО). Систематизация источников и их сравнительный анализ позволяют создать более объективную картину прошлого. Многие источники о Молдавии далеко еще не исследованы, некоторые из них вообще остаются малоизвестными, а те, что изучены, нуждаются в адекватном объяснении и переосмыслении [4, 14, 28]. Исследования *А.Г. Хропова* (ИГ РАН) раскрывают историю топографического изучения территории Молдавии на ранних этапах. Хотя наиболее примечательные географические объекты в этом регионе нашли свое отражение даже на самых старых картах, топографическое изучение территории началось лишь на рубеже XVIII–XIX вв. К этому времени относится появление первых обзорно-топографических карт междуречья Днестра и Прута [28].

Ландшафтная структура географической оболочки – естественная основа исторического развития Земли. Историко-географические ландшафты – это природные ландшафты, испытавшие заметные трансформации в антропогене. Факторы этих трансформаций кратно усиливаются с началом промышленной эры. Вместе с тем природные компоненты остаются основой ландшафтной структуры, в рамках которой происходят социальные, экономические, политические, культурные процессы, что отражается в изменениях экологической, эпидемиологической, демографической обстановки и др. До неолитической революции влияние природных факторов было доминирующим. Трансформация

природных ландшафтов в историко-географические особую силу приобретает при переходе к оседлому образу жизни и адаптации окружающей среды под нужды жизненной и производственной деятельности. В допромышленную эру (до середины XIX в.) общественные факторы были уже соразмерны природным, что приводило к формированию целостных геосистем, историко-географических ландшафтов. Изучение историко-географических ландшафтов допромышленной эпохи сопряжено с рядом объективных сложностей источниковедческого характера. Старинные письменные и картографические материалы – бесценные источники историко-географической информации.

ПАМЯТНИКИ АРХЕОЛОГИИ, АРХИТЕКТУРНОЕ НАСЛЕДИЕ И ИСТОРИЧЕСКИЙ ДИСКУРС

Систематизирующим современные археологические исследования в Северо-Западном Причерноморье было выступление к.и.н. *Н.П. Тельнова* (Институт культурного наследия Академии наук Молдавии – ИКН АНМ), обобщившего результаты наиболее значимых в последние годы работ (Н.К. Анисюткина, Н.А. Кетрару, Г.В. Григорьевой, С.И. Коваленко, В.А. Дергачева, О.В. Лариной, Т.А. Щербаковой, Е.Ф. Тащи и др.) [4, 19, 28]. В числе важнейших не только для региона, но и всей Европы – обнаруженные в 2010 г. олдованские стоянки в долине Днестра (Байраки, Крецешты и др.) возрастом 1.0–1.1 млн лет, о чем детально рассказал д.г.н. *А.Л. Чепалыга* (ИГ РАН), прослеживающий этапы первичного заселения Северного Причерноморья по материалам последних открытий олдованской культуры в террасах Чёрного моря и его притоков. Эта серия стоянок позволила реконструировать не только время начала (2.0–1.8 млн л.н.), но и пути миграции олдованской культуры в Европу по Северо-Черноморскому коридору. Второй этап олдованских миграций в конце эоплейстоцена (1.2–0.8 млн лет) проходил по более широкой полосе к югу и северу от Чёрного моря через Анатолийско-Балканский коридор, Украину и Молдавию [1, 20, 28]. Колоссальное археологическое наследие Северо-Западного Причерноморья античной эпохи также представлет интерес с точки зрения историко-географической проблематики. Большая работа в этом направлении проделана к.г.н. *А.Н. Левинским* (ИКН АНМ), выступившим с докладом “К вопросу о выделении нового культурного пласта древностей в лесостепи Карпато-Поднестровья”. Им были проведены ревизия и картографирование археологических древностей региона, относимых к земледельческому населению VI–IV вв. до н. э., сопоставимому с гетами античных письменных источников [12, 25, 28]. Опыт исторической реконструкции винодельческих комплексов Северного Причерноморья в античный период и его значение в моделировании подобных сооружений для смежных регионов изучен *А.И. Трифан* (ИКН АНМ). Анализ письменных источников с привлечением археологических данных по античному виноградарству и виноделию показал, что в Северном Причерноморье использовалась греческая технология производства вина, а в более поздний период местное виноделие испытывало влияние римской винодельческой традиции [28, 30].

Новейшие исследования проблем эволюции архитектуры Северо-Западного Причерноморья рассмотрены кандидатом искусствоведения *Т.П. Нестеровой* (ИКН АНМ). По данным докладчика, проведенный искусствоведческий анализ, изучение архитектурного формообразования, эволюции архитектуры в тесной связи с природными и социальными факторами и развитием техники, использование сравнительного метода и метода аналогии вскрыли допущенные в прошлом ошибочные датировки средневековых памятников Молдавии: крепостей Сороки, Хотин, церквей в г. Каушаны, с. Вадул-Рашков, с. Лапушна и др., а также архитектурно-исторические истоки “молдавского свода” [4, 26–28]. Объект многолетних исследований кандидата искусствоведения *Э.А. Брихунеца* (Отдел церковной архитектуры, реставрации и иконописи Кишинёвско-Молдавской митрополии) – поклонные кресты Бессарабии и Подолии второй половины XIX – первой половины XX в. Ученым проведен анализ художественного, исторического и географического аспектов камнетесного промысла в этих регионах [22, 28]. Доклад *Н.А. Юрченко* (ИКН АНМ) “Промелькнувшее явление. Романтизм в истории архитектуры Кишинёва как составного звена Черноморского бассейна” также подготовлен в рамках историко-географического подхода к проблемам эволюции архитектуры. В 20–30 годы XIX в. в истории архитектуры России (в состав которой с 1812 г. входила и Бессарабия) происходит смена стилевой направленности – отход от приемов классицизма и утверждение нового романтического видения архитектурных образов. Сооружения романтического характера в обилии появляются и на юге Российской империи, в частности на территории Черноморского бассейна [28].

Одна из “вечных” проблем научного дискурса – происхождение этносов. Обобщения д.и.н. *М.Ц. Арзаканян* (Институт всеобщей истории РАН) в рамках доклада “К вопросу о раннем этногенезе молдаван в советской историографии” (в трудах археологов, историков, лингвистов и этнографов – В.Ф. Шишмарёва, М.С. Гурычевой, М.В. Сергиевского, Г.Б. Федорова, Т.Д. Златковской,

Г.Г. Литаврина, Л.Л. Полевого, Э.А. Рикмана, Н.А. Мохова, В.С. Зеленчука, В.Д. Королюка, Н.А. Чаплыгиной и др.) – яркая иллюстрация многогранной сложности и нерешенности проблемы до настоящего времени [28]. Проблемам эволюции данного дискурса в контексте молдавско-русских отношений (в прошлом и настоящем) было посвящено выступление д.и.н., к.филол.н. *В.Н. Стати* (МИГО), убежденного, что эти взаимосвязи, "стратегические для России, известные с 1480 г., жизненно важны для Молдавии". Вместе с тем "воинственное вторжение политики в историю искажает и даже отрицает эти и другие факты и документы" [7, 18]. К.и.н. *В.Ф. Степанюк* (IRIM) изучает современные проблемы укрепления Молдавской государственности, ослабление которой в последние десятилетия основано не только на неудачной реформе экономики, геополитической конфронтации в регионе, но также на кризисе идентичности, антимолдавской и румыноунионистской политике, продвигаемой правительствами в области образования и культуры, национально-государственных идей [2].

В то же время проблемые исторические вопросы становятся инструментом в ходе противостояний на локальном, региональном и глобальном уровнях. Историческая наука в Молдавии и других соседних государствах Причерноморья и Европы в этом отношении служит ярким примером. Интерпретации острых вопросов противоборствующими группами историков – не только взаимоисключающие и девальвирующие научную методологию. Они давно вынесены за рамки научных споров и служат благодатной почвой для национализма, шовинизма, межнациональной розни, конфликтов, размывают национальную идентичность и государственные устои.

РЕГИОНАЛИСТИКА, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ГЕОПОЛИТИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

Изучению географии молдавской диаспоры посвящена работа к.г.н. *Д.Д. Лозовану* (Институт экологии и географии АНМ). По разным подсчетам от трети до половины населения Молдавии постоянно или временно находится за рубежом. Республика уже много лет в финансовом и экономическом отношениях зависит от диаспоры, которая играет большую роль во взаимосвязях с другими странами, участвует активно в политических и социальных процессах внутри страны [13]. Историко-географическая дискуссия по классическим проблемам страноведения и регионалистики нашла отражение в докладе к.г.н. *Т.А. Галкиной* (ИГ РАН) "Причерноморье и Средиземноморье – единство или соседство? Место Северо-Западного Причерноморья в Средиземноморском регионе". Неоднократные смены культурного, политического и хозяйственного лидерства в регионе создали многослойность его культуры. Так, черты средиземноморской культуры могут быть отмечены в Северо-Западном Причерноморье даже путем визуального наблюдения (промышленные и приусадебные виноградники, сельскохозяйственные угодья на террасированных склонах, археологические и историко-архитектурные памятники древнегреческой и древнеримской эпох, типичные элементы средиземноморской кухни и, наконец, молдавский язык, относящийся к романской языковой группе) [23, 28].

Одновременно Северо-Западное Причерноморье является частью постсоветского пространства, проблемам которого посвящено исследование к.г.н. *М.В. Зотовой*, к.г.н. *А.Б. Себенцова*, к.г.н. *А.А. Гриценко* (ИГ РАН) "Постсоветское пограничье России между востоком и западом". Опираясь на материалы многолетних полевых исследований, авторы предпринимают попытку систематизировать широкий круг проблем, с которыми сталкиваются власти приграничных регионов и их жители, описать практику трансграничных взаимодействий и выявить факторы, определяющие их трансформацию [8, 16].

Одним из ключевых докладов стало выступление д.г.н. *В.А. Колосова* (ИГ РАН) по проблемам неконтролируемых территорий на политической карте мира – тематике, крайне актуальной для Причерноморья. Кризис государственности во многих регионах мира вызывает процессы фрагментации политического пространства на разных территориальных уровнях, спровоцированные как внутренними причинами, так и иностранным вмешательством. Перед учеными состоит задача оценки глобальных, макрорегиональных и локальных факторов возникновения и жизнеспособности неконтролируемых территорий разного типа [16, 17]. Причерноморье остается ареной геополитических интересов и проектов разного происхождения, о чем свидетельствуют данные д.полит.н., к.и.н. *В.А. Бенюка* и к.полит.н. *Л.Г. Бенюк* (IRIM), изучающих современный политологический дискурс в контексте реализации проекта "Междуморья", впервые выдвинутого Ю. Пилсудским после Первой мировой войны и представленного как проект конфедеративного государства от Чёрного и Адриатического до Балтийского морей. На протяжении последних ста лет идея, суть которой сводилась к геополитической изоляции СССР, впоследствии Российской Федерации, неоднократно реанимировалась. Новый толчок этому плану был дан в ноябре 2010 г. в Вильнюсе, где прошла международная научная конференция "Новый регион Европы: парадигмы регионального развития в Балтийско-Черноморском регионе" [21]. Независимый исследователь *А.И. Лаврик* (Кишинёв) изучает роль Республики Молдова как платформы пересечения интересов в

расширенном Причерноморье – регионе соприкосновения культур и цивилизаций на протяжении всей истории. Молдавия представляется как гражданская нация, включающая несколько этнолингвистических сообществ, которые все еще имеют политические, цивилизационные (религиозные), культурные и другие общие ценности [24].

Историко-географическое исследование развития международного туризма в Причерноморском регионе и его проблемы представили д.э.н. *Ю.И. Кротенко* и *Е.Л. Жигарева* (IRIM). Авторами проанализированы уровень и динамика международных туристических прибытий, а также тенденции изменения доходов от международного туризма в странах Причерноморья за 2015–2017 гг. (Болгарии, Грузии, России, Румынии, Турции и Украине в сопоставлении с Республикой Молдова). Историко-географический аспект международной торговли в Причерноморье был освящен в докладе к.э.н. *И.Ю. Кротенко* и *Е.Н. Мироненко* (IRIM). Ими проведен анализ уровня и динамики товарооборота, экспорта и импорта за 2015–2017 гг., раскрыты отдельные предпосылки, способные активизировать международную торговлю Молдавии со странами Причерноморья. Региональное сотрудничество, его цели, результаты, перспективы устойчивого развития (на примере стран Черноморского бассейна) входят в сферу интересов д.ф.н. *Л.А. Рошки* (IRIM). Исследователь отмечает, что после подписания Соглашения об Ассоциации с Европейским Союзом, ученые возобновили сотрудничество в области образования, воспитания, культуры в поисках новых его форм, методов, инструментов для решения социальных проблем и др. [21, 28, 29].

Геополитические вызовы остаются ведущими факторами, определяющими социально-экономическое положение и перспективы развития Причерноморья. Будучи одновременно частью Большого Средиземноморья, Центральной и Восточной Европы, постсоветского пространства, Евразии, Причерноморский регион не может использовать выгоды своего географического положения в полной мере. Парадоксально, но географически оставаясь в самом центре развитого мира, Северное Причерноморье и вся прилегающая Центральная Европа превратились в последние десятилетия в социально-экономическую периферию с ярко выраженной депрессивной демографической обстановкой. Геополитические проекты, основанные на провокационных историографических конструктах и преследующие цели блокировки одного из главных центров мирового развития – России, находящейся в непосредственной близости, жизненно важные интересы которой безусловно охватывают исследуемое пространство, не могут привести и не приводят к достижению всеобщего социально-экономического благополучия. Наоборот, они превращают Причерноморский и Центрально-Европейский регион в буферную зону, полностью зависимую от интересов и воли более сильных геополитических игроков. Одни лишь гуманитарные субсидии “партнеров по развитию” не решают острые социально-экономические проблемы региона. Очевидно, требуется комплекс мер на основе конструктивного сотрудничества с учетом интересов Запада и Востока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Материалы докладов, прозвучавших на конференции, иллюстрируют широкий спектр геополитических и историко-географических проблем региона. Глобальные проблемы человечества, их региональные проявления и полимасштабный характер нуждаются в применении и развитии географического подхода, неотделимого от исторического. Без проведения историко-географических и эколого-географических исследований, позволяющих выявить определенную логику их преобразования, а также размещения различных объектов, в том числе культурного наследия, невозможно получить достоверные и полноценные представления о современной структуре ландшафтов какого-либо региона.

Наиболее наглядно данные закономерности проявляются в пограничных регионах. Природно-этноисторические, этноисторические, этнические, природные, природно-этнические, природно-исторические границы позволяют учесть синтез природных, геометрических, этнических и исторических свойств территории [16]. Например, границы речных бассейнов в силу этнической спецификации расселения и хозяйственной деятельности в доиндустриальную эпоху для горных, лесных и лесостепных ландшафтов и населяющих их народов играли определяющую роль, в то время как для степных и приморских народов – второстепенную. Яркими примерами в этом отношении могут служить памятники фортификационного и культового каменного зодчества, строительство и функционирование которых сопряжено с военно-оборонительными задачами, обусловлено стратегическими факторами и имеет строгую географическую привязку [4].

Историко-географические исследования староосвоенных регионов, таких как Центральная и Восточная Европа, либо Средиземноморье, дают весьма продуктивные результаты. Одним из главных модельных регионов в этом отношении выступает Северо-Западное Причерноморье. Систематизированные сведения о природных ландшафтах, историко-географических областях, их центрах, основных вехах политической истории и проживающих там этнических группах учитывают многочисленные феномены и факторы, опреде-

ляющие важнейшие особенности историко-географических ландшафтов. Многие из них могут быть выявлены не только путем изучения исторических первоисточников и научной литературы, но и в ходе полевых исследований.

Историко-географический подход в топонимических исследованиях опирается на комплексный научный анализ, охватывающий географические, исторические и лингвистические методы. Выявление структуры топонимического компонента ландшафта возможно только в рамках такого подхода, когда наряду с историей вопроса, временем фиксации того или иного географического названия, отдельными филологическими особенностями онимов как единиц языка учитываются и географические факторы. Топонимы – важнейшие индикаторы ландшафтов, наглядно иллюстрирующие, в том числе, конкретные историко-географические обстоятельства миграционных процессов.

Расселение человека в Причерноморье начинается около 2 млн л.н., когда был проложен Северо-Черноморский коридор миграции палеолитической олдованской культуры в Европу. Археологические памятники более развитых культур неолита, античности, средневековья свидетельствуют об интенсивном характере использования пространства социумами соответствующих эпох. Памятники наследия, требующие комплексного мультидисциплинарного подхода к их изучению, во многих случаях определяют типы, специфику и уникальность историко-географических ландшафтов и одновременно служат инструментами формирования локальной, региональной и национальной идентичности.

Геополитические вызовы остаются ведущими факторами, определяющими социально-экономическое положение и перспективы развития Причерноморья. Причерноморский регион не может использовать выгоды своего географического положения в полной мере, превратившись в последние десятилетия в депрессивную социально-экономическую периферию. Помощь западных стран не решила острые проблемы региона. Требуется комплекс мер при поддержке и сотрудничестве всех ведущих мировых держав; также необходимо формирование ответственного отношения внутри самих государств и обществ к собственно занимаемым ими территориям – историко-географическим ландшафтам.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья выполнена в рамках ГЗ ИГ РАН “Проблемы и перспективы территориального развития России в условиях его неравномерности и глобальной нестабильности” № 0148-2019-0008, № АААА-А19-119022190170-1 (анализ геополитических проблем Причерноморья) и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00533 А (систематизация докладов и исследование историко-географической эволюции ландшафтов Северо-Западного Причерноморья).

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS “Problems and prospects of the Russia’s territorial development in terms of its unevenness and global instability” no. 0148-2019-0008, no. AAAA-A19-119022190170-1 (analysis of geopolitical problems of the Black Sea region) and with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, project no. 19-05-00533 A (systematization of reports and study of the historic-geographical evolution of the landscapes of the North-Western Black Sea region).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анисюткин Н.К., Чепалыга А.Л.* Древнейшая в Восточной Европе палеолитическая стоянка Байраки на Днестре: возраст, палеоландшафты, археология // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода. 2012. № 71. С. 75–94.
2. *Бенюк В., Волков Э., Степанюк В.* Молдавская общественно-политическая мысль (XVI–XIX вв.). Кишинёв, 2017. 562 с.
3. *Герцен А.А.* Административно-территориальное деление Молдавии в контексте историко-географических исследований Карпато-Днестровья // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 2. С. 25–39.
4. *Герцен А.А., Нестерова Т.П., Паскарь Е.Г., Тельнов Н.П.* На перекрестке цивилизаций: пространство, время, наследие. Новейшие историко-географические исследования некоторых памятников Северо-Западного Причерноморья. М.–СПб.: Нестор-История, 2019. 416 с.
5. *Герцен А.А.* Картографические методы решения историко-географических проблем (на примере полимасштабных исследований регионов Европы, Средиземноморья и Северо-Западного Причерноморья) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26. Ч. 4. С. 266–281. https://doi.org/10.35595/2414-9179-2020-4-26-266-281
6. *Герцен А.А., Паскарь Е.Г.* Реконструкция историко-географических сведений о начальном периоде формирования молдавского этноса (по данным “Сказания вкратце о молдавскых господарех откоде начася Молдовскаа земля”) // Русин. 2020. № 59. С. 36–77. https://doi.org/10.17223/18572685/59/4
7. *Гросул В.Я.* Бессарабия в международных отношениях нового времени. Кишинёв, 2018. 475 с.
8. *Зотова М.В., Гриценко А.А., Себенцов А.Б.* Постсоветские границы в контексте взаимоотношений России и Запада: возможности дискурс-анализа // Методы и средства исследования природы и общества: Сб. материалов 9-й международной молодежной школы-конференции. 2016. С. 58–64.
9. *Колосов В.А., Руденко Л.Г., Тикунов В.С., Герцен А.А., Головина Е.Д., Зотова М.В., Себенцов М.Б.* Атлас-

ная информационная система российско-украинского приграничья // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2014. Т. 20. С. 24–44.

10. *Константинова Т.С., Тишков А.А., Белоновская Е.А., Герцен А.А.* Природное и культурное наследие Карпато-Днестровья: современное состояние и антропогенные изменения // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 6. С. 94–98.
11. *Костовска С.К., Стулышапку В.О.* "Книга Большому чертежу" как историко-географический источник // Проблемы региональной экологии. 2014. № 5. С. 106–110.
12. *Левинский А.Н.* История гетов в лесостепи Юго-Восточной Европы (конец VI – вторая половина IV вв. до н. э.). Монография в журн. // Stratum plus. 2010. № 3. С. 15–127.
13. *Лозовану Д.* Этническое картографирование населения Молдовы // Patrimoniul etnologic: concepte, tendinţe şi abordări. Chişinău, 2017. P. 72–73.
14. *Паскарь Е.Г.* Неизвестная Молдавия. Одесса: ВМВ, 2014. 384 с.
15. *Паскарь Е.Г., Герцен А.А.* Топоним Молдавия: древнейшие упоминания и новые этимологии // Русин. 2016. № 1 (43). С. 9–35. https://doi.org/10.17223/18572685/43/2
16. Российское пограничье: вызовы соседства / под ред. В.А. Колосова. М.: ИП Матушкина И.И., 2018. 562 с.
17. *Себенцов А.Б., Колосов В.А.* Феномен неконтролируемых территорий в современном мире // Полис. 2012. № 2. С. 31–46.
18. *Стати В.Н.* Молдавия и Россия. Исторические связи и сотрудничество (1480–1818). Кишинёв, 2017. 596 с.
19. *Тельнов Н.П., Четвериков И.А., Синика В.С.* Скифский могильник III–II вв. до н. э. у с. Глинное // Археологические памятники Приднестровья. III. Тирасполь: Stratum plus, 2016. 1096 с.
20. *Чепалыга А.Л., Садчикова Т.А., Анисюткин Н.К.* Особенности строения и формирование эоплейстоценовой манджильской террасы района Судака в Крыму со следами обитания древнего человека // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода. 2019. № 77. С. 141–159. https://doi.org/10.34756/GEOS.2019.4.77-9
21. *Beniuc V., Rosca L., Afanas N.* Uniunea Europeană-Uniunea Euroasiatică: studiu comparat. Chisinau: IRIM, 2015. 155 p.
22. *Brihunet M.* Cimitirele ortodoxe din Republica Moldova. Istorie. Arhitectură. Sculptură (secolul al XVIII-lea – prima jumătate a secolului al XIX-lea). Chişinău: Cartdidact, 2019. 391 p.
23. *Galchina T., Gherţen A., Gherţen O., Cucuşchina N.* Black Sea and Mediterranean Regions – unity or neighborhood? Location of the North-Western Black Sea Region in the Mediterranean Region // Relatii Internaţionale Plus. 2019. № 1 (15). P. 259–277.
24. *Lavric A.* Misiunea statului moldovenesc: de la origini până în present // Statalitatea Moldovei: continuitatea istorică şi perspectiva dezvoltării. Chişinău, 2017. P. 127–143.
25. *Levinschi Al.* Cultura geţilor în spaţiul pruto-nistrean (sec. VI–IV î. e. n.): autoreferatul tezei de doctor în istorie. Chişinău: Inst. of Cultural Heritage, 2016. 29 p.
26. *Nesterova T.* Despre datarea cetăţii de piatră din oraşul Soroca // Revista Arheologică, serie nouă. 2015. № 1–2 (11). P. 209–219.
27. *Nesterova T.* Etape controversate ale formării arhitecturii cetăţii Hotin // Arta. 2011. № 1 (20). P. 39–48.
28. Probleme geopolitice şi istorico-geografice ale Bazinului Mării Negre. Chişinău: IRIM, 2019. 299 p.
29. *Roşca L.* Filosofia Integrării Europene: Curs universitar. Chişinău: IRIM, 2017. 312 p.
30. *Trifan A.* Spaţialitatea publică în structura complexurilor vitivinicole autohtone // Akademos. 2019. № 2 (53). P. 147–153.

Geopolitical and Historic-Geographical Problems of the Black Sea Region (Review of Results of International Conference 2019)

A. A. Herzen*

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**e-mail: gerzen@igras.ru*

The article provides brief information about the International Conference "Geopolitical and Historic-Geographic Problems of the Black Sea Region", organized by the Institute of International Relations of Moldova in cooperation with the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (IG RAS), the Russian Geographical Society and the Moldavian Historic-Geographical Society, June 5, 2019 in Kishinev, Moldova. The conference presented the results of the current and long-term work of scientists from the Republic of Moldova and the Russian Federation, as well as the preliminary results of the comprehensive expedition of the scientists from IG RAS to Moldova, conducted from May 26 to June 6, 2019. The reports presented at the conference clearly illustrate the wide range of current geopolitical and historic-geographical problems of the region. They are of interest to a wide range of geographers, political scientists, sociologists, historians, archaeologists, cultural scientists, and other specialists dealing with the problems of regional studies and, in particular, the Black Sea region.

Keywords: historic-geographical landscape, heritage, geopolitical position, borders, discourse, Black Sea region, conference

REFERENCES

1. Anisyutkin N.K., Chepalyga A.L. The oldest paleolithic site in Eastern Europe Bairaki on the Dniester: Age, paleolandscapes, archaeology. *Byull. Komissii po Izuch. Chetvertichnogo Perioda*, 2012, vol. 71, pp. 75–94. (In Russ.).
2. Benyuk V., Volkov E., Stepanyuk V. *Moldavskaya obshchestvenno-politicheskaya mysl' (XVI–XIX vv.)* [Moldavian Socio-Political Thought (16–19th Centuries)]. Kishinev, 2017. 562 p.
3. Hertsen A.A. Administrative-territorial division of Moldavia in the context of historical and geographical studies of Carpathian-Dniester Region. *Izv. Akad. Nauk*, *Ser. Geogr.,* 2010, no. 2, pp. 25–39. (In Russ.).
4. Herzen A.A., Nesterova T.P., Paskary E.G., Tel'nov N.P. *Na perekrestke tsivilizatsii: prostranstvo, vremya, nasledie. Noveishie istoriko-geograficheskie issledovaniya nekotorykh pamyatnikov Severo-Zapadnogo Prichernomor'ya* [At the Crossroads of Civilizations: Space, Time, Heritage. Newest Historic-Geographical Researches of Some Monuments of the North-Western Black Sea Region]. Moscow–St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2019. 416 p.
5. Herzen A.A. Cartographic methods for solving historical and geographical problems (on the example of multiscale research of Europe, Mediterranean and North-Western Black Sea regions). *InterCarto. InterGIS*, 2020, vol. 26, pp. 266–281. (In Russ.). doi 10.35595/2414-9179-2020-4-26-266-281
6. Herzen A.A., Paskary E.G., Reconstruction of historic and geographical information about the initial period of the Moldavian ethnos formation (according to the brief tales about the Moldavian lords from the beginning of the Moldavian land). *Rusin*, 2020, vol. 59, pp. 36–77. (In Russ.). doi 10.17223/18572685/59/4
7. Grosul V.Ya. *Bessarabiya v mezhdunarodnykh otnosheniyakh novogo vremeni* [Bessarabia in Modern International Relations]. Kishinev, 2018. 475 p.
8. Zotova M.V., Gritsenko A.A., Sebentsov A.B. Post-soviet borders in the context of relations between Russia and the West: Opportunities for discourse analysis. In *Meridian: Metody i sredstva issledovaniya prirody i obshchestva. Sb. mater. 9 mezhd. molodezh. shkol.-konf.* [Meridian: Methods and Tools for Studying Nature and Society: Proc. 9th Int. Youth School-Conf.]. Moscow: Inst. Geogr. Akad. Nauk, 2016, pp. 58–64. (In Russ.).
9. Kolosov V.A., Rudenko L.G., Tikunov V.S., Gercen A.A., Golovina E.D., Zotova M.V., Sebentsov A.S. Atlas information system of Russian-Ukrainian borderland. *InterCarto. InterGIS*, 2014, vol. 20, pp. 24–44. (In Russ.).
10. Konstantinova T.S., Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Gertsen A.A. Natural and cultural heritage of Karpato-Dnestrovie: Modern condition and anthropogenic changes. *Izv. Akad. Nauk*, *Ser. Geogr.,* 2008, no. 6, pp. 94–98. (In Russ.).
11. Kostovska S.K., Stulyshapku V.O. "Book to the Big Drawing" as a historical and geographical source. *Probl. Reg. Ekol.,* 2014, no. 5, pp. 106–110. (In Russ.).
12. Levinskii A.N. The history of the Getae in the forest-steppe of Southeastern Europe (end of the 6th – second half of the 4th centuries BC). Monograph in the journal. *Stratum Plus*, 2010, no. 3, pp. 15–127. (In Russ.).
13. Lozovanu D. Ethnic mapping of the population of Moldova. In *Patrimoniul etnologic: concepte, tendinţe şi abordări* [Ethnological Heritage: Concepts, Trends and Approaches]. Ghilaş V., Ed. Chişinău: Notograf Prim Publ., 2017, pp. 72–73. (In Russ.).
14. Paskary E.G. *Neizvestnaya Moldaviya* [Unknown Moldavia]. Odessa: VMV Publ., 2014. 394 p.
15. Paskary E.G., Herzen A.A. The toponym Moldavia: Ancient recollections and new etymologies. *Rusin*, 2016, vol. 43, no. 1, pp. 9–35. (In Russ.). doi 10.17223/18572685/43/2
16. *Rossiiskoe pogranich'e: vyzovy sosedstva* [Russian Borderlands: Neighborhood Challenges]. Kolosov V.A., Ed. Moscow: I.I. Matushkina Publ., 2018. 562 p.
17. Sebentsov A.B., Kolosov V.A. The phenomenon of uncontrolled territories in the modern world. *Polis*, 2012, no. 2, pp. 31–46. (In Russ.).
18. Stati V.N. *Moldaviya i Rossiya. Istoricheskie svyazi i sotrudnichestvo (1480–1818)* [Moldavia and Russia. Historical Ties and Cooperation (1480–1818)]. Kishinev, 2017. 596 p.
19. Tel'nov N.P., Chetverikov I.A., Sinika V.S. *Skifskii mogil'nik III–II vv. do n. e. u s. Glinnoe* [Scythian burial ground of the III–II centuries BC at village Glinnoe]. Polin S.V., Ed. Tiraspol': Stratum Plus Publ., 2016. 1096 p.
20. Chepalyga A.L., Sadchikova T.A., Anisiutkin N.K. Formation of Lower Pleistocene Mandjil Terrace of Sudak standart terrace profile (Crimea) and environment of ancient humaine. *Byull. Komissii po Izuch. Chetvertichnogo Perioda*, 2019, vol. 77, pp. 141–159. (In Russ.). doi 10.34756/GEOS.2019.4.77-9
21. Beniuc V., Rosca L., Afanas N. *Uniunea Europeană-Uniunea Euroasiatică: studiu comparat* [European Union-Eurasian Union: A Comparative Study]. Chisinau: IRIM, 2015. 155 p.
22. Brihuneţ M. *Cimitirele ortodoxe din Republica Moldova. Istorie. Arhitectură. Sculptură (secolul al XVIII – prima jumătate a secolului al XIX-lea)* [Orthodox Cemeteries in the Republic of Moldova. History. Architecture. Sculpture (18th century – first half of the 19th century)]. Chişinău: Cartdidact Publ., 2019. 391 p.
23. Galchina T., Gherţen A., Gherţen O., Cucuşchina N. Black Sea and Mediterranean Regions – unity or neighborhood? Location of the North-Western Black Sea Region in the Mediterranean Region. *Relatii Internaţionale Plus*, 2019, vol. 15, no. 1, pp. 259–277.
24. Lavric A. The mission of the Moldovan state: From its origins to the present. In *Statalitatea Moldovei: continuitatea istorică şi perspectiva dezvoltării* [The State Of Moldova: Historical Continuity and Development Perspective]. Chişinău, 2017, pp. 127–143. (In Rom.).
25. Levinschi Al. The culture of the Getae in the Prut-Dniester area (VI–IV centuries BC). *Extended Abstract*

of Doctoral (History) Dissertation. Chişinău: Inst. of Cultural Heritage, 2016. 29 p. (In Rom.).

26. Nesterova T. About the dating of the stone fortress in the city of Soroca. *Revista Arheologică, Serie Nouă*, 2015, nos. 1–2(11), pp. 209–219. (In Rom.).
27. Nesterova T. Controversial stages of the formation of the architecture of the Hotin fortress. *Arta*, 2011, no. 1(20), pp. 39–48. (In Rom.).
28. *Probleme geopolitice şi istorico-geografice ale Bazinului Mării Negre* [Geopolitical and Historical-Geographical Issues of the Black Sea Basin]. Chişinău: IRIM, 2019. 299 p.
29. Roşca L. *Filosofia Integrării Europene: Curs universitar* [Philosophy of European Integration: University Course]. Chişinău: IRIM, 2017. 312 p.
30. Trifan A. Public space in the structure of local wine complexes. *Akademos*, 2019, vol. 53, no. 2, pp. 147–153. (In Rom.).

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 1, с. 156–160

ИСТОРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ НАУКИ

УДК 911.3

СЕРГЕЙ БОРИСОВИЧ ШЛИХТЕР (1931–2010) И ЕГО ВКЛАД В ГЕОГРАФИЮ МИРОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

© 2021 г. С. А. Тархов*

Институт географии РАН, Москва, Россия

**e-mail: tram.tarkhov@gmail.com*

Поступила в редакцию 15.05.2020 г.
После доработки 02.10.2020 г.
Принята к публикации 30.10.2020 г.

Биографический очерк известного советского и российского экономико-географа С.Б. Шлихтера, проработавшего около 30 лет в Институте географии РАН. Он родился в Москве в 1931 г. и закончил Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова в 1954 г. Был известным специалистом по географии транспорта, географии инфраструктуры, экономической географии Мирового океана, проблемам экономической интеграции стран Европы. Первые 20 лет своей трудовой и научной жизни он провел в Институте комплексных транспортных проблем при Госплане СССР, где занимался изучением особенностей размещения и функционирования транспортных систем зарубежных стран. Умер в Мюнхене в 2010 г. В статье приведен почти полный список научных трудов С.Б. Шлихтера.

Ключевые слова: Сергей Борисович Шлихтер, география транспорта, география инфраструктуры, география Мирового океана, история экономической географии

DOI: 10.31857/S2587556621010155

Двадцать первого февраля 2021 г. исполняется 90 лет со дня рождения Сергея Борисовича Шлихтера (рис. 1), известного в нашей стране экономико-географа, проработавшего в Институте географии РАН почти 30 лет (1979–2007 гг.).

С.Б. Шлихтер – внук известного революционера ленинской эпохи Александра Григорьевича Шлихтера (1868–1940), ставшего в советское время партийным деятелем Украинской ССР и занимавшего в 1931–1938 гг. пост вице-президента Академии наук УССР. Отец Сергея Борисовича – Борис Александрович (1904–1973) – был историком и работал в отделе рукописей Государственной библиотеки СССР имени В.И. Ленина.

С.Б. Шлихтер в 1949 г. поступил на кафедру экономической географии капиталистических стран географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, которую закончил с отличием в 1954 г. (рис. 2). С детства он владел немецким языком. Курсовые и дипломную работы по Берлину и Западной Германии, а также первую свою научную статью – рецензию на книгу о Йене – он писал под руководством замечательного советского экономико-географа Исаака Моисеевича Маергойза (1908–1975).

По окончании МГУ С.Б. Шлихтера распределили на работу во Всесоюзный институт научной и технической информации (ВИНИТИ); некоторое время он работал также в Институте земного магнетизма АН СССР, затем в Институте экономики АН СССР. В 1956 г. выдающийся экономико-географ, крупнейший специалист в области географии транспорта Леонид Исаакович Василевский (1904–1984) взял его на работу в только что созданный Институт комплексных транспортных проблем (ИКТП) АН СССР (с 1962 г. этот институт стал подчиняться Госплану СССР); в секторе экономики зарубежного транспорта ИКТП Сергей Борисович проработал до 1979 г., т.е. 23 года.

В стенах этого института он обучался в аспирантуре, под руководством Л.И. Василевского им была написана и защищена в 1965 г. на географическом факультете МГУ кандидатская диссертация “География нефтяного трубопроводного транспорта США” [5]. В этом объемистом труде (307 страниц, 192 источника, 8 карт, сделанных на фотографиях или вычерченных цветной тушью) он тщательно проанализировал особенности размещения одной из самых сложных в мире территориальных систем трубопроводного транспорта. Диссертация состоит из четырех глав: 1. Особенности размещения нефтяного трубопроводного транспорта капиталистических стран и география перевозок нефтегрузов; 2. Основные предпосылки размещения трубопроводного транспорта США; 3. Место нефтяных трубопроводов в транспортной системе США; 4. Территориальная структура нефтяного трубопроводного транспорта США.

Рис. 1. Сергей Борисович Шлихтер на полевой практике в Красновидово, 1950 г. Из коллекции Н.А. Шполянской.

Большую помощь С.Б. Шлихтеру в работе над диссертацией оказал его учитель И.М. Маергойз.

В 1967 г. Сергей Борисович был приглашен в Уганду, где работал до 1971 г. в качестве эксперта в министерстве планирования и экономического развития. В Уганде он собрал обширный фактический географический материал и по возвращении в Москву написал вместе с Н.Н. Чижовым (который перед этим выпустил свою страноведческую монографию о Танзании) книгу об этой стране. Позже он принимал участие в написании статьи о транспорте всего континента и составлении карт по транспорту и хозяйству в энциклопедическом справочнике “Африка” (2-е издание).

За время работы в секторе экономики зарубежного транспорта ИКТП С.Б. Шлихтер в соавторстве с Л.И. Василевским и другими сотрудниками написал немало книг по транспорту США и Западной Европы, множество статей по транспорту зарубежного мира [1, 3 и др.]. Ряд статей он публиковал и в географических изданиях. Сектор экономики зарубежного транспорта возглавлял Л.И. Василевский, который, хотя и не имел никакой ученой степени, но был главным специалистом в стране по географии транспорта зарубежного мира. Этот сектор почти ежегодно готовил обзоры и новые книги по транспорту каких-либо частей света и стран (Западная Европа, США),

Рис. 2. Встреча однокурсников после 30-летия окончания МГУ в 1984 г. Вверху (слева направо): Сергей Борисович Шлихтер, Лариса Викторовна Мухина, Константин Сергеевич Тарасов, Юлий Григорьевич Липец; внизу: Нелла Александровна Шполянская, Галина Васильевна Сдасюк, Инга Вениаминовна Люлькина (Канцебовская), Алла Александровна Добровольская (Шитикова). Из коллекции Н.А. Шполянской.

либо специальные выпуски Трудов ИКТП по зарубежному транспорту.

Поскольку главным иностранным языком у Сергея Борисовича был немецкий, то, работая внештатным сотрудником в реферативном журнале "География" в ВИНИТИ, он писал много рефератов немецкоязычных статей, но также владел в совершенстве и английским языком. Благодаря своей многолетней работе в этом информационно-аналитическом институте С.Б. Шлихтер стал референтом самого высокого класса. В 1979 г. Сергей Борисович перешел из ИКТП при Госплане СССР на работу в Институт географии АН СССР – первоначально в лабораторию географии зарубежных стран, которую возглавлял тогда Я.Г. Машбиц (1928–1997).

В конце 1970-х и в начале 1980-х годов Сергей Борисович увлекся новым научным направлением – географией Мирового океана и морских побережий. По этому сюжету им было написано много статей; он участвовал в подготовке коллективных монографий, а также редактировал одну из капитальных книг по этой теме. Также С.Б. Шлихтер участвовал в составлении нескольких карт по транспорту мира, в чем ему помогали экономико-картографы З.В. Самойленко и Е.А. Прохорова.

Когда Л.И. Василевский серьезно заболел, курс "География транспорта мира", который читался им на географическом факультете МГУ с начала 1950-х годов, решением В.В. Вольского (1921–1999 гг.), возглавлявшего тогда на факультете кафедру экономической и политической географии капиталистических и развивающихся стран, был передан в 1984 г. Сергею Борисовичу. Он читал его ежегодно весной в МГУ вплоть до начала 2000-х годов, даже уже после отъезда в Германию (для этого он приезжал на 2–3 недели из Мюнхена в Москву и прочитывал его за этот короткий отрезок времени). В середине 1990-х годов С.Б. Шлихтер написал учебное пособие по данному курсу [4], которое было напечатано издательством Московского университета большим тиражом.

В первой половине 1980-х годов важным объектом экономико-географических исследований в СССР стала производственная инфраструктура. Сергей Борисович написал несколько статей на эту тему, стал главным специалистом в нашей стране по географии инфраструктуры,

участвовал в нескольких симпозиумах и конференциях по экономике производственной инфраструктуры.

В 1986 г. С.Б. Шлихтер перевелся в отдел географии мирового хозяйства (ныне лаборатория географии мирового развития ИГ РАН), который возглавлял В.М. Гохман, а после кончины последнего – Э.Б. Алаев и (с 1988 г.) Ю.Г. Липец. В 1990 г. Сергей Борисович по материалам ВИНИТИ написал книгу-обзор рефератов РЖ "География" о транспорте зарубежного мира [6], которая стала основой его докторской диссертации.

К этому времени были сделаны большие послабления в процедуре защиты этого вида диссертаций, в том числе было разрешено защищать диссертации по совокупности научных работ в виде автореферата (так защитили свои докторские диссертации Ю.Г. Липец и Б.Н. Зимин). Однако Сергею Борисовичу этого не разрешили, и ему все-таки пришлось писать полноценный текст диссертации. Кроме А.П. Горкина (р. 1936 г.) оппонентами работы были Г.А. Агранат (1919–2007) и А.П. Алхименко (1933–2012), ленинградец, занимавшийся сначала военно-морской географией, а позже – географией Мирового океана и работавший в 1973–1994 гг. в Военно-морской академии, а в 2000-е годы – в Институте озероведения РАН. Все три оппонента были докторами географических наук. Диссертация С.Б. Шлихтера состояла из четырех частей, две из которых делились на несколько глав: I. Вопросы теории (Глава 1: Транспорт как отрасль производственной инфраструктуры: проблемы взаимодействия с территориальной структурой хозяйства); II. Транспорт в системе глобальных проблем (Глава 2: Основные факторы пост-индустриального развития и адаптивности мирохозяйственных процессов; Глава 3: Транспорт и функционирование мирового капиталистического хозяйства как глобальная проблема; Глава 4: Проблемы и тенденции транспортного освоения Мирового океана); III. Региональные типы взаимодействия транспорта и хозяйственных структур (Глава 5: Транспорт и региональная экономическая интеграция; Глава 6: Транспорт в территориальной системе США; Глава 7: Развивающиеся страны – транспорт и преодоление слаборазвитости и усеченности территориальной структуры хозяйства); IV. Вопросы транспортной картографии (Глава 8: Проблемы картографирования транспортно-географического процесса).

В самом конце 1980-х и в первой половине 1990-х годов Сергей Борисович часто ездил на научные конференции в Европу и Азию. Он в это время занимался изучением влияния контейнеризации морских портов на сдвиги в их размещении и функциональной реструктуризации портового хозяйства. Благодаря этим конференциям С.Б. Шлихтер стал известен среди специалистов по экономике транспорта во многих странах Европы, а позже и Азии (он побывал в Японии и Китае).

В 1992–1994 гг. на базе Института географии РАН по инициативе В.А. Шупера было создано подразделение Российского открытого университета. И мы вместе с Сергеем Борисовичем читали несколько лекций студентам, а в 1994 г. написали совместный небольшой учебник по географии транспорта, который вышел из печати, но ныне является раритетом [2].

В конце 1990-х годов Сергей Борисович вместе с женой переехал на постоянное место жительство в Мюнхен, где жила их дочь. Проживая в Германии, он участвовал в работе комиссии по географии мирового океана Международного географического союза, был знаком со многими ведущими зарубежными учеными-географами.

С 2003 по 2007 г. Сергей Борисович работал в лаборатории географии мирового развития Института географии РАН уже не штатным сотрудником, а в качестве научного консультанта. Он скончался в Мюнхене 15 марта 2010 г.

Сергей Борисович Шлихтер оставил заметный след в отечественной географии транспорта, географии Мирового океана, географии инфраструктуры и географии мирового хозяйства. Он автор 15 книг и многих статей, в том числе 14 (включая статьи с соавторами) в журнале "Известия РАН. Серия географическая".

С.Б. Шлихтер впервые установил закономерности размещения трубопроводных транспортных систем (на примере самой сложной из них по своей структуре и размерам), которые до него с географической точки зрения не изучались. Вместе с Леонидом Исааковичем Василевским он разработал географическую методику анализа транспортных систем больших стран и макрорегионов, чего также никто из географов до этого не делал. Сам С.Б. Шлихтер детализировал ее, описывая транспортную систему Уганды в своей страноведческой монографии по этой стране.

Сергей Борисович был лидером среди советских географов, изучавших проблемы размещения производственной инфраструктуры и особенности функционирования региональных и страновых систем инфраструктуры. Его исследования и публикации являются краеугольным камнем отечественной географии инфраструктуры.

Он выявил основные тенденции развития мировой транспортной системы в конце XX в. В их ряду: увеличение подвижности населения; ускорение транспортного процесса; усиление специализации сетей универсальных видов транспорта; повышение уровня надежности транспортных связей путем дублирования транспортных потоков и магистралей; формирование транспортных полимагистралей в Европе, Северной Америке, странах Восточной Азии; контейнеризация – универсальное средство осуществления взаимодействия разных видов транспорта на любой территории; повышение качества транспортного обслуживания территории и населения, происходящее

за счет увеличения протяженности электрифицированных железных дорог, автомагистралей с твердым покрытием, дублирования транспортных коммуникаций мирового значения, в том числе прокладки автомагистралей параллельно другим путям сообщения.

Эти важнейшие научные результаты, полученные Сергеем Борисовичем, стали важными элементами теоретических основ отечественной географии транспорта.

В списке литературы к данной статье указаны только самые главные научные труды Сергея Борисовича, а также единственная статья о нем в книге, посвященной 90-летию Института географии РАН [7]. Полная библиография его научных трудов, составленная автором этих строк, приводится в хронологическом порядке (прил. 1_ДМ; дополнительные материалы доступны для данной статьи по DOI 10.31857/S2587556621010155).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Василевский Л.И., Шлихтер С.Б.* Новейшие тенденции развития транспортной системы капиталистических стран. Сопоставительный анализ // Тр. Института комплексных транспортных проблем при Госплане СССР. 1974. Вып. 45. С. 15–52.
2. *Тархов С.А., Шлихтер С.Б.* География транспортных систем: Курс лекций. М.: РОУ, ИГ РАН, 1995. 148 с.
3. Транспорт США: Технико-экономический анализ / под общ. ред. Л.И. Василевского и С.Б. Шлихтера. М.: Транспорт, 1976. 248 с.
4. *Шлихтер С.Б.* География мировой транспортной системы. Взаимодействие транспорта и территориальных систем хозяйства. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 103 с.
5. *Шлихтер С.Б.* География нефтяного трубопроводного транспорта США: Дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИКТП при Госплане СССР, 1965. 307 с.
6. *Шлихтер С.Б.* Транспортные системы в территориальной структуре капиталистического хозяйства // Итоги науки и техники. Сер. География зарубежных стран. Т. 17 / под ред. В.Ф. Худолея. М.: ВИНИТИ, 1990. 195 с.
7. Шлихтер Сергей Борисович // Институт географии Российской академии наук и его люди. М.: Наука, 2008. С. 332–333.

Sergey Borisovich Shlikhter (1931–2010) and His Contribution to the Geography of the World Transport System

S. A. Tarkhov*

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**e-mail: tram.tarkhov@gmail.com*

Biographical essay about the famous Soviet and Russian human geographer S.B. Shlikhter worked near 30 years in the Institute of Geography of Russian Academy of Sciences. He was born in Moscow in 1931 and graduated from Moscow State University in 1954. He has been the specialist in the field of transportation geography, infrastructure geography, economic geography of the World Ocean, economic integration of European countries. The first two decades of his creative life have been devoted to the studying of the peculiarities of transport location in foreign countries in the Institute of complex transportation problems at the USSR's State Planning Commission (Gosplan). He died in Munich in 2010. The list of the scientific publications of S.B. Shlikhter is given.

Keywords: Sergey Borisovich Shlikhter, transportation geography, infrastructure geography, economic geography of the World Ocean, economic geography's history

REFERENCES

1. Vasilevskii L.I., Shlikhter S.B. The recent trends in the development of the transport system of capitalist countries. Comparative analysis. *Tr. Inst. Kompleksnykh Transportnykh Problem pri Gosplane SSSR*, 1974, vol. 45, pp. 15–52. (In Russ.).
2. Tarkhov S.A., Shlikhter S.B. *Geografiya transportnykh sistem: Kurs lektsii* [Geography of Transport Systems: Lecture Course]. Moscow: ROU, Inst. Geogr. RAN, 1995. 148 p.
3. *Transport SShA: Tekhniko-ekonomicheskii analiz* [Transportation in the USA: Technical-Economic Analysis]. Vasilevskii L.I., Shlikhter S.B., Eds. Moscow: Transport Publ., 1976. 248 p.
4. Shlikhter S.B. *Geografiya mirovoi transportnoi sistemy. Vzazimodeistvie transporta i territorial'nykh system khozyaistva* [Geography of the World Transport System. Interaction between Transport and Territorial Economic Systems]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1995. 103 p.
5. Shlikhter S.B. Geography of the oil pipeline transport of the USA. *Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow: Inst. of Complex Transport Probl., the State Planning Committee of the USSR, 1965. 307 p.
6. Shlikhter S.B. *Transportnye sistemy v territorial'noi strukture kapitalisticheskogo khozyaistva* [Transport Systems in the Territorial Structure of Capitalist Economy]. *Itogi nauki i tekhniki* [Findings of Science and Technology]. Ser.: Geografiya Zarubezhnykh stran [Geography of Foreign Countries], vol. 17. Khudolei V.F., Ed. Moscow: VINITI, 1990. 195 p.
7. Shlikhter Sergey Borisovich. In *Institut geografii Rossiiskoi Akademii Nauk i ego lyudi* [Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences and Its People]. Moscow: Nauka Publ., 2008, pp. 332–333. (In Russ.).