Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 5 **ГЕОГРАФИЯ** № 5 • 2021 • СЕНТЯБРЬ–ОКТЯБРЬ

Издательство Московского университета *Выходит один раз в два месяца*

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

Катровский А.П., Ватлина Т.В. Территориальная организация высшей школы России 3

География и экология

Пискарева В.М., Геннадиев А.Н., Лычагин М.Ю. Речные потоки полиаренов в дельтах Дона, Кубани и Волги 14

Биче-оол Т.Н. Особо охраняемые природные территории Республики Тыва 24

Куксина Л.В., Голосов В.Н., Жданова Е.Ю., Цыпленков А.С. Гидролого-климатические факторы формирования экстремальных эрозионных событий в горном Крыму 36

Колдобская Н.А. Экологическая ситуация в городах и районах Ставропольского края 51

Завадская А.В., Лебедева Е.В., Чижова В.П. Механизмы регулирования туристских потоков в Долине гейзеров (Камчатка) 63

Динамика природных процессов

Мазей Н.Г., Прокушкин А.С., Куприянов Д.А., Новенко Е.Ю. Влияние пожаров на динамику лесных экосистем Центральной Эвенкии в последние 3500 лет 78

Варенцова Н.А., Гречушникова М.Г., Повалишникова Е.С., Киреева М.Б., Харламов М.А., Фролова Н.Л. Влияние климатических и антропогенных факторов на весенний сток в бассейне Дона 91

Региональные исследования

Неходцев В.А., Гаршин Д.И., Пожидаев А.М. Строение и история развития пещеры Подмосковной 109

Даценко Ю.С. Влияние Иваньковского водохранилища на качество Волжского источника водоснабжения г. Москвы 124

Курбанов Р.Н., Ульянов В.А., Анойкин А.А., Павленок Г.Д., Семиколенных Д.В., Харевич В.М., Таймагамбетов Ж.К., Мюррей Э.С. Первая люминесцентная хронология начального верхнего палеолита Восточного Казахстана (по материалам стоянки Ушбулак) 131

Захаров И.А., Дмитриев Р.В. Межобщинные конфликты в условиях трансформации конфессионального геопространства (на примере Нигерии) 149

Владимиру Михайловичу Котлякову – 90 лет! 161

CONTENTS

Theory and methodology

Katrovskiy A.P. , Vatlina T.V.
Spatial organization of the higher school of Russia: experience in geographical research 3

Geography and ecology

Piskareva V. M., Gennadiev A. N., Lychagin M. Yu. The fluxes of polyarenes in the Don, Kuban and Volga river deltas 14

Biche-ool T.N. Nature protection areas of the Republic of Tyva 24

Kuksina L.V., Golosov V.N., Zhdanova E.Yu., Tsyplenkov A.S. Hydrological and climatological factors of extreme erosion events in the Crimean Mountains 36

Koldobskaya N.A. Environmental situation in cities and districts of the Stavropol Krai 51

Zavadskaya A.V., Lebedeva E.V., Chizhova V.P. Mechanisms of tourist flows regulation in the Valley of Geysers (Kamchatka) 63

Dynamics of natural processes

Mazei N.G., Prokushkin A.S., Kypriyanov D.A., Novenko E.Yu.
Impact of fires on the dynamics of forest ecosystems in Central Evenkia during the last 3.5 ka 78

Varentsova N.A., Grechushnikova M.G., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Kharlamov M.A., Frolova N.L. Climatic and anthropogenic impacts on spring runoff in the Don River basin 91

Regional studies

Nekhodtsev V.A., Garshin D.I., Pozhidaev A.M. The structure and the evolution of the Podmoskovnaya Cave 109

Datsenko Yu.S. Influence of the Ivankovo reservoir on the quality of the Volga water supply source for Moscow 124

Kurbanov R.N., Ulyanov V.A., Anoykin A.A., Pavlenok G.D., Semikolennykh D.V., Kharevich V.M., Taymagambetov Zh.K., Murray A.S. The first luminescence chronology of the Initial Upper Paleolithic of Eastern Kazakhstan (case study of the Ushbulak archaeological site) 131

Zakharov I.A., Dmitriev R.V. Communal conflicts in the context of the religious landscape transformation (case study of Nigeria) 149

Vladimir Mikhailovich Kotlyakov is 90 years old! 161

© «Вестник Московского университета», 2021

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 911.3:378.1

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ РОССИИ

А.П. Катровский[1], **Т.В. Ватлина**[2]

[1, 2] *Смоленский государственный университет, естественно-географический факультет, кафедра географии*

[1] *Профессор, докт. геогр. н.; e-mail: alexkatrovsky@mail.ru*
[2] *Канд. геогр. н.; e-mail: vatlina_geo@mail.ru*

Рассмотрены традиционные и новые подходы географического изучения высшей школы. Наряду с количественными показателями при оценке пространственной дифференциации высшей школы и влияния территориальной организации системы высшего образования на региональное развитие предлагается шире использовать качественные оценки.

Указывается, что образовательное пространство страны или региона может рассматриваться и как статическая, и как динамическая система. В первом случае неравенство отражает ситуацию конкретного времени. Динамический подход направлен не столько на выявление опорного каркаса образовательного пространства, роли отдельных центров, сколько на происходящие там процессы. Для диагностики региональной ситуации и выявления тенденций изменения необходимо сочетать оба подхода.

Авторы считают возможным и необходимым использование рейтингов и рэнкингов при выявлении пространственных различий, поскольку количественные показатели не всегда позволяют судить о роли университета в региональном развитии.

Выявлены диспропорции в распределении «статусных» университетов и университетов мирового класса, различия университетского потенциала городов России. Отмечается, что современная пространственная организация высшей школы способствует усилению поляризации в инновационном пространстве России. Для России характерно неравенство не только в развитии сети исследовательских университетов, но и неравенство в пространственной организации вузов высокой репутации. Указывается на необходимость формирования опорного каркаса образовательного пространства страны. Показано, что картографический метод может стать действенным инструментом познания пространственных диспропорций и дифференциации.

В заключении делается вывод, что пространственная организация подготовки кадров в современной России не в полной мере соответствует организации их потребления, не учитывает глубокие структурные изменения, произошедшие в экономике регионов. Современная территориальная организация высшей школы объективно усиливает неравенство в возможности дальнейшего развития центра и периферии. Модернизация и развитие конкурентоспособной экономики в регионах России предполагают внесение изменений не только в содержание обучения, но и в региональную политику в сфере высшего образования.

Ключевые слова: пространственная организация, рейтинги университетов, качественные неравенства, университеты мирового класса

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы измерения и картографирования различных процессов, разработки индикаторов, показателей, всевозможных индексов при кажущейся простоте относятся к числу наиболее методологически сложных. Данные вопросы важны для любых исследований, включая изучение пространственной дифференциации состояния и развития высшей школы. Результаты исследования в значительной степени детерминированы методикой и системой используемых показателей. Важно не ограничиться только традиционными количественными показателями, а учитывать и качественные различия, так как именно ими, прежде всего, обусловлено неравенство воздействия высшей школы на региональное развитие [Катровский, 2003]. Вместе с тем, отечественный и зарубежный опыт исследования пространственной организации высшей школы, включая ее картографирование, как правило, ограничивался только количественными показателями: число вузов, прием в вузы, контингент студентов, выпуск подготовленных кадров, расходы на образование, объем научных исследований и т. д. Количественные показатели позволяют выявить различия в пространственной организации отдельных видов деятельности высших учебных заведений, но не объясняют причины «неравенства возможностей развития», обусловленные качественным различи-

ем, хотя известно, что качественные неравенства переходят в количественные и наоборот. Поэтому при оценке пространственной дифференциации высшей школы их следует различать.

Вузы с высокой репутацией, обладающие лучшей материальной базой и более квалифицированными кадрами, известными научными школами, привлекая более подготовленных выпускников, в конечном итоге оказывают более существенное воздействие на социально-экономическое развитие. Университеты мирового и общенационального уровня вносят наивысший вклад в подготовку региональных и национальных элит. Именно эти университеты играют роль ведущих центров инновационного развития, и важно знать, где они расположены. Одной из задач данного исследования стало выявление «качественных» аспектов пространственной организации высшей школы, региональных неравенств в развитии «статусных» университетов и университетов мирового класса.

В последнее время проведен ряд исследований, в которых была выявлена степень влияния высшей школы и отдельных университетов на региональное и локальное развитие [Карпов 2017; Клячко, Семионова, 2018]. Дальнейшее развитие теории эндогенного экономического роста, согласно которой инвестиции в человеческий капитал и систему образования являются важнейшим приоритетом национальной и региональной политики, способствовали росту интереса к изучению проблем взаимовлияния пространственной организации высшей школы и общества у зарубежных исследователей. Среди зарубежных географов в первую очередь следует отметить работы профессора Гейдельбергского университета, известного ученого в области экономической и социальной географии Петера Мейсбургера. Вслед за вышедшей в 1998 г. «Географией образования» [Meusburger, 1998], в которой был рассмотрен широкий круг теоретических и прикладных проблем этого научного направления, им был опубликован цикл работ. С 2006 г. в издательстве Springer по его инициативе выходит серия Knowledge and Space. В 2015 г. в ее рамках вышла коллективная монография Geographies of Knowledge and Power, в которой основное внимание уделяется отношениям между знанием, властью и пространством. Авторы показывают, почему пространство является основополагающим в любом проявлении власти, и объясняют, какую роль знания играют в приобретении, поддержке и легитимации власти, а также каким образом уровень развития образования определяет производительность экономики [Geographies…, 2015]. В 2018 г. опубликована коллективная монография Geographies of the University, в которой анализируется роль университетов как ключевых игроков в современной глобальной экономике знаний. Университеты рассматриваются как центры исследований, обучения и экспертизы, оказывающие значительное экономическое, социальное и культурное влияние на разном территориальном уровне – от локального до глобального [Geographies…, 2018]. Авторы проводят историко-географический анализ европейских университетов от Средневековья до XX в., уделяя внимание оценке международной академической мобильности студентов и преподавателей, политике расширения влияния через создание новых университетов. Джон Годдард исследует меняющийся характер связей между университетом и городом, доказывая, что университеты являются «ключевыми институтами в обществе», для которых неизбежны отношения с окружающими их участниками рынка, правительства и гражданского общества. Он рассматривает университеты как «городские якорные институты» [Goddard, 2018, с. 356], которые представляют собой источники стабильности в местной экономике из-за их низкой подверженности экономическим спадам. Годдард рассматривает вклад университетов в создание новых рабочих мест, инноваций и расширяет модель тройной спирали, предложенную Х. Ицковицем и Л. Лейдсдорфом [Etzkowitz, Leydesdorff, 2000].

Интерес географов Запада к вопросам географии высшей школы и географии знаний (в широком смысле) объясняется значением в экономике этих стран отраслей, основанных на знаниях. В развитых и отдельных развивающихся странах осознают, что конкурентоспособную экономику можно создать, только опираясь на знания.

Гораздо меньше публикаций по методике исследования пространственной организации и развития высшей школы. За рубежом сформировалось целое направление под названием сравнительная эдукология, среди изучаемых аспектов которой сравнение территориальных объектов. В рамках данного направления науки выделено семь уровней сравнения – от макрорегионов мира до отдельных людей [Bray, 1995, с. 475]. Четыре уровня – макрорегиональный, страновой (национальный), провинциальный, районный – имеют непосредственное отношение к пространственному анализу. Доминирующей единицей сравнительных исследований в сфере образования, по мнению некоторых авторов, являются страны [Comparative…, 2014]. По мнению Марии Мейзон, страны со значительными региональными различиями необходимо исследовать прежде всего на субнациональном уровне [Мейзон, 2019, с. 126]. Для географов ясно, что для пространственного сопоставления необходим полимасштабный подход.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Перед исследователями пространственной организации высшей школы часто стоит задача сравнения как самих вузов, так и систем высших учебных заведений. Важнейшими индикаторами пространственной дифференциации развития высшей школы помимо приема, контингента и выпуска могут быть число профилей обучения, соотношение в вузе разных ступеней обучения, численность профессорско-преподавательского состава. В настоящее время стали шире использоваться такие показатели, как доля или численность иностранных студентов, средний балл ЕГЭ поступивших в университет. Они не исчерпывают перечень общих индикаторов. Из относительных показателей при региональных сопоставлениях чаще применяют число студентов на 10 тыс. человек населения (вовлеченность населения в сферу высшего образования), соотношение числа выпускников школ с величиной приема на первый курс и др. Однако показатели числа студентов, величины приема и выпуска, количества профилей обучения не в полной мере характеризуют влияние университетов на региональное развитие, с одной стороны, и роль (миссию) университета – с другой. Значительные масштабы подготовки кадров не являются гарантом инновационного развития регионов страны. Об этом свидетельствует ситуация в Омской, Орловской, Курской областях, Калмыкии, Хабаровском крае, которые по числу студентов на 10 тыс. человек населения в 2019 г. занимали соответственно 4, 5, 10, 11 и 12-е места, а по использованию современных технологий не входили даже в топ-20 регионов-лидеров России [Регионы России..., 2020]. По инновационному потенциалу, согласно рейтингу РА «Эксперт», эти регионы занимали в 2019 г. 29, 62, 41, 27 и 37-е места [Рейтинг инвестиционной..., 2020].

Образовательное пространство страны или региона может рассматриваться и как статическая, и как динамическая система. В первом случае, неравенство отражает ситуацию конкретного времени. Динамический подход направлен не столько на выявление опорного каркаса образовательного пространства, роли отдельных центров, сколько на происходящие там процессы. Для диагностики региональной ситуации и выявления тенденций изменения необходимо сочетать оба подхода.

Современная пространственная структура высшей школы России с присущей ей значительной дифференциацией – есть результат почти трехвекового развития. Значительные территориальные неравенства создают разные возможности дальнейшего развития. Поскольку количественные показатели не всегда позволяют судить о роли университета в развитии, то можно широко использовать рейтинг и рэнкинг, которые являются инструментами упорядочения представлений об объектах исследования, позволяют оценить степень влияния университета на тот или иной аспект регионального развития [Millot, 2015]. В практике международных и внутрироссийских сопоставлений широко используются рейтинги вузов. Из международных рейтингов известны QS, The World University Rankings, Академический рейтинг университетов мира (ARWU), «Три миссии университета» и др. В нашем исследовании предпочтение было отдано рейтингу QS, т. к. он имеет международное признание и отличается значительной широтой охвата университетов разных стран [QS..., 2020]. Система показателей рейтинга QS оценивает не только конкретные параметры научной деятельности, но и учитывает субъективное мнение экспертного сообщества о репутации отдельных вузов. Большая часть университетов, включенных в рейтинг, имеет конкретную территориальную привязку к определенному поселению, региону, государству, поэтому существует возможность проводить мультимасштабные сопоставления. Некоторые трудности могут возникнуть на локальном уровне, когда отдельные подразделения (факультеты, филиалы, кампусы) оказываются в разных городах и даже регионах.

Вместе с тем существующие мировые и национальные рейтинги университетов неоднократно становились предметом критики как в средствах массовой информации, так и в научных публикациях. Как отмечает Бено Мило, «международные рейтинги университетов стали неизбежной реальностью системы высшего образования. Растет как их популярность, так и их критика. Только с 2011 по 2013 г. в University World News было опубликовано 165 статей, посвященных рейтинговой оценке университетов, большая часть которых носила критический характер» [Millot, 2015, с. 156]. Одна из причин подобной критики связана с самой природой рейтингового анализа. Рейтинги являются интегральными показателями, оценивающими различные виды деятельности, и всегда будут вызывать вопросы, каких бы областей исследования они ни касались.

Так как рейтинги и рэнкинги являются индикаторами неравенства, то по сравнению с традиционными статистическими подходами они позволяют гораздо лучше выявить, как «неравенство возможностей может перейти в неравенство результатов» и наоборот [Аткинсон, 2018].

Для сопоставления ведущих университетов России и мира была разработана ступенчатая шкала, при которой каждые пятьдесят мест в рейтинге оценивались в один балл. Университеты, занимающие

в рейтинге QS места с 801-го по 1000-е, получали один балл, с 751-го по 800-е – два балла, с 701-го по 750-е – три балла и т. д. При такой ступенчатой шкале университеты топ-50 могли получить до 17 баллов. Суммируя баллы, можно оценить потенциал ведущих центров высшего образования мира. Результаты его оценки в России нашли отражение в виде «суммарного показателя университетского потенциала города».

Все вузы в мировом рейтинге можно разделить на несколько групп. Возглавляют систему высшего образования мира университеты группы «Альфа», входящие в топ-100, далее идут «Бета»-университеты, которые занимают места со 101-го по 300-е, затем вузы «Гамма» (с 301-го по 500-е) и «Дельта», занимающие в рейтинге места с 501-го. Подобный подход можно использовать при изучении качественных пространственных неравенств высших учебных заведений на основе иных международных или российских рейтингов вузов. Фактически решалась задача классификации, которая, как заметил В.С. Тикунов [1997], в географии относительно чаще, чем в других науках, выступает не только как метод, но и как цель научного исследования. А благодаря картографической визуализации повышается эффективность качественного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Высшая школа России является частью мирового образовательного пространства. Из российских университетов, согласно рейтингу QS, в 2020 г. в состав группы «Альфа» входил только Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. В группу «Бета» входили несколько российских вузов: Новосибирский, Санкт-Петербургский, Томский государственные университеты и МГТУ имени Н.Э. Баумана в Москве. Все перечисленные университеты являются лидерами мировой высшей школы, их высокая репутация формировалась столетиями, лишь Новосибирский государственный университет как принципиально новый тип университета, органично сочетающий образовательную и научную функции, был образован в 1958 г., а открыт в 1959 г.

Еще больше российских университетов (одиннадцать) в 2020 г. входило в группу «Гамма»: МФТИ, ВШЭ, МИФИ, МГИМО, РУДН, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Москва), Национальный исследовательский университет ИТМО, Политехнический университет Петра Великого (Санкт-Петербург), Уральский и Поволжский (Казанский) федеральные университеты, Томский политехнический университет. Все вузы этой группы являются национальными исследовательскими или федеральными университетами.

Среди российских университетов группы «Гамма» лишь ВШЭ возникла в конце XX в. Казанский и Петербургский политехнический университеты были основаны еще в дореволюционное время, меньшая часть – в советский период: МИСиС в 1918 г. как Московская горная академия, Уральский федеральный в 1920 г., МГИМО в 1944 г. на базе международного факультета МГУ, РУДН в 1960 г., МФТИ в 1951 г. на базе физико-технического факультета МГУ, МИФИ в 1942 г. как Московский институт боеприпасов.

Университеты группы «Дельта» в России функционировали во Владивостоке, Воронеже, Москве, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Ростове-на-Дону, Самаре, Саратове, Челябинске. В начале 2020 г. по рейтингу QS среди ведущих университетов мира было 25 российских вузов, которые функционировали в 13 вузовских центрах. Само появление университета в рейтинге QS можно рассматривать как вхождение в некий клуб университетов мирового класса (WCU).

В исследовании В.Л. Бабурина и С.П. Земцова [2017] к регионам с высоким потенциалом развития региональных инновационных систем относятся семь субъектов Российской Федерации: Москва, Санкт-Петербург, Татарстан, Московская, Нижегородская, Новосибирская и Томская области. Их объединяет наличие высокоразвитых региональных систем высшего образования, в которых ядрами выступают университеты класса WCU.

Поскольку различия между университетами, входящими в разные группы, прежде всего, качественные, то можно утверждать, что каждая группа – это своеобразный класс.

Вузы класса «Альфа» формируют ядро мирового образовательного пространства. Все вузы, отнесенные к ведущим, с точки зрения центр-периферийных отношений являются частью центра или полупериферии. Однако отдельные университеты, занимающие места на мировой полупериферии, в рамках этой концепции могут быть частью отечественного центра (ядра). В России в 2020 г. университеты WCU функционировали в 13 центрах или один университетский центр приходился на более чем 1,3 млн км^2. Для большинства развитых стран и стран, достигших успехов в развитии высокотехнологичных производств, характерен полицентризм университетов мирового уровня. Например, в этом же году в Германии только центров с университетами класса «Альфа» и «Бета» насчитывалось 15. На относительно небольшой по площади территории Великобритании насчитывалось девять городов с университетами класса «Альфа» и двенадцать, в которых функционировали университеты класса

«Бета». В Нидерландах центров с университетами класса «Альфа» и «Бета» было 11. В Китае в группу «Альфа» входило 11 университетов, еще шесть входило в группу «Бета». Однако важно, что эти университеты находились в девяти центрах, в пяти из которых были университеты «Альфа». Университеты группы «Бета» функционировали в семи центрах Китая. Подобная полицентричность позитивно влияет на развитие высокотехнологичных производств в регионах и городах их локализации. Университеты зачастую выступают основными «драйверами» развития высокотехнологичных производств в регионах их локализации. Для сравнения в Канаде, схожей по характеру освоения территории с Россией, но значительно меньшей по численности населения, в 2020 г. насчитывалось 24 университета мирового класса, действовавших в 19 центрах. Университеты мирового класса имелись в 8 из 10 провинций страны. Что касается России, то не было университетов мирового класса по версии QS в 2020 г. в Северо-Кавказском федеральном округе. Всего по одному центру высшего образования с мировыми университетами имелось в Дальневосточном и Южном федеральных округах.

В советские времена отсутствовали столь значительные, как в настоящее время, региональные неравенства в уровне и качестве жизни. Отказ от системы распределения породил проблему обеспечения многих регионов специалистами в области высоких технологий, создал кадровые барьеры развития многих современных отраслей экономики. Пространственная организация и отраслевая структура региональных систем высшего образования часто отражают особенности отраслевой и пространственной структур экономик «вчерашнего» дня. Несмотря на значительные постиндустриальные трансформации, деиндустриализацию, глубокие изменения на локальных рынках труда, столичные города остаются главными центрами подготовки кадров с высшим образованием для промышленности. Москва и Санкт-Петербург – крупнейшие «кузницы кадров» для металлургии, энергетики, горной и химической промышленности. По-прежнему велика роль столиц в аграрном и лесном высшем образовании. Столичные отраслевые национальные исследовательские университеты территориально оторваны от основных регионов потенциального использования выпускников.

Роль высших учебных заведений в обеспечении инновационного развития может существенно отличаться. Особое место занимают ведущие вузы с высокой репутацией, качеством образования и научных исследований. Их миссию можно было бы обозначить как «университеты инновационного прорыва». Именно эти учебно-научные комплексы, располагающие наиболее совершенной научной базой, информационной инфраструктурой и квалифицированными кадрами, привлекают «лучшие умы». От этих университетов зависит национальная и региональная конкурентоспособность, национальная безопасность, они должны обеспечивать инновационное превосходство страны. Их миссия сводится, прежде всего, к генерации и внедрению нового. Большинство подобных университетов входит в рейтинги ведущих вузов мира.

В 2008 г. в России появился новый тип высшего учебного заведения – национальный исследовательский университет (НИУ). В мае 2010 г. список НИУ был утвержден Правительством Российской Федерации. Отмечалось, что перечень НИУ может быть пересмотрен, а их статус отозван.

Создание национальных исследовательских университетов было направлено на преодоление технологического отставания в области передовых и наиболее перспективных технологий. В конце 2020 г. из 29 национальных исследовательских университетов России 11 действовало в столичном регионе и четыре – в Санкт-Петербурге (рис. 1). По два НИУ было создано в Казани, Перми и Томске. Из других вузовских городов в качестве мест локализации НИУ выступали Белгород, Иркутск, Нижний Новгород, Новосибирск, Самара, Саранск, Саратов, Челябинск. На данные вузы была возложена особая научная и инновационная миссия. Они должны были обеспечить технологическое превосходство в ведущих отраслях. Большая часть НИУ возникла на базе лучших отраслевых российских (советских) вузов, осуществляющих подготовку кадров, исследования в высокотехнологичных видах деятельности (энергетика, электроника, авиаракетостроение, медицина, новые материалы и пр.). В настоящее время большинство НИУ стали межотраслевыми высшими учебными заведениями. Но вызывает вопросы пространственная организация национальных исследовательских университетов. Высшие учебные заведения подобного типа до настоящего времени не открыты в Северо-Кавказском, Южном и Дальневосточном федеральных округах. Декларация необходимости опережающего развития, включая развитие высокотехнологичных производств, вступила здесь в противоречие с региональной политикой, проводимой в сфере высшей школы.

При формировании сети НИУ необходимо учитывать не только общий уровень развития вуза, но и особенности национальной специализации регионального хозяйства. Исследовательский университет – это учебно-научный комплекс, направленный на инновационное развитие отраслей экономики страны, а также регионов их локализации. Концентрация исследовательских университетов в Москве и Санкт-Петербурге объективно усиливала

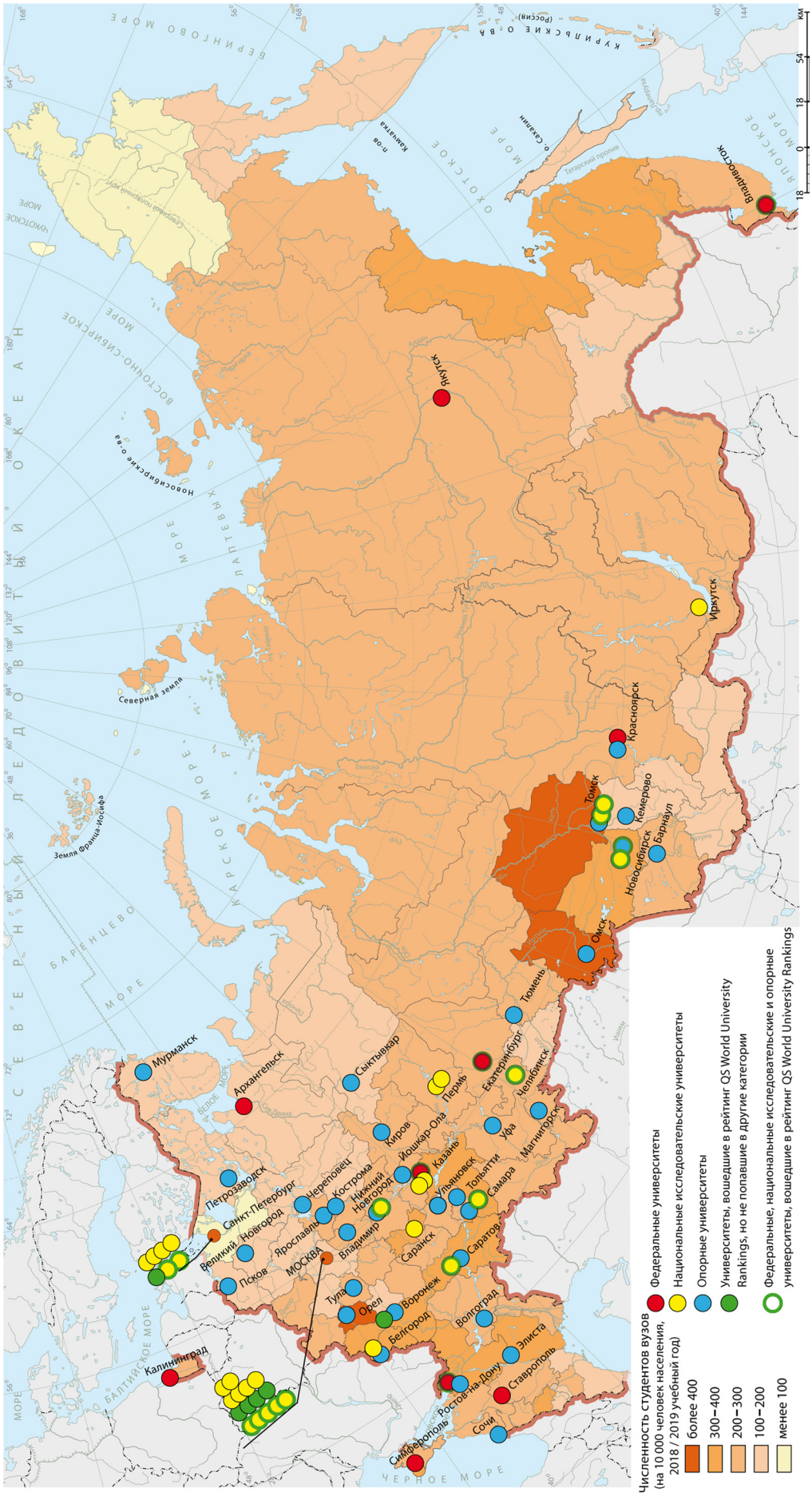


Рис. 1. Вовлеченность населения в сферу высшего образования и пространственная организация статусных университетов, 2020 г.

Fig. 1. Population involvement in higher education and the spatial organization of "high-status" universities in Russia, 2020

возможности столичных регионов в области инновационного развития.

Для России характерно неравенство не только в развитии сети исследовательских университетов, но и в пространственной организации вузов высокой репутации. В перечень ведущих вузов мира, известный как рейтинг QS, в 2020 г. входили МГУ имени М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский государственный университет Петра Великого, 15 НИУ, пять федеральных университетов из десяти, один опорный региональный (Алтайский госуниверситет) и пять вузов, не имеющих особого статуса (Воронежский и Новосибирский технический государственные университеты, РУДН, МГИМО и РЭУ имени Г.В. Плеханова). Из них девять имели столичную прописку, три представляли Санкт-Петербург, по два – Томск и Новосибирск, по одному – Воронеж, Нижний Новгород, Казань, Саратов, Ростов-на-Дону, Самару, Екатеринбург, Челябинск, Барнаул, Владивосток. На карте хорошо прослеживаются пространственные диспропорции размещения ведущих университетских центров России (рис. 2).

В этих условиях снижению неравенства могло бы способствовать развитие сети региональных исследовательских университетов, своеобразной четвертой «страты» образовательного пространства России.

В 2016 г. появились первые 11 региональных опорных университетов (РОУ), через год их число выросло до 33. Как и в случае с образованием национальных исследовательских университетов, в Министерстве образования и науки при решении о создании опорных университетов отсутствовал пространственный подход. Ни одного РОУ не было создано в Дальневосточном и Северо-Кавказском федеральных округах. В Северо-Западном федеральном округе во всех регионах (за исключением Ленинградской области) в 2017 г. имелись либо национальные, либо федеральные, либо опорные университеты. Однако процесс формирования региональных опорных университетов, судя по двум последним годам, был приостановлен. Более того, т. к. эти университеты не создавались как исследовательские, то многие из них не смогут стать «локомотивами» регионального инновационного развития. Создание части РОУ носило искусственный характер, поскольку происходило путем объединения далеко не самых ведущих вузов. Однако, объединив средние по качеству образования и научному потенциалу, преподавательским и научным кадрам вузы, трудно в качестве результата получить передовой университет. Поскольку большинство российских регионов носят индустриально-аграрно-сервисный характер, то в опорных региональных университетах должны присутствовать соответствующие сегменты высшего образования. Классические университеты с преимущественной подготовкой педагогических, экономических и юридических кадров миссию РОУ выполнить не смогут. Но они могут выступить в качестве ядер для создания на своей основе опорных региональных университетов при условии объединения с техническими вузами или их филиалами. Опорные региональные университеты должны обеспечивать современное и перспективное инновационное развитие экономики соответствующих регионов. Однако их создание должно происходить не путем механического объединения нескольких вузов, а в итоге тщательного подбора направлений (профилей) образовательной и научной деятельности.

В число двадцати ведущих университетов России, согласно рейтингу RAEX за 2019 г. [Рейтинг..., 2020], входят только два федеральных: Уральский и Казанский (Приволжский). Четыре федеральных университета не входят в число пятидесяти лучших вузов страны. В перечень 100 ведущих вузов России не входит Крымский федеральный университет и 23 из 33 региональных опорных университетов.

Новый формальный статус высших учебных заведений способствовал лишь некоторому повышению их репутации в глазах выпускников школ и их родителей. Однако, без значимых положительных изменений в образовательной, научной, культурной и ряде других видов деятельности, а также материальной базе со временем произойдет снижение их репутации. Увеличение масштабов не всегда сопровождается преодолением периферийности.

На снижение качественных аспектов неравенства в пространственной организации высшей школы, на сращивание высшего образования и науки направлен стартовавший в 2019 г. процесс создания Научно-образовательных центров (НОЦ) мирового уровня. К декабрю 2020 г. в соответствии с национальным проектом «Наука» образовано десять таких НОЦ, все они находятся в регионах. Всего к 2024 г. предполагается создать не менее пятнадцати подобных НОЦ. Их ядрами стали Архангельск, Белгород, Екатеринбург, Кемерово, Нижний Новгород, Пермь, Самара, Тула, Тюмень, Уфа. Однако среди регионов создания НОЦ пока нет Северо-Кавказского, Дальневосточного и Южного федеральных округов. Всего один центр образован в Сибирском округе.

ВЫВОДЫ

В географических исследованиях проблем пространственной организации высшей школы необходимо шире использовать рейтинговый анализ, который позволяет выявить качественные аспекты региональных неравенств. Благода-

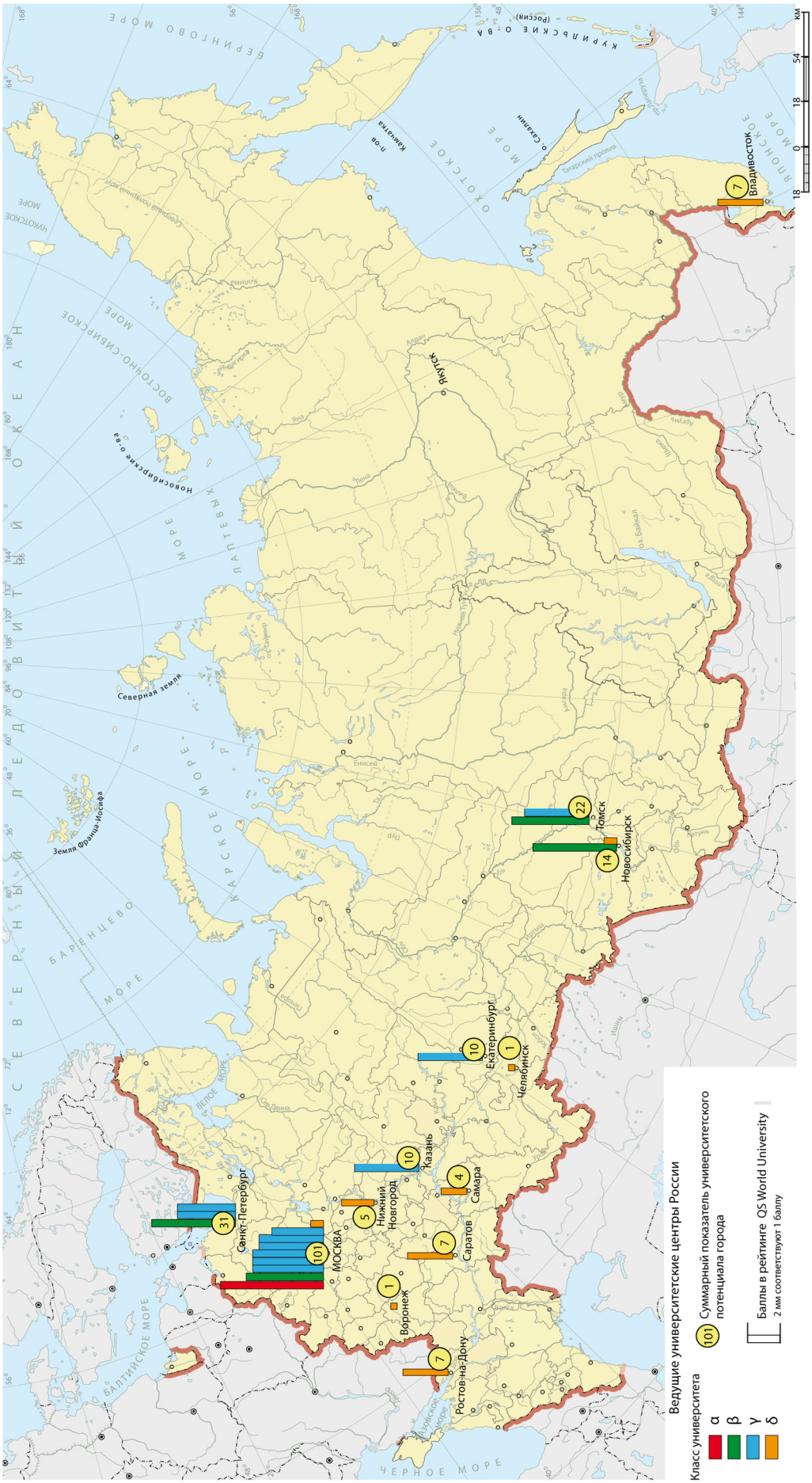


Рис. 2. Ведущие университетские центры России, 2020 г.

Fig. 2. Leading university centers in Russia, 2020

ря картографической визуализации открываются возможности для их более глубокого пространственного анализа.

По масштабам развития высшей школы столичные регионы, а Москву с областью, Санкт-Петербург и Ленинградскую область методологически правильно рассматривать как единые региональные системы высшего образования, не являются гипертрофированными. По показателям вовлеченности населения в сферу образования (соответственно 383 и 425 студентов на 10 тыс. человек населения) они уступают не только Томской (533), но и Омской (390) и даже Орловской (389) областям [Регионы России…, 2020]. Столичные регионы отличаются высокой концентрацией университетов мирового класса. На Московский регион приходится 45,9% потенциала университетов мирового класса России, на северный столичный регион – 15,4% (см. рис. 2). Именно университеты мирового класса способствовали более высоким показателям инновационного развития столичных регионов, Татарстана, Томской и Новосибирской областей.

Для России с ее высокой пространственной природной и социально-экономической дифференциацией политика поддержки «избранных» и расположенных преимущественно в столичных городах (регионах) университетов косвенно способствует усилению регионального неравенства.

Современная территориальная организация высшей школы объективно усиливает неравенство в возможности дальнейшего развития центра и периферии. Модернизация и развитие конкурентоспособной экономики в регионах России предполагают внесение изменений не только в содержание обучения, но и в региональную политику в сфере высшего образования, которая не в полной мере отвечает национальным и региональным интересам.

Для пространственной организации университетов мирового класса характерна ярко выраженная асимметрия. Высокая концентрация образовательного и научного потенциала в немногих вузовских центрах приводит к усилению неравенства в развитии отдельных регионов страны и в конечном итоге отражается на экономическом росте всей страны. Конкурсный подход при создании статусных вузов, НОЦ мирового уровня не снимает ответственности с государства как основного регулятора за инновационное региональное развитие. В условиях региональных диспропорций в развитии статусных вузов и университетов мирового класса, значимого влияния региональной организации высшей школы на социальное развитие и экономический рост государство должно поддерживать создание подобных вузов в Дальневосточном и Северо-Кавказском федеральных округах.

До настоящего времени пространственные организации подготовки кадров в современной России и их потребления не соответствуют друг другу, не учитываются глубокие изменения, произошедшие в экономике регионов. Пространственная организация высшей школы отличается большей инертностью по сравнению с пространственной организацией хозяйства.

Создание федеральных, национальных исследовательских и опорных университетов способствовало упорядочению опорного каркаса образовательного пространства страны. Однако данный процесс остался незавершенным и с точки зрения пространственного анализа нуждается в корректировке.

Благодарности. Исследование проведено при поддержке РФФИ, проект № 19-05-00231 «Пространственная организация высшей школы и региональное развитие: из прошлого в будущее».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аткинсон Э. Неравенство: как с ним быть? М.: Дело, 2018. 536 с.

Бабурин В.Л., Земцов С.П. Инновационный потенциал регионов России. М.: Университетская книга, 2017. 358 с.

Карпов А.О. Современный университет как драйвер экономического роста: модели и миссии // Вопросы экономики. 2017. № 3. С. 58–76.

Катровский А.П. Территориальная организация высшей школы России. Смоленск: Ойкумена, 2003. 200 с.

Клячко Т.А., Семионова Е.А. Вклад образования в социально-экономическое развитие регионов России // Экономика региона. 2018. Т. 14. Вып. 3. С. 791–805.

Мейзон М. Сравнение территориальных объектов // Исследование по сравнительному образованию: Подходы и методы. М.: Издательский дом ВШЭ, 2019. С. 109–152.

Тикунов В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). М.; Смоленск: СГУ, 1997. 367 с.

Bray M., Thomas R.M. Levels of Comparison in Educational Studies: Different Insights from Different Literatures and the Value of Multilevel Analyses, *Harvard Educational Review*, 1995, vol. 65, no. 3, p. 472–490.

Comparative Education Research: Approaches and Methods, Hong Kong, Springer, 2014, 453 p.

Etzkowitz H., Leydesdorff L. The dynamics of innovation: From national systems and mode 2 to a triple helix of university-industry-government relations, *Research Policy*, 2000, no. 29, p. 421–443, DOI: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4.

Geographies of Knowledge and Power, P. Meusburger, G. Derek, L. Suarsana (eds.), Knowledge and Space, vol. 7, Springer, Netherland, 2015, 347 p., DOI: 10.1007/978-94-017-9960-7.

Geographies of the University, P. Meusburger, M. Heffernan, L. Suarsana (eds.), Knowledge and Space, vol. 12, Springer, Cham, 2018, 676 p., DOI: 10.1007/978-3-319-75593-9.

Goddard J. The Civic University and the City, *Geographies of the University*, P. Meusburger, M. Heffernan, L. Suarsana (eds.), Knowledge and Space, vol. 12, Springer, Cham, 2018, p. 355–373, DOI: 10.1007/978-3-319-75593-9_11.

Meusburger P. Bildungsgeographie: Wissen und Ausbildung in der räumlichen Dimension, Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag, 1998, p. 569.

Millot B. International rankings: Universities vs. higher education systems, *International Journal of Educational Development*, 2015, no. 40, p. 156–165.

Электронные ресурсы

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: стат. сб. М.: Росстат, 2020. С. 379–381, 1056–1057. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения 11.12.2020).

Рейтинг инвестиционной привлекательности регионов России: результаты и основные выводы. URL: https://raex-a.ru/files/REG_2019_Analytica_Block_Web.pdf (дата обращения 10.12.2020).

Рейтинг лучших вузов России. RAEX-100. URL: https://raex-rr.com/education/universities/rating_of_universities_of_russia (дата обращения 25.10.2020).

QS World University Rankings, URL: https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2020 (access date 15.11.2020).

Поступила в редакцию 07.10.2020
После доработки 15.12.2020
Принята к публикации 18.03.2021

SPATIAL ORGANIZATION OF THE HIGHER EDUCATION OF RUSSIA

A.P. Katrovskiy[1], T.V. Vatlina[2]

[1, 2] *Smolensk State University, Natural-Geographical Faculty, Department of Geography*

[1] *Professor, Sc.D. in Geography; e-mail: alexkatrovsky@mail.ru*
[2] *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: vatlina_geo@mail.ru*

The traditional and new approaches to the geographical study of higher education are discussed. Along with quantitative indicators, it is proposed to use qualitative indicators more widely in assessing the spatial differentiation of higher education, and the impact of the territorial organization of the higher education system on regional development,.

It is indicated that the educational space of a country or a region could be considered both a static and a dynamic system. In the first case, inequality reflects the situation at a specific time. The dynamic approach is aimed not so much at identifying the supporting frame of the educational space and the role of individual centers, but at the processes taking place there. To, it is however necessary to combine both approaches to analyze a regional situation and identify the trends of changes.

The authors consider it both possible and necessary to use ratings and rankings to identify spatial differences, whereas the quantitative indicators do not allow for adequate assessment of the role of a university in regional development.

Spatial disproportions in the distribution of "high-status" universities and world-class universities were revealed, as well as the differences of university potential in the cities of Russia. It is noted that the actual spatial organization of high schools supports the growing polarization of the innovation space in Russia. Russia is characterized by inequality in both the development of the network of research universities, and the spatial organization of universities of high reputation. The need to form a supporting framework for the country's educational space is indicated. It is noted that the cartographic method could become an effective tool for understanding spatial differentiation and spatial imbalances.

The conclusion is that the spatial organization of personnel training in modern Russia does not fully correspond to the spatial organization of their consumption, and does not take into account the profound structural changes that have occurred in the regional economy. The modern territorial organization of higher education objectively increases inequality in the possibility of further development of the center and the periphery. Modernization and development of a competitive economy in the regions of Russia imply changes in both the content of education, and the regional policy in the field of higher education.

Keywords: spatial organization, university rankings, qualitative inequalities, world-class universities

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 19-05-00231).

REFERENCES

Atkinson E. *Neravenstvo: kak s nim byt'?* [Inequality: How to Deal With It?], Moscow, Delo Publ., 2018. 536 p. (In Russian)

Baburin V.L., Zemtsov S.P. *Innovatsionnyi potentsial regionov Rossii* [Innovative potential of Russian regions], Moscow, University book, 2017, 358 p. (In Russian)

Bray M., Thomas R.M. Levels of Comparison in Educational Studies: Different Insights from Different Literatures and the Value of Multilevel Analyses, *Harvard Educational Review*, 1995, vol. 65, no. 3, p. 472–490.

Comparative Education Research: Approaches and Methods, Hong Kong, Springer, 2014, 453 p.

Etzkowitz H., Leydesdorff L. The dynamics of innovation: From national systems and mode 2 to a triple helix of university-industry-government relations, *Research Policy*, 2000, no. 29, p. 421–443, DOI: 10.1016/S0048-7333(99)00055-4.

Geographies of Knowledge and Power, P. Meusburger, G. Derek, L. Suarsana (eds.), Knowledge and Space, vol. 7, Springer, Netherland, 2015, 347 p., DOI: 10.1007/978-94-017-9960-7.

Geographies of the University, P. Meusburger, M. Heffernan, L. Suarsana (eds.), Knowledge and Space, vol. 12, Springer, Cham, 2018, 676 p., DOI: 10.1007/978-3-319-75593-9.

Goddard J. The Civic University and the City, *Geographies of the University*, P. Meusburger, M. Heffernan, L. Suarsana (eds.), Knowledge and Space, vol. 12, Springer, Cham, 2018, p. 355–373, DOI: 10.1007/978-3-319-75593-9_11.

Karpov A.O. Sovremennyi universitet kak draiver ekonomicheskogo rosta: modeli i missii [Modern University as a Driver of Economic Growth: Models and Missions], *Problems of Economics*, 2017, no. 3, p. 58–76. (In Russian)

Katrovskii A.P. *Territorial'naya organizatsiya vysshei shkoly Rossii* [Territorial organization of higher education in Russia], Smolensk, Oikumena Publ., 2003, 200 p. (In Russian)

Klyachko T.A., Semionova E.A. Vklad obrazovaniya v sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie regionov Rossii [The contribution of education to the socio-economic development of Russian regions], *Economy of the region*, 2018, vol. 14, no. 3, p. 791–805. (In Russian)

Meizon M. *Sravnenie territorial'nykh ob''ektov. Issledovanie po sravnitel'nomu obrazovaniyu: Podkhody i metody* [Comparison of Territorial Objects. Research on Comparative Education: Approaches and Methods], Moscow, Higher School of Economics Publ., 2019, p. 109–152. (In Russian)

Meusburger P. Bildungsgeographie: Wissen und Ausbildung in der räumlichen Dimension, Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag, 1998, p. 569.

Millot B. International rankings: Universities vs. higher education systems, *International Journal of Educational Development*, 2015, no. 40, p. 156–165.

Tikunov V.S. *Klassifikatsii v geografii: renessans ili uvyadanie? (Opyt formalnyh klassifikatsij)* [Classifications in geography: Renaissance or decay? (Attempt of formal classifications)], Moscow, Smolensk, SGU Publ., 1997, 367 p. (In Russian)

Web sources

QS World University Rankings, URL: https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2020 (access date 15.11.2020).

Regiony Rossii. Social'no-ekonomicheskie pokazateli [Regions of Russia. Socio-economic indicators], 2020, stat. sb., Moscow, Rosstat Publ., 2020, p. 379–381, 1056–1057, URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (access date 11.12.2020). (In Russian)

Rejting investicionnoj privlekatel'nosti regionov Rossii: rezul'taty i osnovnye vyvody [Rating of investment attractiveness of Russian regions: results and main conclusions], URL: https://raex-a.ru/files/REG_2019_Analytica_Block_Web.pdf (access date 10.12.2020). (In Russian)

Reyting luchshikh vuzov Rossii. RAEX-100 [Rating of the best universities in Russia. RAEX-100], URL: https://raex-rr.com/education/universities/rating_of_universities_of_russia (access date 25.11.2020). (In Russian)

Received 07.10.2020
Revised 15.12.2020
Accepted 18.03.2021

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 14–23

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК: 504.454

РЕЧНЫЕ ПОТОКИ ПОЛИАРЕНОВ В ДЕЛЬТАХ ДОНА, КУБАНИ И ВОЛГИ

В.М. Пискарева[1], А.Н. Геннадиев[2], М.Ю. Лычагин[3]

[1–3] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв*

[1] *Инженер; e-mail: v.m.piskareva@yandex.ru*
[2] *Профессор, д-р геогр. н.; e-mail: alexagenna@mail.ru*
[3] *Доцент, канд. геогр. н.; e-mail: lychagin@geogr.msu.ru*

Проведены расчеты величин потоков полиаренов со взвесью в водотоках дельт Дона, Кубани и Волги. Расходы воды и объемы взвешенного вещества в изученных дельтах различаются многократно, однако потоки ПАУ соизмеримы: они изменяются от единиц г/сут. до первых тысяч г/сут. Линейные структуры дельтовых потоков различаются: равномерное распределение потоков в дельте Дона; их ярковыраженный максимум на входе в дельту и минимум в нижней части дельты Кубани; с двумя контрастными максимумами в верховье и на выходе из дельты Волги. Дельты, кроме того, различаются по входной и выходной емкости потоков полиаренов, градиентам снижения интенсивности потоков и средним значениям потоков ПАУ.

На формирование речных потоков полиаренов в большой степени влияют объекты, расположенные в пределах самой дельты или на небольшом расстоянии выше по течению. Входные емкости потоков в дельтах Кубани и Волги составляют 2165 и 1128 г/сут. соответственно. В дельту Дона входит наименьший поток полиаренов (239 г/сут.), благодаря отсутствию крупных промышленных источников выше по течению. Было выявлено снижение интенсивности потоков полиаренов в пределах дельт на участках, где отсутствовали источники поллютантов. Наибольшие значения градиентов снижения интенсивности потоков свойственны полноводным участкам проток в верховьях дельты Дона (28,5 г/(сут.· км)), а также на входе в дельту Кубани (60 г/(сут.· км)).

В дельтах Дона, Кубани и Волги в составе полиаренов преобладают низкомолекулярные соединения. Доля двух- и трехкольчатых полиаренов во взвеси в среднем составляет 98% преимущественно за счет гомологов нафталина, фенантрена и дифенила; доля легких полиаренов в донных отложениях – 72–98%, в состав добавляются четырехкольчатые хризен и пирен.

Для определения генезиса полиаренов были рассчитаны диагностические отношения ПАУ. В условиях изученных дельт эффективным было использование отношений BaP/(BaP + Cry), Ant/(Ant + Phe) и Tetr/(Tetr + Cry), а отношение низкомолекулярных полиаренов к высокомолекулярным оказалось неинформативным. Согласно полученным величинам отношений ПАУ области с преобладанием пирогенных полиаренов совпадают с районами расположения наиболее крупных промышленных объектов.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, потоки веществ, взвесь, донные осадки, индикаторные отношения

ВВЕДЕНИЕ

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ, полиарены) являются стойкими органическими загрязнителями, часть из них обладает канцерогенными и мутагенными свойствами. ПАУ представляют собой твердые гидрофобные вещества, они легко сорбируются органическими и минеральными частицами. В аквальные ландшафты полиарены попадают при атмосферном переносе техногенных выбросов и продуктов горения от пожаров, с ливневым стоком с суши, с бытовыми и промышленными сбросами, при разливах нефти и нефтепродуктов.

В пределах речных систем дельты в наибольшей степени подвержены антропогенному влиянию. Поллютанты, в том числе ПАУ, поступают в дельты с речным стоком со всего водосборного бассейна, накапливаясь в донных отложениях, почвах пойм и водных растениях. В низовьях дельт рек сила потока, транспортирующего взвесь, значительно снижается, что препятствует активному выносу поллютантов с твердым стоком. Особенно интенсивно полиарены аккумулируются в донных осадках на геохимическом барьере «дельта реки – устьевое взморье».

Дельты Дона, Кубани и Волги испытывают значительную антропогенную нагрузку в связи с большой концентрацией промышленных объектов

и высокой степенью хозяйственной освоенности дельтовых областей и вышележащих территорий.

В российской и зарубежной литературе накоплен определенный объем данных по концентрациям ПАУ во взвеси и донных отложениях водотоков дельтовых областей, в том числе Дона и Волги [Кошовский и др., 2017; Yunker et al., 2002; Soclo et al., 2000; Budzinski et al., 1997]. Существуют также публикации [Ткаченко и др., 2017; Lychagin et al., 2017], анализирующие потоки тяжелых металлов в реках и их устьевых частях. Однако исследований речных потоков полиаренов до сих пор не проводилось.

Цель проведенного исследования заключалась в выявлении особенностей распределения речных потоков и состава полиаренов в компонентах аквальных систем дельтовых областей Дона, Кубани и Волги.

Решались следующие задачи: охарактеризовать и сравнить дельты Дона, Кубани и Волги по особенностям потоков полиаренов, сорбированных взвесью; оценить источники ПАУ на прилегающих территориях с помощью индикаторных отношений полиаренов; установить различия в составе полиаренов во взвеси и донных отложениях водотоков дельт.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования были выбраны водотоки дельт Дона, Кубани и Волги. Дельты этих крупных рек расположены в районах с разными типами антропогенной нагрузки.

В дельте Дона хорошо развита промышленность, высокая плотность транспортной сети и населенных пунктов. Дельта Кубани отличается от остальных слабой развитостью промышленности, преобладанием сельских населенных пунктов и активным развитием объектов сельского хозяйства. Волжская дельта слабо преобразована, сельское хозяйство мало распространено, на территории присутствует несколько крупных промышленных объектов (в том числе в г. Астрахани), но главной особенностью дельты Волги является активное грузовое и промышленное судоходство.

Дельта Дона находится в зоне умеренно континентального климата и характеризуется относительно теплой зимой с неустойчивым снежным покровом и жарким летом. Территория относится к засушливой зоне, гидротермический коэффициент увлажнения равен всего 0,5–0,6 [Экологический атлас…, 2000]. Река Дон – водоток с преобладающим снеговым типом питания и половодьем в весенний период. В год из дельты Дона в Азовское море выносится около 22 км^3 воды [Джамалов и др., 2013] и 1,01 млн т взвешенных веществ [Сорокина и др., 2006]. Отличительной особенностью дельты Дона является распространение сгонно-нагонных явлений, вызванных сменой направления ветра.

Дельте Кубани свойствен умеренно континентальный климат с мягкой зимой и продолжительным теплым сезоном. Климат засушливый, коэффициент увлажнения составляет 0,30–0,40. Водный баланс р. Кубани складывается из дождевых (30–54%), талых ледниковых (10–15%) и подземных вод. Река Кубань относится к восточноевропейскому типу, для которого характерно высокое весеннее половодье и межень в летний и зимний периоды. Осенью возможны паводки. В год из дельты Кубани выносится около 14,3 км^3 вод [Магрицкий, Иванов, 2008] и 0,88 млн т взвешенного вещества [Магрицкий, 2011].

Дельта Волги находится в зоне резко континентального засушливого климата. Коэффициент увлажнения составляет всего 0,18–0,3. Волга является рекой равнинного типа с преобладающим снеговым типом питания (60%) в сочетании с подземным (30%). Это обусловливает весенне-летнее половодье и межень в летне-осенний период. Нагонные явления, вызванные южными ветрами, имеют непериодический характер. Ежегодно в Каспийское море из дельты Волги выносится 253 км^3 воды и примерно 6,5 млн т взвешенного вещества [Атлас…, 2015].

Отбор проб на изучаемых водотоках проводился в период межени с августа по сентябрь 2018 г. сотрудниками кафедр геохимии ландшафтов и географии почв и гидрологии суши географического факультета МГУ. Все полевые и лабораторные работы осуществлялись по единой методике [Шинкарева, 2018]. Такая унификация позволила в дальнейшем сравнивать полученные по разным дельтам результаты с минимальным количеством допущений.

Графическая форма отображения потоков поллютантов была заимствована из работы [Касимов и др., 2016].

Для изучения выбирались дельтовые водотоки с различной полноводностью и скоростью течения, исключая участки слабого водообмена (застойные участки мелководий и притоков). Пробы воды в большинстве случаев отбирались с поверхности (глубина 10 см) стрежневого потока. Отбор проб воды проводился в химически инертные полиэтиленовые бутылки объемом 1,5 л с завинчивающейся крышкой, обеспечивающей герметичность. Для исключения элементов случайности, таких как забор загрязненной углеводородной пленки с поверхности вод и улавливание свежеосажденных ПАУ от работающего двигателя моторной лодки, водные образцы отбирались с носа или с борта моторной лодки, с учетом преобладающего в данный момент направления ветра. Всего было отобрано 107 проб взвешенного вещества (51 проба – на Волжском участке, 36 – на Донском и 20 – на Кубанском) и 145

проб донных отложений (93 – на Волжском участке, 31 – на Донском и 21 – на Кубанском).

Для расчета величин потоков ПАУ со взвешенными частицами в водотоках были учтены данные о мутности и расходах воды на определенном отрезке водотока. Расходы измерялись с помощью акустического доплеровского профилографа течений Rio Grande. Потоки ПАУ со взвешенным веществом рассчитывались по формуле:

$$W_i = QMC_i \cdot 86\,400/10^6, \quad (1)$$

где W_i – поток i-го элемента во взвешенной форме, г/сут.; Q – расход воды, м^3/с; M – мутность, г/л; C_i – концентрация i-го элемента во взвеси, нг/г; 86 400 – коэффициент перевода секунд в сутки; 10^6 – коэффициент перевода нг в г [Шинкарева, 2018].

В лабораторных условиях пробы природных вод были профильтрованы на фильтровальных установках Millipore с вакуумным насосом. Использовались мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм.

Анализ содержания ПАУ во взвеси и донных осадках проводился в лаборатории углеродистых веществ биосферы кафедры геохимии ландшафтов и географии почв МГУ методом спектроскопии Шпольского (прибор «Флюорат-Панорама») в гексановом экстракте с использованием заморозки при температуре жидкого азота.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для сопоставления особенностей потоков полиаренов в изученных дельтах были предложены четыре характеристики: входная емкость, градиент снижения интенсивности потока, линейная структура и выходная емкость потока.

Линейная структура потоков полиаренов характеризуется расположением их экстремумов и контрастностью величин.

Входная емкость потока. Среди изученных дельт наибольший поток ПАУ на входе в дельту характерен для р. Кубани (рис. 1). Он составляет 2165 г/сут. и отмечается в зоне гидродинамического влияния Федоровского гидроузла. Вероятнее всего, относительно большое количество полиаренов обусловлено наличием источников загрязнения выше по течению, в частности, близко расположенным крупным промышленным центром – Краснодаром.

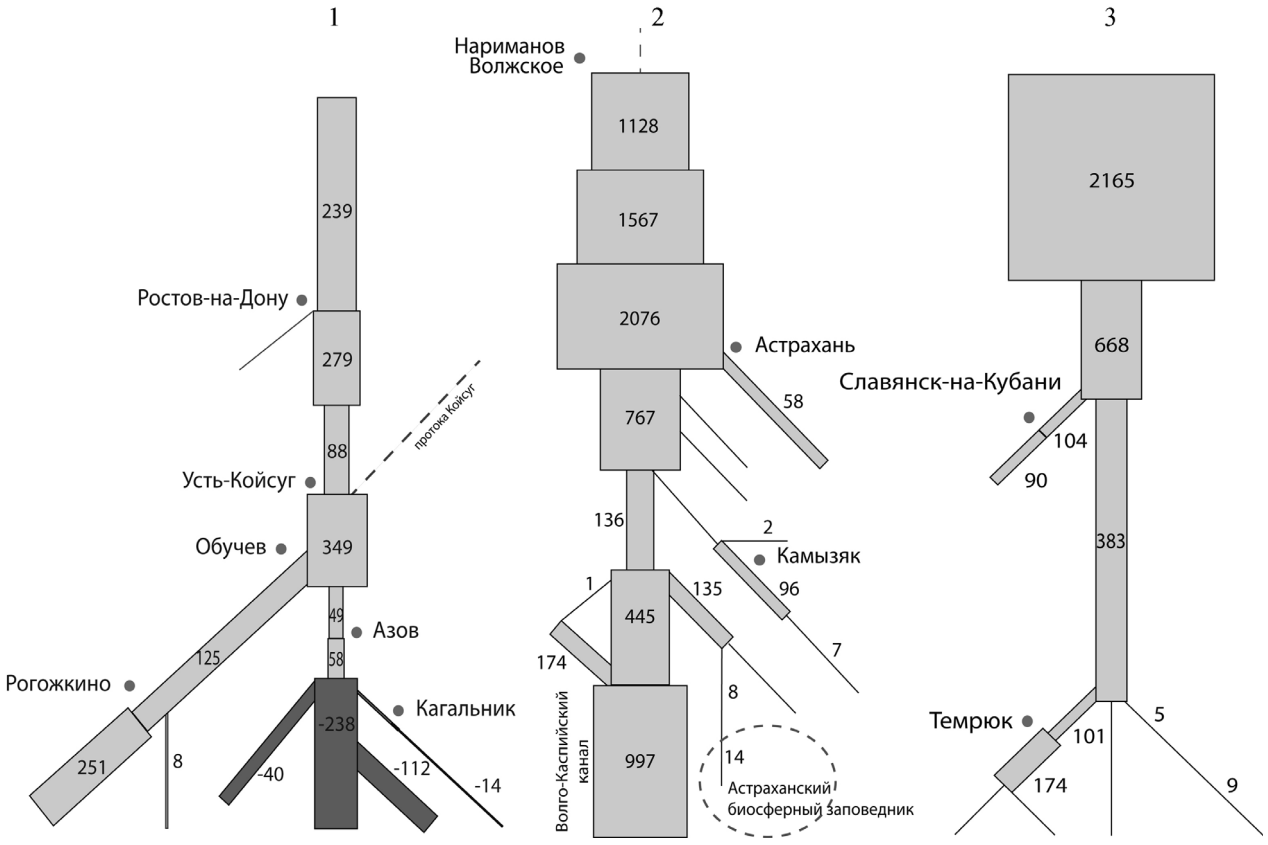


Рис. 1. Линейные структуры потоков ПАУ (г/сут.) в дельтах Дона (1), Волги (2) и Кубани (3).
Темно-серым цветом отмечены потоки ПАУ с отрицательными величинами

Fig. 1. Linear structures of PAH fluxes (g/day) in the Don (1), Volga (2) and Kuban (3) river deltas.
Dark gray shows PAH fluxes with negative values

Также это может быть связано с вторичным загрязнением речных вод за счет взмучивания тонких фракций донных отложений, накапливающихся в динамической тени Федоровского гидроузла.

Самой низкой входной емкостью потока полиаренов характеризуется дельта Дона (239 г/сут.), благодаря отсутствию на значительном расстоянии выше по течению крупных источников полиаренов.

В дельту Волги входит средний по интенсивности поток полиаренов (1128 г/сут.), вероятнее всего обусловленный влиянием населенных пунктов Нариманов и Волжский.

Градиент снижения интенсивности потока. Градиент снижения интенсивности потока ПАУ характеризует скорость очищения приповерхностного слоя водотоков от полициклических ароматических углеводородов, с его помощью можно проводить сравнение отрезков водотоков с различной протяженностью по суммарному воздействию факторов, снижающих и увеличивающих концентрации ПАУ. Градиент снижения интенсивности потоков ПАУ может быть отрицательным в случае преобладания поступления ПАУ в водоток над удалением поллютантов в рассматриваемом месте. Описанный градиент представляет собой массу ПАУ, тем или иным путем удаленных из взвеси за сутки с приповерхностного слоя водной толщи. Вероятными причинами снижения концентраций полициклических ароматических углеводородов может быть фотодеструкция полиаренов в приповерхностной водной толще, микробная деградация, а также частичное осаждение взвеси, сорбировавшей ПАУ.

Для удобства сравнения различных по протяженности участков водотоков градиент выражается на один километр водотока

$$I_i = (W_{i1} - W_{i2}) / L, \qquad (2)$$

где I_i – градиент снижения интенсивности потока i-го вещества; W_{i1} – поток i-го вещества в створе выше по течению, г/сут.; W_{i2} – поток i-го вещества в створе ниже по течению, г/сут.; L – протяженность водотока между створами, км.

В дельте Дона были выделены два участка с выраженным снижением интенсивности потоков ПАУ: от Ростова-на-Дону до впадения протоки Койсуг и между хуторами Обуховка и Рогожкино. Градиенты снижения потоков ПАУ составляют здесь 28,5 и 16,1 г/(сут.·км) соответственно. Снижение поставки полиаренов в зоне прохождения водотоков дельты Дона через населенные пункты сельского типа может свидетельствовать о малом влиянии зон частной застройки и сельского хозяйства в дельте Дона на величину потоков ПАУ.

В дельте Волги градиент снижения потоков оценить сложно из-за открытости системы: была изучена только западная часть дельты. На участке водотока ниже по течению от г. Камызяк градиент составлял всего 4,2 г/(сут.· км), однако эта величина не может характеризовать всю дельту.

На входе в дельту Кубани между Федоровским и Тиховским гидроузлами отмечен наибольший градиент снижения интенсивности потоков (60 г/(сут.·км)). В средней части дельты Кубани градиент составил всего 3,1 г/(сут.·км), т. е. удаления ПАУ из водотока практически не происходило. Такой порядок величины градиента в условиях неизбежной потери полиаренов при их разложении и осаждении не может иметь место без компенсации этих потерь за счет дополнительного поступления ПАУ. На основании этого утверждения можно предположить, что сельское хозяйство, которое интенсивно развито в центральной части дельты Кубани, обеспечивает поступление ПАУ примерно с той же или несколько меньшей интенсивностью, с какой полиарены удаляются из потока.

Линейная структура потоков. Дельта Дона отличается однородной линейной структурой с малоконтрастными колебаниями величин потоков полиаренов (см. рис. 1). На участке реки ниже по течению от Ростова-на-Дону значительную роль в формировании потока полиаренов играют повышенная мутность и высокая для дельты Дона концентрация ПАУ во взвеси (более 450 нг/г). Увеличение речного потока полиаренов отмечается вблизи промышленного города Ростова-на-Дону и хутора Рогожкино. Кроме того, по протоке Койсуг в Дон поступает значительное количество ПАУ, в результате чего поток полиаренов возрастает почти в четыре раза (с 88 до 349 г/сут.). Ниже разветвления основного русла Дона, где поставщиками ПАУ являются населенные пункты сельского типа, отмечается его существенное снижение. Это может свидетельствовать о низкой степени влияния зон частной застройки и сельского хозяйства на величину потоков ПАУ в дельте Дона.

В дельте Кубани линейная структура потоков сужающаяся разновеликая. Ярко выраженный максимум наблюдается на входе в дельту, а ниже по течению потоки ПАУ уменьшаются. Вероятнее всего, это связано с отсутствием крупных промышленных источников в средней и нижней части дельты.

На основе анализа линейной структуры потоков в дельте Кубани было установлено, что, несмотря на высокую степень влияния гидроузлов на гидрофизические характеристики реки, дополнительного поступления полиаренов во взвесь не происходит. Так, суммарный поток полиаренов в двух рукавах после прохождения Тиховского гидроузла имеет

более низкую интенсивность и составляет всего 487 г/сут. Вероятно, значительный поток полиаренов (2165 г/сут.) вблизи Федоровского гидроузла в большей степени обусловлен влиянием Краснодара как крупного промышленного и курортного города.

В дельте Волги структура потоков разновеликая с двумя контрастными максимумами: выше по течению от Астрахани (2076 г/сут.) и на выходе во взморье из дельты Волги (997 г/сут.). Вероятно, последнее связано с активным грузовым судоходством.

Выходная емкость потоков. Выходные емкости потоков в дельтах Дона и Кубани сопоставимы. В дельте Дона у рукава Каланча она составила 251 г/сут., а в дельте Кубани суммарно по всем протокам менее 183 г/сут. В дельте Волги на выходе из Волго-Каспийского канала поток значительно выше – 997 г/сут.

Рассчитать точную величину выноса ПАУ из дельты Кубани не представляется возможным, поскольку мелкие протоки нижней части дельты не были обследованы. Однако отсутствие каких-либо источников полиаренов за исключением малоразмерного водного транспорта и преобладание природных ландшафтов в низовьях дельты дают возможность сделать предположение, что поток ПАУ в нижней части дельты Кубани не может увеличиваться. Соответственно, вынос ПАУ в залив составил не более 183 г/сут., что по сравнению с другими дельтами является наименьшим значением.

В низовьях реки Дон потоки полиаренов имели отрицательные значения (см. рис. 1) из-за нагонных явлений, отмечавшихся в период исследований. Нагонные явления оказывали значительное влияние на содержание, состав и потоки полиаренов в аквальных ландшафтах дельт, поскольку приводили к дополнительному взмучиванию донных отложений и перераспределению полиаренов. Поэтому оценить выходную емкость рукава Дон не представляется возможным.

В дельте Волги основной поток полиаренов уходил в рукав Бахтемир и затем в Волго-Каспийский канал, где из-за высокой интенсивности судоходства он постепенно увеличивался до 997 г/сут. у выхода на взморье. Благодаря природоохранной деятельности Астраханского заповедника и из-за большей разветвленности речной сети на Дамчикском участке, поток ПАУ на выходе в култучную зону составил всего 14 г/сут.

Индикаторные отношения ПАУ. Помимо экспертной оценки причин колебаний потоков полициклических ароматических углеводородов были рассчитаны индикаторные отношения, позволяющие определить тип генезиса полиаренов (табл.). Генетически полиарены подразделяются на пирогенные, петрогенные и биогенные.

Пирогенный генезис ПАУ включает в себя все природные и антропогенные источники, связанные с горением того или иного материала. В большинстве случаев ПАУ рассматриваются как продукты неполного сгорания [Цибарт, Геннадиев, 2013], поскольку наиболее благоприятные условия для формирования ПАУ – это относительно невысокие температуры при недостатке кислорода. Согласно [Certini, 2005] для продуцирования ПАУ необходимы температуры при горении углей 700–800°C, а при горении растительности – 500–1000°C.

Помимо природных пожаров к пирогенным источникам ПАУ относятся промышленные предприятия: ТЭС, производства черной и цветной металлургии, целлюлозная промышленность, установки сжигания мусора, производство асфальта и крекинг нефти. Кроме того, значительным пирогенным поставщиком полиаренов в атмосферу является автотранспорт.

Приоритетными петрогенными источниками ПАУ признаны сырая нефть и нефтепродукты. Петрогенные источники могут быть связаны как с природными месторождениями, так и с техногенными разливами. Также ПАУ могут поступать из горных пород и отдельных минералов, из космических тел, в результате термического воздействия магматических интрузий на горные породы [Геннадиев и др., 2015].

Были использованы следующие сокращения:
Naft – гомологи нафталина;
Fl – флуорен;
Phe – фенантрен;
Dyph – дифенил;
Tetr – тетрафен;
Ant – антрацен;
Cry – хризен;
Pir – пирен;
BaP – бенз(a)пирен;
BghiP – бенз(ghi)перилен;
Prl – перилен.

Для дельт Дона, Кубани и Волги были рассчитаны следующие коэффициенты: отношение суммы низкомолекулярных полиаренов к сумме высокомолекулярных; BaP / (BaP + Cry); Phe / Ant; Ant / (Ant + Phe); Tetr / (Tetr + Cry). На рисунках 2–4 выделены районы с преобладанием полиаренов пирогенного генезиса.

Отношение низкомолекулярных полиаренов к высокомолекулярным оказалось малоинформативным для нашего исследования: все образцы характеризовались значениями выше единицы (см. табл.).

Изученные дельты различаются по набору факторов, влияющих на речные потоки ПАУ. Вероятно, по этой причине для каждой из трех дельт

Таблица

Диапазоны значений диагностических отношений полиаренов

Показатель	Источник	Генезис ПАУ		
		Пирогенный	Смешанный	Петрогенный
Низкомолекулярные/ высокомолекулярные	[Yunker et al., 2002]	<1	–	>1
Tetr/(Tetr + Cry)	[Wang et al., 2009]	0,36–0,46	–	0,12–0,35
Ant/(Ant + Phe)	[Yunker et al., 2002]	>0,1	–	<0,1
BaP/(BaP + Cry)	[El Nemr et al., 2006]	<0,2	0,3–0,6	0,6–0,9
Phe/Ant		<10	–	>10

информативными оказались разные индикаторные отношения: BaP / (BaP + Cry) – для дельты Дона; Ant / (Ant + Phe) – для дельты Кубани; Tetr / (Tetr + Cry) – для дельты Волги.

Во всех изученных дельтах участки с пирогенным генезисом были приурочены к крупным населенным пунктам с развитой промышленностью или их окраинам ниже по течению. Наиболее ярко эта особенность заметна в дельте Дона (рис. 2). В дельте Кубани больше всего точек, в которых был зафиксирован свойственный пирогенным источникам состав ПАУ, располагалось на входе в дельту или в верхнем течении основной протоки (рис. 3). Вероятнее всего, в эту часть дельты поступают полиарены из Краснодара, где сконцентрировано большое количество промышленных пирогенных источников ПАУ. В дельте Волги важным пирогенным источником полиаренов служили не только населенные пункты, но и водный транспорт. Это ясно видно по локализации участков с пирогенным генезисом, которые приурочены к судоходной части водотоков дельты Волги, в частности к Волго-Каспийскому каналу (рис. 4).

В большинстве случаев для донных отложений индикаторные отношения были малоинформативны. Вероятнее всего, это обусловлено тем, что состав полиаренов претерпевает значительные изменения от источника до момента осаждения.

Состав индивидуальных ПАУ в донных осадках и взвесях. Состав индивидуальных полициклических ароматических углеводородов на всех участках исследования во взвеси и донных отложениях характеризовался преобладанием двух- и трехкольчатых полиаренов.

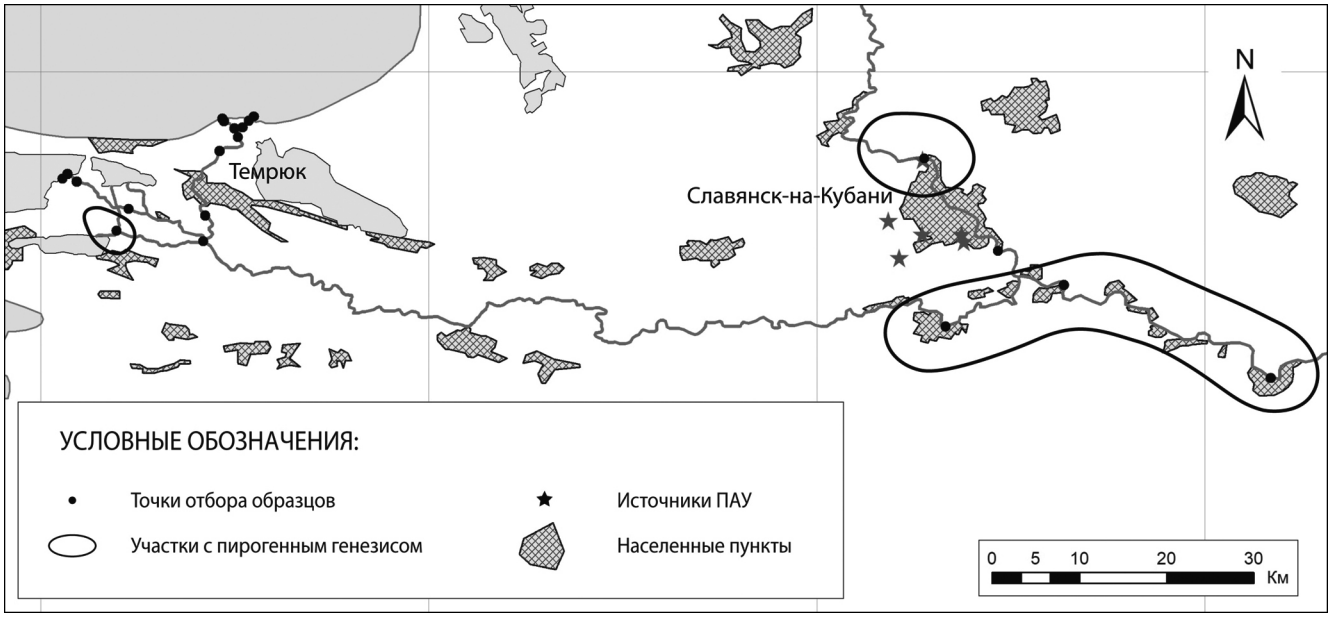


Рис. 2. Участки с пирогенным генезисом ПАУ во взвеси в дельте Кубани по данным отношения Ant/(Ant + Phe)

Fig. 2. Areas with pyrogenic PAH in suspended matter of the Kuban River delta according to Ant/(Ant + Phe) ratio

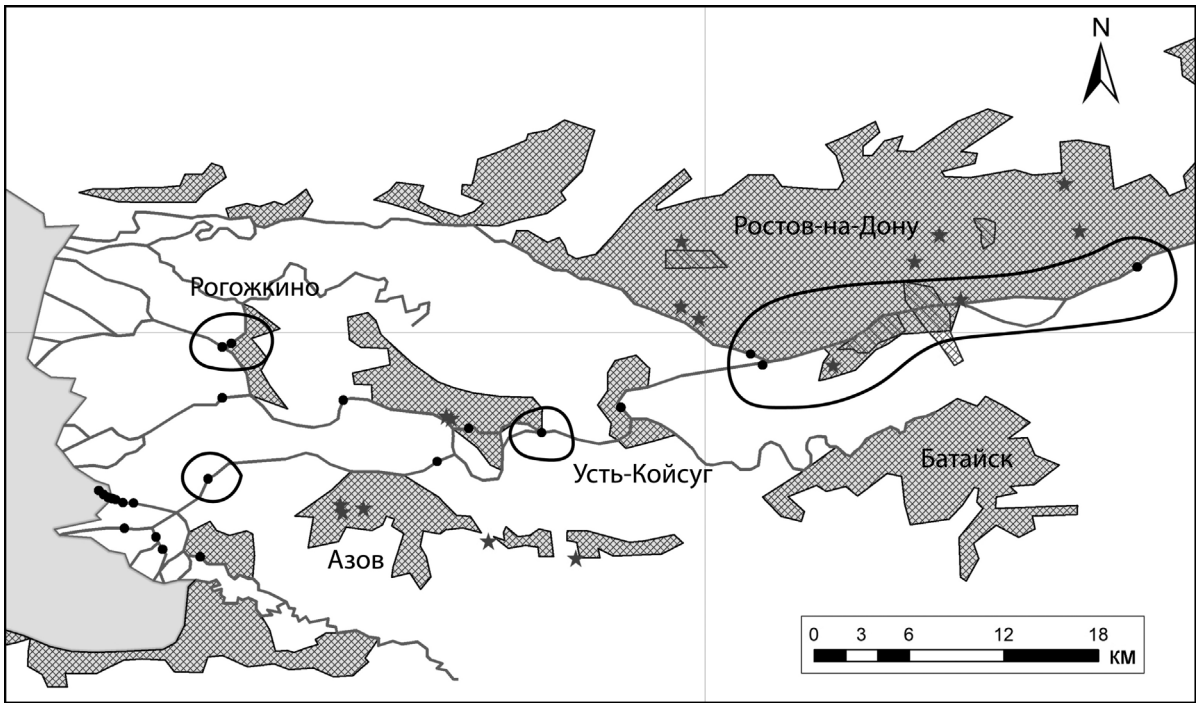


Рис. 3. Участки с пирогенным генезисом ПАУ во взвеси водотоков дельты Дона по данным отношения BaP/(BaP + Cry).
Условные обозначения см. рис. 2

Fig. 3. Areas with pyrogenic PAH in suspended matter of the Don River delta watercourses according to the BaP/(BaP + Cry) ratio.
See legend in Fig. 2

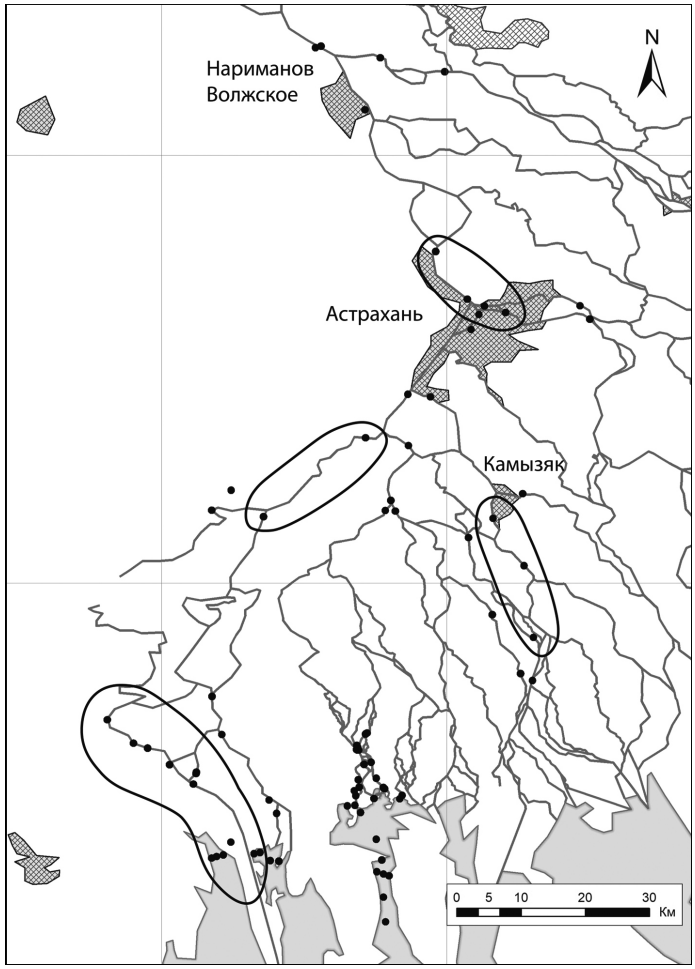


Рис. 4. Участки с пирогенным генезисом ПАУ во взвеси водотоков дельты Волги по данным отношения Tetr/(Tetr + Cry).
Условные обозначения см. рис. 2

Fig. 4. Areas with pyrogenic PAH in suspended matter of the Volga River delta watercourses according to the Tetr/(Tetr + Cry) ratio.
See legend in Fig. 2

Для взвеси дельт Кубани и Волги характерна дифенилово-фенантреново-нафталиновая ассоциация полиаренов, а для взвеси дельты Дона – дифенилово-нафталиново-фенантреновая. Нетипичным для изученных дельт составом полиаренов обладала взвесь дельты Кубани, содержавшая в среднем 33% антрацена. Предположительно, пик содержания антрацена обусловлен высокой плотностью частной застройки с печным типом отопления.

В донных отложениях всех дельт наблюдалась значительная доля 4–5-кольчатых ПАУ, достигавшая 30%. В дельте Дона донные осадки во всех точках по сравнению со взвешенным веществом выделялись значительной долей 4–5-ядерных структур (рис. 5). В дельте Дона было выявлено некоторое увеличение содержания хризена, пирена и антрацена в донных отложениях, отобранных ниже по течению от населенных пунктов

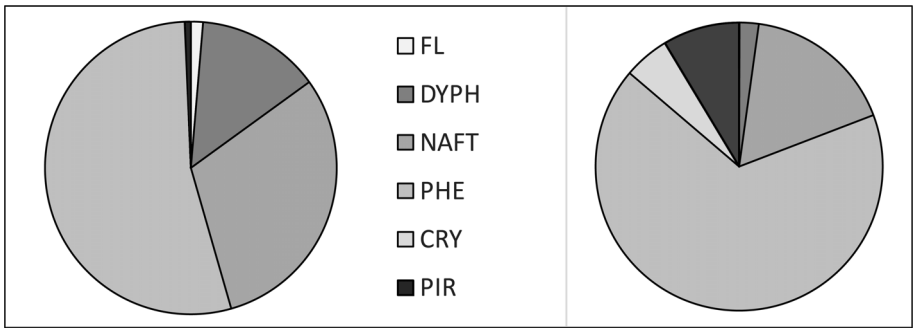


Рис. 5. Состав полиаренов во взвеси (слева) и донных осадках (справа) дельты Дона

Fig. 5. Composition of polyarenes in suspended matter (left) and bottom sediments (right) of the Don River delta

с малоэтажной жилой застройкой. В дельте Кубани ниже по течению от промышленных объектов доля хризена увеличивалась до 13%.

В нижней части дельты Волги в донных отложениях обнаружено увеличение содержания пирена до 50–250 нг/г (при среднем содержании 0,5 нг/г) в районах, свободных от непосредственного влияния жилой застройки и промышленных объектов. Вероятно, пирен как индикатор горения растительности может накапливаться в донных осадках в период тростниковых пожаров, которые здесь не редкость.

ВЫВОДЫ

На основании полученных данных о содержании и составе полиаренов в водотоках дельт Дона, Кубани и Волги можно сделать следующие выводы.

Во всех дельтах на однородных участках русел без впадения и ответвления рукавов, а также в условиях отсутствия крупных источников полиаренов, потоки ПАУ с разной скоростью снижались по течению в результате процессов осаждения взвеси и деструкции полиаренов. Наибольший градиент снижения интенсивности потоков ПАУ свойственен верхней части дельты Кубани (60 г/(сут.· км)), а наименьший — нижним частям дельт Кубани и Волги (3,1 и 4,2 г/(сут.· км) соответственно).

Входная емкость потоков полиаренов в дельте Кубани значительно превышает выходную, в то время как в дельтах Дона и Волги эти величины сопоставимы. Значительная разница в интенсивности потоков на входе в дельту и на выходе из нее обусловливается отсутствием промышленных источников поступления полиаренов в этом районе. В дельте Дона из-за высокой плотности промышленных объектов выходная емкость потока (251 г/сут.) немного превышает ее входную емкость (239 г/сут.).

Диагностические отношения выявили преобладание петрогенного генезиса ПАУ на большей части дельт Волги и Кубани, в отличие от дельты Дона, где высокая плотность населенных пунктов городского типа, портов и промышленных объектов предопределила преобладание пирогенеза. Наиболее эффективным для определения генезиса полиаренов было использование разных индикаторных отношений ПАУ для разных дельт. Для дельты Дона информативным оказалось отношение BaP/(BaP + Cry), для дельты Кубани – Ant/(Ant + Phe), для дельты Волги – Tetr/(Tetr + Cry).

Специализация хозяйственной деятельности и ее активность, а также физико-географические условия определили особенности содержания и состава полиаренов в водотоках дельт Дона, Кубани и Волги. Преобладающими ассоциациями полиаренов во взвешенном веществе были дифенилово-фенантреново-нафталиновая и дифенилово-нафталиново-фенантреновая. В донных отложениях дельт наблюдалась значительная доля четырехкольчатых ПАУ, достигавшая 30%.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта РФФИ №18-05-80094.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас дельты Волги: геоморфология, русловая и береговая динамика / под ред. В.Н. Коротаева, Г.И. Рычагова, Н.А. Римского-Корсакова. М.: АПР, 2015. 134 с.

Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Цибарт А.С., Смирнова М.А. Углеводороды в почвах: происхождение, состав, поведение (обзор) // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1195–1209.

Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 6. С. 544–556.

Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Чалов С.Р., Шинкарева Г.Л., Пашкина М.П., Романченко А.О., Промахова Е.В. Бассейновый анализ потоков веществ в системе Селенга – Байкал // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2016. № 3. С. 67–81.

Кошовский Т.С., Ткаченко О.В., Ткаченко А.Н., Цибарт А.С., Лычагин М.Ю. Полициклические ароматические углеводороды в аквальных ландшафтах дельты реки Дон в зимний период // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2017. № 2. С. 118–127.

Магрицкий Д.В., Иванов А.А. Водный баланс дельты р. Кубань и его многолетние изменения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2008. № 5. С. 59–67.

Магрицкий Д.В. Особенности изменения стока наносов в низовьях и дельте р. Кубани в XX–XXI вв. // Водные ресурсы и режим водных объектов. 2011. Т. 38. № 6. С. 661–671.

Сорокина В.В., Ивлиева О.В., Лурье П.М. Динамика стока на устьевых участках рек Дон и Кубань во второй половине XX века // Вестн. Южного Научного Центра РАН. 2006. Т. 2. № 2. С. 58–67.

Ткаченко А.Н., Ткаченко О.В., Лычагин М.Ю., Касимов Н.С. Потоки тяжелых металлов в аквальных системах дельт Дона и Кубани // Доклады РАН. 2017. Т. 474. № 2. С. 234–237.

Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 728–741.

Шинкарева Г.Л. Геохимия тяжелых металлов и металлоидов в компонентах аквальных ландшафтов бассейна р. Селенги: дис. … канд. геогр. наук. М., 2018. С. 38.

Экологический атлас Ростовской области / под ред. В. Е. Закруткина и др. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. 120 с.

Budzinski H., Jones I., Bellocq J., PiCrard C., Garrigues P. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary*, Marine Chemistry*, 1997, no. 58, p. 85–97.

Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review, *Oecologia*, 2005, no. 143, p. 1–10.

El Nemr A., El-Saadawy M.M., Khaled A., Draz S.O. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments of the Mediterranean: Assessment and source recognition of petroleum hydrocarbons, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, no. 185, p. 4571–4589, DOI: 10.1007/s10661-012-2889-1.

Lychagin M., Chalov S., Kasimov N., Shinkareva G., Jarsjö J., Thorslund J. Surface water pathways and fluxes of metals under changing environmental conditions and human interventions in the Selenga River system, *Environmental Earth Sciences*, 2017, vol. 76, no. 1, 14 p., DOI: 10.1007/s12665-016-6304-z.

Soclo H.H., Garrigues P.H., Ewald M. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas*, Marine Pollution Bulletin,* 2000, no. 5, p. 387–396.

Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzanc R., Mitchell R.H., Goyette D., Sylvestre S. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition, *Organic Geochemistry*, 2002, no. 33, p. 489–515.

Wang D.-G., Meng Y., Jia H.-L., Zhou L., Li Y.-F. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Street Dust and Surface Soil: Comparisons of Concentration, Profile, and Source, *Arch. Environ. Contam. Toxicol*., 2009, no. 56, p. 173–180.

Поступила в редакцию 18.02.2021
После доработки 10.03.2021
Принята к публикации 18.03.2021

THE FLUXES OF POLYARENES IN THE DON, KUBAN AND VOLGA RIVER DELTAS

V.M. Piskareva[1], A.N. Gennadiev[2], M.Yu. Lychagin[3]

[1–3] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography*

[1] *Engineer; e-mail: V.M.Piskareva@yandex.ru*
[2] *Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: alexagenna@mail.ru*
[3] *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: lychagin@geogr.msu.ru*

The values of polyarene fluxes with suspended matter in the watercourses of the Don, Kuban and Volga river deltas have been calculated. Water flow rates and volumes of suspended matter differ many times in the studied deltas. However, the PAH fluxes are comparable: they vary from the first g/day to the first thousand g/day. The linear structures of delta flows are also different. The even distribution of flows is characteristic of the Don River delta; a pronounced maximum of flows at the entrance to the delta and their minimum in the lower part of the delta are characteristic of the KubanRiver, while two contrasting maxima were recorded in the upper part and at the outlet from the Volga River delta. In addition, deltas differ in the input and output capacities of the polyarene fluxes, the gradients of decreasing flux intensity and the average values of PAH fluxes.

The formation of river flows of polyarenes is largely influenced by objects located within the delta or at a short distance upstream. The inlet capacities of the flows in the Kuban and Volga river deltas are 2165 and 1128 g/day, respectively. The Don River delta has the smallest flux of polyarenes (239 g/day), due to the absence of large industrial sources upstream. The intensity of polyarene fluxes decreases within deltas if there are no sources of pollutants. The greatest values of the gradients of flow intensity decrease are characteristic of the full-flowing sections of the channels in the upper reaches of the Don River delta (28.5 g/(day·km)), and the entrance to the Kuban delta (60 g/(day·km)).

Low-molecular-weight compounds prevail in the composition of polyarenes in the Don, Kuban, and Volga river deltas. Two- and three-ring polyarenes in the suspension accounts for 98%, on average. Homologues of naphthalene, phenanthrene and diphenyl predominate. Four-ring chrysene and pyrene are present in the composition of PAHs in bottom sediments, thus the low-molecular-weight polyarenes account for just 72–98%.

The diagnostic ratios of PAHs were calculated to determine the genesis of polyarenes. The ratios BaP/(BaP+Cry), Ant/(Ant+Phe), and Tetr/(Tetr+Cry) were the most representative for the studied deltas, while the ratio of low-molecular-weight to high-molecular-weight polyarenes appeared less informative. According to the obtained values of PAH ratios, the regions of predominately pyrogenic polyarenes coincide with the regions where the largest industrial facilities are located.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons, material flows, suspended matter, bottom sediments, indicator ratios

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-05-80094).

REFERENCES

Atlas del'ty Volgi: geomorfologiya, ruslovaya i beregovaya dinamika [Atlas of the Volga delta: geomorphology, channel and coastal dynamics], V.N. Korotaev, G.I. Rychagov, N.A. Rimskij-Korsakov (eds.), Moscow, APR Publ., 2015, 134 p. (In Russian)

Budzinski H., Jones I., Bellocq J., PiCrard C., Garrigues P. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary, *Marine Chemistry*, 1997, no. 58, p. 85–97.

Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review, *Oecologia*, 2005, no. 143, p. 1–10.

Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Current changes in river water regime in the Don river basin, *Water resources*, 2013, vol. 40, no. 6, p. 573–584.

Ekologicheskij atlas Rostovskoj oblasti [Ecological atlas of the Rostov region], Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2000, 120 p. (In Russian)

El Nemr A., El-Saadawy M.M., Khaled A., Draz S.O. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface sediments of the Mediterranean: Assessment and source recognition of petroleum hydrocarbons, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, no. 185, p. 4571–4589, DOI: 10.1007/s10661-012-2889-1.

Gennadiev A.N., Pikovskii Y.I., Tsibart A.S., Smirnova M.A. Hydrocarbons in soils: origin, composition, and behavior (review), *Eurasian soil science*, 2015, no. 10, p. 1076–1089.

Kasimov N.S., Lychagin M.Y., Chalov S.R., Shinkareva G.L., Pashkina M.P., Romanchenko A.O., Promahova E.V. Bassejnovyj analiz potokov veshchestv v sisteme Selenga–Bajkal [Catchment-based analysis of matter flows in the Selenga-Baikal system], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.,* 2016, no. 3, p. 67–81. (In Russian)

Koshovskij T.S., Tkachenko O.V., Tkachenko A.N., Cibart A.S., Lychagin M.Y. Policiklicheskie aromaticheskie uglevodorody v akval'nyh landshaftah del'ty reki Don v zimnij period [Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic landscapes of the Don River delta in winter], *Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region Publ.*, 2017, no. 2, p. 118–127. (In Russian)

Lychagin M., Chalov S., Kasimov N., Shinkareva G., Jarsjö J., Thorslund J. Surface water pathways and fluxes of metals under changing environmental conditions and human interventions in the Selenga River system, *Environmental Earth Sciences*, 2017, vol. 76, no. 1, p. 14.

Magrickii D.V., Ivanov A.A. Vodnyj balans del'ty r. Kuban' i ego mnogoletnie izmeneniya [Water balance of the Kuban River delta and its long-term fluctuations], *Vest. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr*., 2008, no. 5, p. 59–67. (In Russian)

Magrickii D.V. Variations in sediment runoff in the lower reaches and the delta of the Kuban River in the XX–XXI centuries, *Water resources*, 2011, vol. 38, no. 6, p. 709–719.

Shinkareva G.L. Geohimiya tyazhelyh metallov i metalloidov v komponentah akval'nyh landshaftov bassejna r. Selengi [Geochemistry of heavy metals and metalloids in the components of aquatic landscapes of the Selenga River basin], PhD Thesis in Geography, Moscow, 2018, p. 38. (In Russian)

Soclo H.H., Garrigues P.H., Ewald M. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas, *Marine Pollution Bulletin*, 2000, vol. 5, p. 387–396.

Sorokina V.V., Ivlieva O.V., Lur'e P.M. Dinamika stoka na ust'evyh uchastkah rek Don i Kuban' vo vtoroj polovine XX veka [River flow dynamics in the Don and the Kuban river mouths during the second half of the 20th century], *Vestnik Yuzhnogo Nauchnogo Centra RAN*, 2006, vol. 2, no. 2, p. 58–67. (In Russian)

Tkachenko A.N., Tkachenko O.V., Lychagin M.Y., Kasimov N.S. Heavy metal flows in aquatic systems of the Don and Kuban river deltas, *Doklady Earth sciences*, 2017, vol. 474, no. 1, p. 587–590.

Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: sources, behavior, and indication significance (a review), *Eurasian soil science,* 2013, no. 7, p. 728–741.

Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzanc R., Mitchell R.H., Goyette D., Sylvestre S. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition, *Organic Geochemistry*, 2002, no. 33, p. 489–515.

Wang D.-G., Meng Yang, Jia H.-L., Zhou L., Li Y.-F. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Street Dust and Surface Soil: Comparisons of Concentration, Profile, and Source, *Arch Environ Contam Toxicol*, 2009, no. 56, p. 173–180.

Received 18.02.2021
Revised 10.03.2021
Accepted 18.03.2021

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 24–35

УДК 913

ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА

Т.Н. Биче-оол

Тувинский государственный университет, естественно-географический факультет, кафедра географии и туризма, ст. преподаватель; e-mail: bitaty@yandex.ru

Основное внимание в статье уделено анализу развития, ландшафтной репрезентативности и территориальному размещению особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Республики Тыва (РТ) с учетом последних изменений. Исследование основывалось на системно-диалектическом подходе изучения ООПТ в процессе их формирования, функционирования и развития, методах статистического анализа, ГИС-технологий и методических подходах, разработанных в ходе оценки репрезентативности ООПТ России. Материалами анализа послужили данные государственных учреждений управления ООПТ РТ, библиографические источники, картографические материалы. Всего исследовано 33 ООПТ: два заповедника, в т. ч. один биосферный, состоящий из девяти разрозненных участков; один природный парк, состоящий из четырех участков; 15 заказников и 15 памятников природы. Территориальное размещение ООПТ проанализировано в 17 административных районах. Исследование показало, что на территориях существующих заповедников в Тыве эффективно охраняются ландшафты гляциально-нивальные, альпийские и субальпийские луговые, тундровые, подгольцово-редколесные и менее эффективно – лесные, лесостепные, степные, тундрово-криофитно-степные. Территориально ООПТ размещены неравномерно, составляя от 0,3 до 28% от площади территории. Выделяются группы административных районов с площадью ООПТ до 6%, от 6 до 12, от 12 до 18, от 18 до 24 и от 24 до 28%. Некоторые районы отличились наибольшими разнообразием ООПТ и рекреационной ценностью с точки зрения присутствия водных памятников природы. Основными проблемами на ООПТ РТ являются браконьерская охота, лесные пожары, перевыпас скота, нехватка высококвалифицированных кадров, а также современной техники и технологий.

Ключевые слова: ландшафтная репрезентативность, территориальное размещение, полнота системы ООПТ, структура ООПТ

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы антропогенного воздействия на природу вызывают все большую озабоченность, в то время как охраняемые природные территории остаются районами сохранения биоразнообразия, поддержки водной и продовольственной безопасности, смягчения последствий изменения климата [Deguignet et al., 2014].

Критерий территориального охвата региона охраняемыми объектами различного статуса остается одним из главных факторов создания ООПТ, наряду с классическими – сокращением численности хозяйственно ценных животных и растений или эталонов природы на вновь осваиваемых территориях [Намзалов, 2015].

Общее число и площадь охраняемых природных территорий в мире имеют тенденцию к постоянному росту: в 1962 г. их площадь составляла 2,4 млн км^2, в 2003-м – 18,8 млн км^2, в 2014-м – 32,8 млн км^2, а в 2018-м – уже 46,4 млн км^2, т. е. с 1962 г. их площадь выросла в 19,3 раза [Deguignet et al., 2014; UNEP-WCMC…, 2018].

Площадь ООПТ в России также увеличивается, и если в 2014 г. она составляла 202,3 тыс. га, то к 2018 г. выросла на 17,4%, достигнув 237,7 тыс. га. Из 35,5 тыс. га новых площадей на объекты федерального значения приходится 12 тыс. га, регионального – 1,3 тыс. га, местного – 22 тыс. га [Государственный доклад…, 2018]. Такой прирост площади ООПТ говорит не только о возрастающем внимании государства к сохранению природы, но и о росте самосознания местного населения, которое все более активно включается в процесс сохранения экологически значимых природных объектов.

Увеличение сети ООПТ для горных территорий в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой имеет особое значение. Сохранение и рациональное использование природных ресурсов гор является одним из важнейших условий развития глобальной экосистемы, т. к. от устойчивого функционирования горных экосистем зависит судьба не только местного населения, но и значительной части всего населения земного шара. Горы являются не только центром сохранения биологического и ландшафтного разнообразия и водных ресурсов, но также важнейшим регулятором климата [Черных, Булатов, 2002].

В Российской Федерации создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ) имеет исключительное значение для сохранения ландшафтного и биологического разнообразия. Это традиционная и весьма эффективная форма природоохранной деятельности [Степаницкий, 2016; Яковлева, 2015], которая рассматривается в качестве одного из приоритетных направлений устойчивого развития совре-

менных государств [Неронов и др., 2016]. Природные ресурсы ООПТ являются центром притяжения и развития экологической рекреационной деятельности [Воронина, 2015] и изымаются из традиционного хозяйства в целях особо значимого использования, дающего больший результат, чем обычная эксплуатация [Реймерс, Штильмарк, 1978].

По разным оценкам для сохранения экологического баланса территории рекомендованы различные доли ООПТ – от 10 до 90%, в том числе в зависимости от географического положения территории. Например, по рекомендациям международных организаций не менее 10% акваторий и 17% суши региона [Strategic Plan…, 2011]; на территориях с природными комплексами, отличающимися слабой устойчивостью к антропогенному воздействию, таких как районы Крайнего Севера, составляет не менее 30% [Генеральная схема…, 1994]; Н.Ф. Реймерс по природным зонам рекомендовал увеличить доли ООПТ в следующих соотношениях: в смешанных хвойно-широколиственных лесах – 30–35%, в лесостепи – 35–40%, в таежной зоне – 45–50%, в горных районах – до 80–90% [Реймерс, Штильмарк, 1978, с. 157]. Но, как отмечают Е.С. Каширина и Е.И. Голубева, формальное соблюдение этих нормативов в реальности не может обеспечить охрану ценных природных комплексов, если ООПТ недостаточно репрезентативно отражает ландшафтное разнообразие территории [Каширина, Голубева, 2018], а научно-обоснованная система ООПТ региона обеспечивает сохранение редких, исчезающих и особо уязвимых природных комплексов и объектов [Protected Areas…, 2013].

В ряде регионов России и мира процесс создания сетей ООПТ проходил во многом бессистемно, и большая их часть распределена крайне неравномерно, а в ряде регионов ООПТ представлены только одной категорией [Санников, 2014]. Например, в России в 2018 г. наибольший удельный вес площади ООПТ в общей площади федеральных округов имел Дальневосточный (22,2%), наименьший – Сибирский и Приволжский округа (6,6 и 5,4% соответственно) [Государственный доклад…, 2018].

Республика Тыва и ее ООПТ с позиций изучения и сохранения разнообразия, несмотря на существующие до сих пор «белые пятна», представляют огромный интерес для исследователей. Можно назвать работу [Джонсон, 2012], направленную на разработку предложений по внедрению международной практики в стратегии управления и развития региональных ООПТ республики; атлас картосхем ландшафтов ООПТ Республики Тыва со справочной информацией [Калихман и др., 2012]; статью по организации трансграничных охраняемых природных территорий [Курбатская и др., 2013]; исследование, в котором проанализированы проблемы и теоретически обоснованы создание и расширение сети ООПТ региона [Намзалов, Дубровский, 2015]. В работе [Забелин, 2019] составлены рекомендации по увеличению площади ООПТ с созданием Национального парка, в статье [Самбуу, Биче-оол, 2019] охарактеризованы кластеры Природного парка «Тыва»; в работе [Чижова, Шестакова, 2019] проведены научные ландшафтно-рекреационные исследования в ООПТ РТ. Исследования ООПТ РТ особенно активизировались именно в конце XX – начале XXI в.

На наш взгляд, история развития ООПТ РТ до сих пор недостаточно освещена, т. к. в источниках разных периодов существуют расхождения относительно количества ООПТ; не рассмотрены вопросы их территориального размещения по муниципальным районам; не достаточно освещены работы комплексной оценки ООПТ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведение исследования основывалось на системно-диалектическом подходе изучения ООПТ в процессе их формирования, функционирования и развития с использованием методов историко-географического анализа данных государственных учреждений управления ООПТ РТ, библиографических источников, электронной карты масштаба 1:2 000 000 и геоинформационной базы данных Алтае-Саянского экорегиона [Самойлова и др., 2003]; на методах статистического анализа, ГИС-технологиях и методических подходах, разработанных в ходе оценки репрезентативности ООПТ России [Особо охраняемые..., 2009] и Республики Алтай [Особо охраняемые…, 2012]. Для анализа показателя полноты системы ООПТ РТ для площади каждого вида ландшафта заповедников были выбраны 10 и 5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Республика Тыва находится на границе южносибирской тайги и центрально-азиатских пустынь, входит в состав Алтае-Саянского экорегиона. Доля гор в ней составляет до 80% [Кушев, 1957, с. 11]. Здесь расположен биосферный заповедник, который представляет собой российскую часть трансграничного российско-монгольского объекта всемирного наследия ЮНЕСКО «Убсунурская котловина». Видовое разнообразие флоры и фауны республики представлено 89 видами млекопитающих, 378 видами и подвидами птиц, 9 видами рептилий и амфибий, 40 видами и подвидами рыб. Из всех позвоночных животных более 120 видов относятся к редким и исчезающим, многие из них являются эндемиками [Государственный доклад…, 2017].

Тыва является ключевым компонентом Алтае-Саянского горного экорегиона, признанного мировым природоохранным сообществом в качестве одного из 200 уникальных по биоразнообразию регионов планеты.

В сотрудничестве с другими территориями Алтае-Саянского экорегиона на основе трехстороннего соглашения между республиками Тыва, Алтай и Хакасия в области охраны природы проводятся научно-исследовательские разработки национальной стратегии сохранения животных, занесенных в Красные книги России и названных республик – алтайского горного барана, ирбиса, кота-манула и др. [Государственный доклад…, 2017], местообитания которых имеют трансграничный характер [Яшина, 2010].

Становление ООПТ в республике имеет длительную историю. Прообразами были места с определенными запретами и ограничениями. По материалам М.И. Скобеева [Скобеев, 1925], такими местами были родовые участки. Например, священные родовые горы, где промысел зверя и добыча кедрового ореха запрещались либо регламентировались; лесные участки с повсеместным запретом на рубку кедра и его ветвей, а иногда и вообще живых деревьев и др. М.И. Скобеев писал, что в северо-восточной части Тывы в Тоджинской котловине существовали родовые обычаи и религиозные наставления, касающиеся охоты. Автор отмечал следующее: «В Тоджинском хошуне (название муниципального района) существует два своеобразных заповедника, места, считающиеся у туземцев священными. Охота на территории их как самим населением, так и духовенством и местными чиновниками строго запрещена» [Скобеев, 1925, с. 115–122].

В середине XX в. на территории республики в целях сохранения биологического и ландшафтного разнообразия созданы первые ООПТ.

В 1958 г. открылся заказник «Балгазынский» площадью 150 тыс. га, где объектом охраны являлся единый ландшафтный комплекс реликтового островного соснового бора. В 1961 г. в горно-таежных районах были созданы первые охотничьи заказники – «Тапсинский» площадью 109 тыс. га и «Азас» в Тоджинской котловине, охватывающие степные и таежные ландшафты. Далее в 1970-х гг. ООПТ расширились на 232 тыс. га – заказники «Хутинский», «Шанский», «Чаа-Хольский», «Дерзигский», «Уш-Белдирский», «Шеминский», «Сут-Хольский», которые охватили в основном лесные, подгольцово-редколесные, тундрово-криофитно-степные ландшафты. В 1980-х гг. созданы заказники «Ээрбекский», «Ондумский», «Каъкский» на площади 470,9 тыс. га в лесостепных и степных ландшафтах.

В 1985 г. на месте заказника «Азас» образован одноименный государственный природный заповедник площадью 333,8 тыс. га. Его основная цель – сохранение и изучение типичных и уникальных горных экосистем Тоджинской котловины и обрамляющих ее гор, охрана животного и растительного мира, в частности такого редкого и находящегося под угрозой вида, как тувинский бобр.

В 1990-х гг. образованы биосферный заповедник «Убсунурская котловина» и биолого-гидрологический заказник «Чагытайский». Территория заказника площадью 5,3 тыс. га охватывает горно-таежные, лесостепные и степные ландшафты.

Государственный природный заповедник «Убсунурская котловина» был создан в 1993 г. в результате внедрения международной программы «Эксперимент Убсу-Нур», начатой в 1984 г. Эта крупная международная научно-исследовательская программа с участием российских, монгольских и китайских ученых осуществлялась по инициативе и под руководством профессора В.В. Бугровского при поддержке АН СССР. В настоящее время российско-монгольская охраняемая территория «Убсунурская котловина» образует обширную трансграничную охраняемую территорию в центре Азии и уникальна тем, что в пределах котловины расположены разнообразные ландшафты: в нижней части – песчаные и глинистые пустыни и полупустыни, сухие степи, по склонам гор – высокотравные степи, лесостепи, выше на горах – смешанные, лиственничные, кедровые леса, а на самых вершинах гор – сухие и болотистые тундры, гольцы и ледники.

Целью программы «Эксперимент Убсу-Нур» было создание кластерных заповедников на территориях России и Монголии в пределах Убсу-Нурской котловины, для изучения ее природных условий, в том числе разнообразных ландшафтов и различных компонентов окружающей среды [Курбатская, Сагды, 1987; Джонсон, 2012]. С этой целью было решено выделить несколько наиболее ценных и репрезентативных территорий, придать им наивысший природоохранный статус. Этот план был реализован в 1993 г. с организацией Государственного природного заповедника «Убсунурская котловина», в который вошли пять разрозненных участков: «Ямаалыг» и «Цугээр-Элс», охватывающие в основном горно-степные ландшафты; «Улар» и «Монгун-Тайга» – степные горно-луговые, гляциально-нивальные ландшафты; «Арысканныг» – альпийские и субальпийские луговые. В 1997 г. дополнительно были выделены буферные (охранные) зоны, окружающие ядра участков. Тогда же заповедник получил статус биосферного резервата ЮНЕСКО. В 2000 г. в состав заповедника были включены еще четыре участка: «Кара-Холь»

и «Хан-Дээр», охватывающие горно-таежные ландшафты, «Оруку-Шынаа», «Убсу-Нур» – степные ландшафты на пойменных и болотных участках. В 2003 г. заповедник «Убсунурская котловина» получил статус объекта всемирного наследия ЮНЕСКО. В настоящее время биосферный заповедник «Убсунурская котловина» состоит из девяти разрозненных участков общей площадью 323,2 тыс. га, охватывающих практически все представленные в республике ландшафты.

В 2000-х гг. в РТ произошло значительное увеличение охраняемых природных территорий. Были созданы заказники «Дургенский» и «Аянгатинский», охватывающие горно-таежные ландшафты. В эти же годы были переутверждены 15 памятников природы общей площадью 33 тыс. га, которые были созданы ранее, в 1982 г. В перечень памятников природы вошли 10 озер, четыре водных источника и один порог на реке Хут. Большинство памятников природы находятся вблизи или в пределах более обширных ООПТ, а их названия часто совпадают с названиями соответствующих охраняемых территорий.

В 2009 г. в республике создан первый природный парк под названием «Тайга», в 2011 г. второй – «Шуйский». В 2014 г. эти два парка и заказник «Уш-Белдирский» объединили в единый природный парк «Тыва» с тремя одноименными участками общей площадью 564,2 тыс. га. В январе 2019 г. в составе парка был образован четвертый участок – «Шанчы» площадью 49,0 га. В результате площадь природного парка составила 613,2 тыс. га. Кластеры природного парка охватывают разнообразные ландшафты от степей до тундр с высоким биологическим разнообразием [Самбуу, Биче-оол, 2019].

В октябре 2019 г. создан заказник «Буура» площадью 54,8 тыс. га, охватывающий лесостепные и степные ландшафты.

По состоянию на декабрь 2019 г. сеть особо охраняемых природных территорий Республики Тыва насчитывает 33 ООПТ: два заповедника, в т. ч. один биосферный, один природный парк, 15 государственных природных заказников и 15 памятников природы. Общая площадь ООПТ РТ составляет 2032 тыс. га, или 12% площади республики.

Из общей площади ООПТ наибольшую долю занимают заказники (35%), затем заповедники (33%), природный парк (31%) и наименьшую долю – памятники природы (около 1%) (табл. 1). В расчетах не были учтены площади памятников природы, которые расположены в границах более крупных ООПТ. К таковым относятся озеро Чагытай, расположенное на территории Чагытайского заказника, озеро Сут-Холь – на территории Сут-Хольского заказника, Хутинский порог – на территории Хутинского заказника и озеро Азас, расположенное на территории заповедника «Азас».

Еще одним природоохранным объектом можно назвать ботанический сад Тувинского государственного университета площадью 9 га. Основная цель создания ботанического сада – изучение флоры РТ и сопредельных территорий. Задачами являются развитие различных направлений ботанических исследований: изучение экологии, распространение и разработка мер по охране редких и исчезающих растений; интродукция редких, хозяйственно-ценных и декоративных видов растений; пополнение банка семян и коллекции живых растений.

В перспективе в РТ, согласно схеме развития и размещения ООПТ до 2030 г., площади ООПТ регионального значения будут расширяться. Планируется создать заказники «Саглы» площадью 36,5 тыс. га с целью сохранения тарбагана (монгольского сурка) и «Ак-Хайыракан» площадью 21,6 тыс. га для сохранения мест гнездования восточно-сибирского подвида дрофы.

Таблица 1

Категории ООПТ Республики Тыва

Категории ООПТ	Статус	Количество, шт.	Количество участков, шт.	Площадь, тыс. га	Доля ООПТ от общей площади, %
Заповедники, из них биосферный заповедник	Федеральный	2	10	657,1	33,0
		1	9	323,2	16
Природный парк	Региональный	1	4	613,8	31,0
Заказники	Региональный	15	15	750,2	35
Памятники природы	Региональный	15	15	35,8	1,0

Примечание: таблица составлена автором с использованием данных государственных учреждений управления ООПТ Республики Тыва.

По электронной карте и геоинформационной базе данных [Самойлова и др., 2003] до 80% площади ООПТ республики расположены на горных территориях (рис. 1). Ландшафты, выделяемые на основе соотношения тепло- и влагообеспеченности, представлены восемью типами (табл. 2). В целом показатели полноты системы ООПТ показывают удовлетворительную ситуацию. ООПТ РТ охватывают почти все представленные ландшафты от 10% и более, кроме степных (6%). Из них наибольшие площади занимают гляциально-нивальные (33%), альпийские и субальпийские луговые (23%). Заповедники от 5% и более охватывают гляциально-нивальные, тундровые, альпийские и субальпийские луговые, подгольцово-редколесные ландшафты; менее 5% – лесные, лесостепные, степные, тундрово-криофитно-степные (последние занимают всего около 20 м^2 в заповеднике «Азас»).

Территориально ООПТ РТ размещены неравномерно и их площади варьируют от 0,4% в Тере-Хольском районе до 28,4% в Бай-Тайгинском (рис. 2). При разделении районов на группы выделились территории площадью ООПТ до 6% (шесть районов), с 6 до 12% (три района), с 12 до 18% (три района), с 18 до 24% (три района), с 24 до 30% (два района).

С точки зрения охвата существующих заповедников наиболее эффективно сохранены ландшафты следующих районов РТ: Сут-Хольский, где заповедники занимают 16,9%, Бай-Тайгинский – 15,5%, Тоджинский – 7,5%, Тес-Хемский – 6,5% (рис. 3).

Бай-Тайгинский, Каа-Хемский, Пий-Хемский районы отличаются разнообразием ООПТ (рис. 4). Например, в Бай-Тайгинском районе из всех ООПТ 54,4% приходится на участок «Кара-Холь» биосферного заповедника «Убсунурская котловина», 43,6% – на участок «Шуй» Природного парка «Тыва»

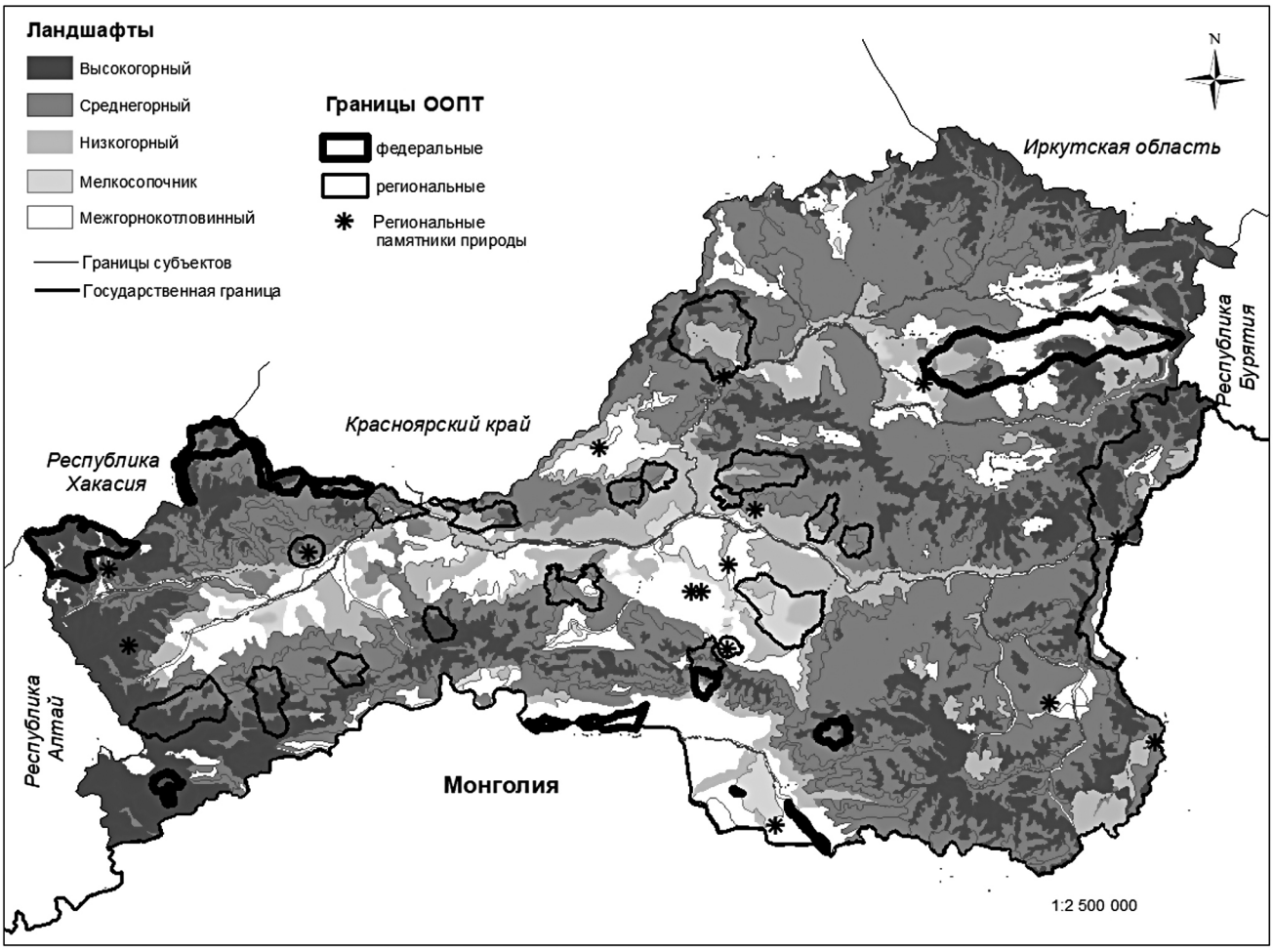


Рис. 1. Ландшафтная репрезентативность ООПТ Республики Тыва.
Составлено автором с использованием данных [Самойлова и др., 2003], государственных учреждений управления ООПТ Республики Тыва

Fig. 1. Landscape representativeness of nature protection areas of the Republic of Tyva.
Compiled by the author using data from [Samoylova et al., 2003] and government agencies on management of nature protection areas of the Republic of Tyva

Таблица 2

Ландшафтная репрезентативность ООПТ Республики Тыва

Тип ландшафта	Площадь ООПТ, %	Площадь заповедника, %	Показатель полноты системы ООПТ
Гляциально-нивальный	33	18	5
Тундровый	18	7	5
Альпийский и субальпийский луговой	23	9	5
Тундрово-криофитно-степной	10	0	3
Подгольцово-редколесный	11	5	5
Лесной	13	4	4
Лесостепной	15	4	4
Степной	6	2	3

Примечание: таблица составлена автором с использованием данных [Самойлова и др., 2003].

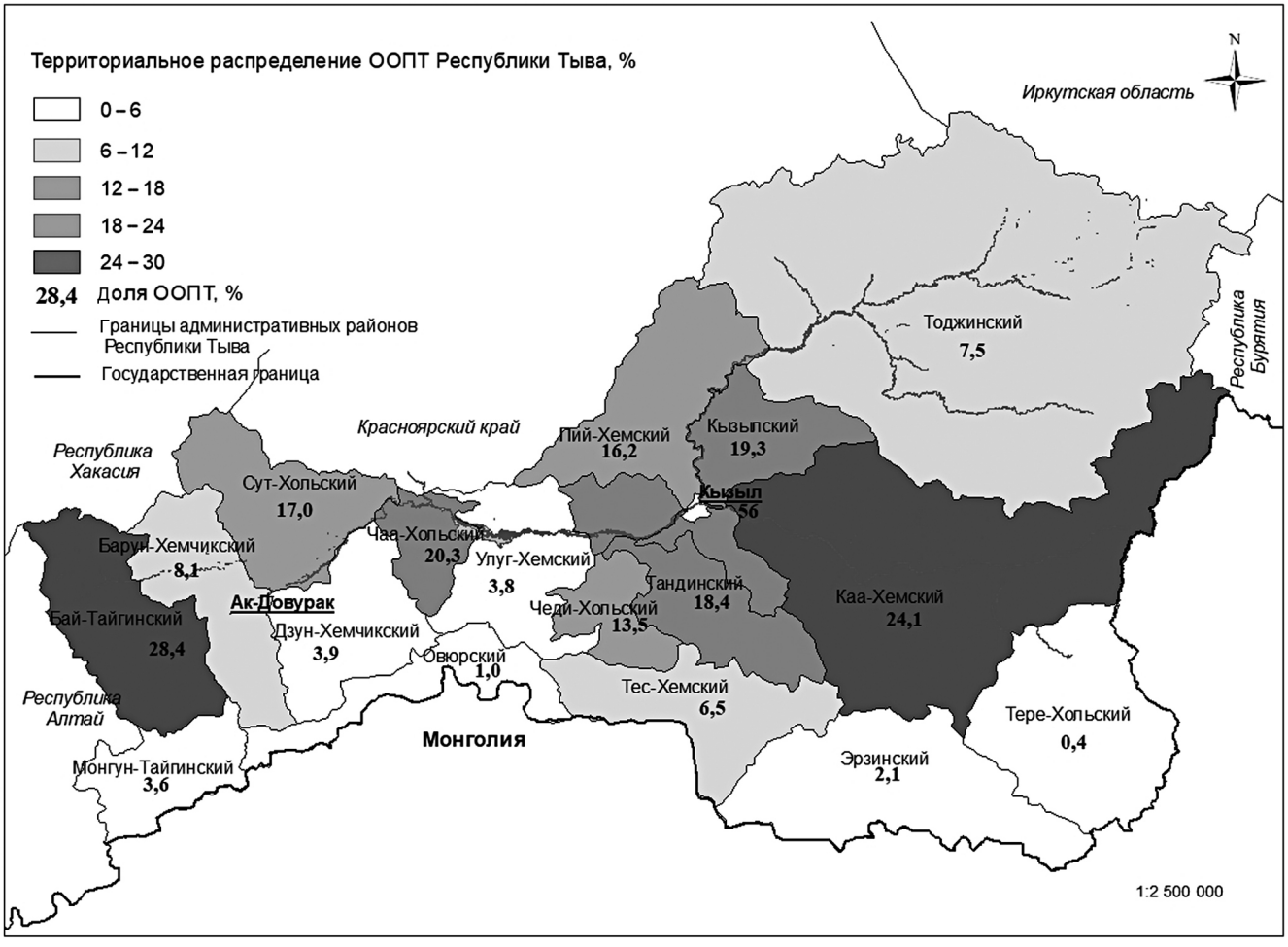


Рис. 2. Территориальное распределение ООПТ Республики Тыва по состоянию на 30.01.2020 г. (составлено автором)

Fig. 2. The spatial distribution of nature protection areas of the Republic of Tyva, 30.01.2020 (compiled by the author)

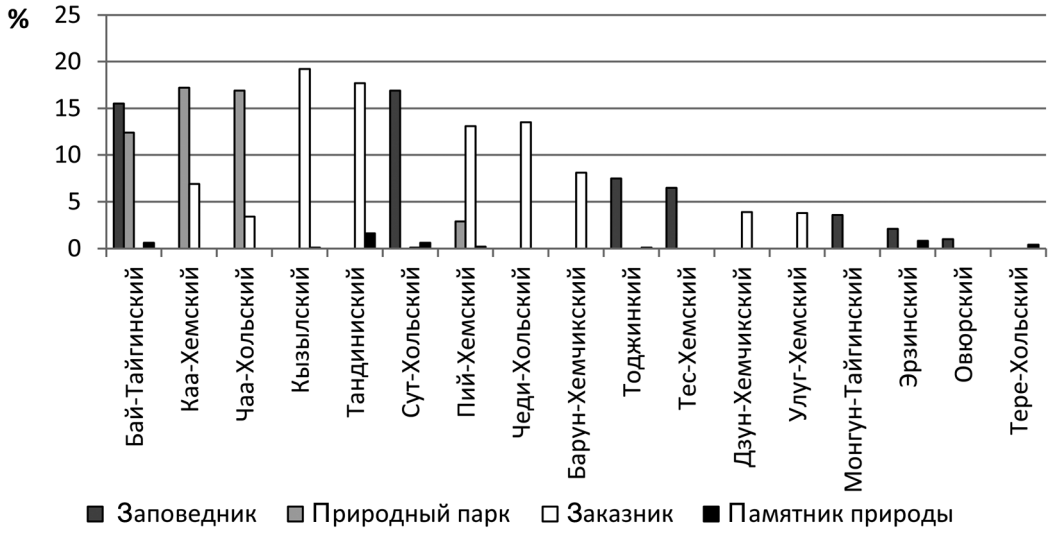


Рис. 3. Доля ООПТ по муниципальным районам Республики Тыва, % (составлено автором)

Fig. 3. The share of nature protection areas in municipal districts of the Republic of Tyva, % (compiled by the author)

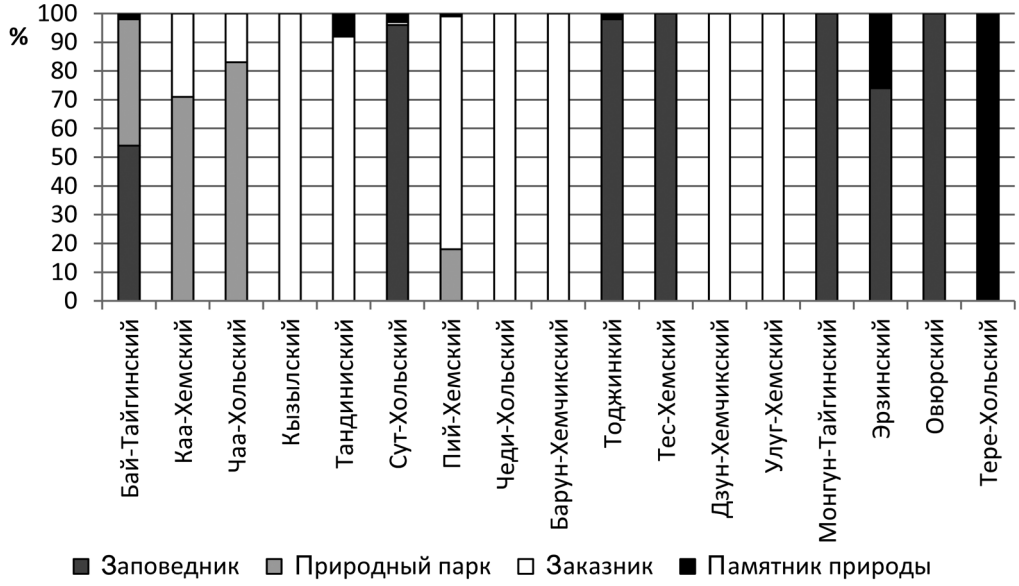


Рис. 4. Структура ООПТ Республики Тыва по муниципальным районам (составлено автором)

Fig. 4. The structure of nature protection areas of the Republic of Tyva in municipal districts (compiled by the author)

и около 1% – на памятник природы «Бай-Тальский источник». В девяти из 17 муниципальных районов расположены по одной разновидности ООПТ, например в Тере-Хольском районе памятниками природы являются только оз. Тере-Холь и Тарысские источники.

Учитывая большое значение горных территорий, в Республике Тыва по разным оценкам рекомендуется увеличить площади ООПТ. Интересные с научной точки зрения направления по перспективам развития ООПТ республики предложены Б.Б. Намзаловым и Н.Г. Дубровским [Намзалов, Дубровский, 2015] и В.И. Забелиным [Забелин, 2019]. Б.Б. Намзалов и Н.Г. Дубровский с учетом предлагаемых критериев, основанных на современных концепциях биоразнообразия и экотонов, рассматривая современное разнообразие охраняемых территорий в регионе, рекомендовали варианты их оптимизации. Например, перевод участков «Хан-Дээр» и «Кара-Холь» биосферного заповедника «Убсунурская котловина» в заказники, перевод заповедника «Азас» с расширением буферной зоны в национальный парк, дополнение числа заказников и перевод их с уровня регионального значения на уровень федерального,

а также создание сети эталонных участков природы в границах каждого природного района [Намзалов, Дубровский, 2015]. В.И. Забелин с целью уменьшения антропогенного воздействия и сохранения природы республики для будущих поколений предложил создать Тувинский национальный парк на значительной части республики с выделением зон охраны природы и культурного наследия, традиционного быта коренного населения с развитием устойчивого туризма, строго ограниченных участков добычи и переработки полезных ископаемых [Забелин, 2019].

Памятники природы занимают особое место в структуре природных рекреационных ресурсов, т. к. увеличивают ценность рекреационного потенциала территории. Само их существование стимулирует познавательный интерес населения, открывает широкое поле деятельности для организаторов отдыха [Шакле, Попкова, 2019]. С этой точки зрения в РТ памятники природы увеличивают рекреационную ценность муниципальных районов, т. к. в их перечень входят озера и минеральные источники, которые являются местами отдыха населения. В республике в семи районах из 17 расположены памятники природы. Например, Тандинский район отличается большим их количеством. Здесь расположены три озера, которые имеют уникальные значения: Дус-Холь – целебные свойства [Кирова и др., 2018]; Хадын, имеющее международный статус ключевой орнитологической территории, и эстетически привлекательное горное озеро Чагытай.

В целом природные условия Республики Тыва благоприятны для развития экологического туризма при условии разрешения и управления существующих проблем антропогенного воздействия [Биче-оол, Монгуш, 2019].

Основными негативными факторами антропогенного воздействия на территориях ООПТ РТ являются чрезмерная в наиболее доступных местах заготовка лекарственных растений, браконьерская охота, лесные пожары, перевыпас скота. Водные памятники природы республики являются излюбленным местом отдыха населения. В результате их рекреационного использования увеличивается загрязнение, при котором появляются привнесенные виды водной растительности, увеличивается биологическая продуктивность, изменяются состав и объем фитопланктона, химический состав воды и физические параметры водных объектов, происходит помутнение воды. Кроме этого разрушаются гнездовья птиц, в том числе перелетных [Аракчаа, Курбатская, 2015]. В природном парке для выполнения природоохранных мероприятий не хватает штатных единиц, высококвалифицированных кадров, современной техники, новейших технологий [Самбуу, Биче-оол, 2019].

ВЫВОДЫ

Территориально ООПТ размещены неравномерно. В некоторых муниципалитетах их доля достигает 28% (Бай-Тайгинский район), в некоторых всего 0,3–0,9% (Тере-Хольский и Овюрский районы). Всего выделяются группы районов с площадью ООПТ до 6%, от 6 до 12, от 12 до 18, от 18 до 24 и от 24 до 30%.

По разнообразию ООПТ выделяются три района – Бай-Тайгинский, Каа-Хемский, Пий-Хемский.

На территориях существующих заповедников в Тыве эффективно охраняются гляциально-нивальные ландшафты, тундровые, альпийские и субальпийские луговые, подгольцово-редколесные. Менее эффективно охраняются лесные, лесостепные, степные и в наименьшей степени – тундрово-криофитно-степные.

С точки зрения увеличения рекреационной ценности территории, семь районов из 17 отличаются присутствием водных памятников природы – Бай-Тайгинский, Тандинский, Сут-Хольский, Пий-Хемский, Тоджинский, Эрзинский, Тере-Хольский.

Основными проблемами на ООПТ РТ являются браконьерская охота, лесные пожары, перевыпас скота, нехватка высококвалифицированных кадров, современной техники и технологии.

Благодарности. Благодарю доктора географических наук, профессора Красноярову Бэллу Александровну за помощь и консультацию в написании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аракчаа Л.К., Курбатская С.С. Реки и озера Тувы. Экологические проблемы. Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2015. 158 с.

Биче-оол Т.Н., Монгуш А.А. Экологический туризм на особо охраняемых природных территориях Республики Тыва // Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения центрально-азиатского региона: материалы V Международной научной конференции. 2019. С. 123–125.

Калихман Т.П., Богданов В.Н., Огородникова Л.Ю. Особо охраняемые природные территории Сибирского федерального округа: атлас / ИГ ОС РАН. Иркутск: Оттиск, 2012. С. 332–351.

Курбатская С.С., Оюунгэрэл Б., Канзай В.И., Анхабаяр М., Куксин А.Н., Самдан А.М., Горева Н.А. Кластерный подход к изучению ландшафтного и биологического разнообразия трансграничного российско-монгольского биосферного резервата «Убсунурская котловина» // Оценка современного состояния экосистем российско-монгольских трансграничных территорий на примере Убсунурского, Селенгинского и Даурского регионов. М.: Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, 2013. С. 33–52.

Курбатская С.С., Сагды Ч.Т. Эксперимент Убсу-Нур: монографический научный отчет по теме 1/85, гос. регистр. 01.85.018242 // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1987. № 2. 124 с.

Кушев С.Л. Рельеф // Природные условия Тувинской автономной области. Труды комплексной экспедиции. Вып. 3. М.: АН СССР, 1957. с. 11–45.

Намзалов Б.Б. Степи Тувы и Юго-Восточного Алтая. Новосибирск: Гео, 2015. 294 с.

Намзалов Б.Б., Дубровский Н.Г. Особо охраняемые природные территории в Республике Тыва: современное состояние и перспективы // Вестн. Тувинского гос. ун-та. Естественные и сельскохозяйственные науки. Кызыл: ТувГУ, 2015. № 2(25). С. 7–16.

Неронов В.В., Королева Е.Г., Дикарева Т.В., Романов А.А., Галушин В.М., Мелихова Е.В. Оценка биоразнообразия для выявления природоохранной ценности территорий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 5. С. 33–39.

Реймерс Н.Ф., Штильмарк Ф.Р. Особо охраняемые природные территории. М.: Мысль, 1978. 295 с.

Самбуу А.Д., Биче-оол С.-Э.А. Создание и расширение ООПТ регионального значения в Республике Тыва и сохранение биоразнообразия // Вопросы степеведения. 2019. № 15. С. 286–290.

Самойлова Г.С., Веселовский А.В., Маханова Т.М., Платэ А.Н. Ландшафтная карта Алтае-Саянского экорегиона. Красноярск: Госцентр «Природа», 2003. 130 с.

Скобеев М.И. Промысловая охота в Урянхайском крае и ее особенности // Северная Азия. 1925. № 5, 6. С. 115–122.

Шакле С., Попкова Л.И. Опыт оценки природных рекреационных ресурсов: продолжение следует? // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5(15). Вып. 1. С. 111–125.

Электронные ресурсы

Воронина А.Б. Особенности организации территориальной рекреационной системы на особо охраняемых природных территориях Республики Крым // Современные проблемы сервиса и туризма. 2015. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-organizatsii-territorialnoy-rekreatsionnoy-sistemy-na-osobo-ohranyaemyh-prirodnyh-territoriyah-respubliki-krym (дата обращения 16.04.2019). DOI: 10.24411/1995-0411.

Генеральная схема расселения на территории Российской Федерации (основные положения): Одобрена Правительством Российской Федерации от 15 декабря 1994 г. URL: http://www.alppp.ru/law/hozjajstvennaja-dejatelnost/gradostroitelstvo-i-arhitektura/3/generalnaja-shema-rasselenija-na-territorii-rossijskoj-federacii-osnovnye-polozhenija.html (дата обращения 02.02.2019).

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Республики Тыва в 2017 году». URL: http://docs.cntd.ru/document/550165018 (дата обращения 10.01.2019).

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». URL: https://gosdoklad-ecology.ru/2018/pokazateli/oopt/ploshchad/sfo/ (дата обращения 02.02.2019).

Джонсон Ф.Э. Стратегия управления и развития региональных особо охраняемых природных территорий Республики Тыва. Красноярск: WWF России, MAVA Foundation, 2012. 110 с. URL: https://wwf.ru/upload/iblock/51c/tyva_oopt.pdf (дата обращения 13.02.2019).

Забелин В.И. О некоторых аспектах сохранения природы Тувы для будущих поколений // Природные ресурсы, среда и общество. 2019. № 2(2). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-nekotoryh-aspektah-sohraneniya-prirody-tuvy-dlya-buduschih-pokoleniy (дата обращения 19.12.2020).

Каширина Е.С., Голубева Е.И. Ландшафтная репрезентативность особо охраняемых природных территорий Севастополя // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 1. С. 108–111. URL: https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/391 (дата обращения 29.01.2021).

Кирова Н.А., Кальная О.И., Аюнова О.Д. К вопросу о гидрохимии и биологии озера Дус-Холь (Тува) // Известия АО РГО. 2018. № 4(51). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-gidrohimii-i-biologii-ozera-dus-hol-tuva (дата обращения 19.12.2020).

Особо охраняемые природные территории Республики Алтай. Современное состояние и перспективы развития: монография / Ю.В. Робертус [и др.]; WWF России, Алтай. регион. ин-т экологии, ГПБЗ «Катунский». Красноярск, 2012. 118 с. URL: https://wwf.ru/upload/iblock/b2f/gep_analiz_final_2_smal.pdf (дата обращения 11.10.2019).

Особо охраняемые природные территории России: современное состояние и перспективы развития / авт.-сост. В.Г. Кревер, М.Г. Стишов, И.А. Онуфреня; WWF России. М.: Орбис Пиктус, 2009. 456 с. URL: https://wwf.ru/resources/publications/booklets/osobo-okhranyaemye-prirodnye-territorii-rossii-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya/ (дата обращения 11.10.2019).

Санников П.Ю. Обзор методов оценки репрезентативности сетей ООПТ // Географический вестник. 2014. № 2(29). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-otsenki-reprezentativnosti-setey-oopt (дата обращения 11.12.2020).

Степаницкий В.Б. Развитие системы ООПТ в регионах России и сохранение биоразнообразия / Заповедная Россия. 2016. URL: http://news.zapoved.ru/2016/03/09/razvitie-sistem-oopt-v-regionah-rossii-i-sohranenie-bioraznoobraziya/ (дата обращения 13.12.2018).

Черных Д.В., Булатов В.И. Горные ландшафты: пространственная организация и экологическая специфика: аналит. обзор / ГПНТБ, ИВЭП СО РАН; науч. ред. В.М. Плюснин. Новосибирск, 2002. 83 с. URL: http://www.iwep.ru/ru/struct/LLVEP/publchern/36.pdf (дата обращения 13.02.2019).

Чижова В.П., Шестакова Е.С. Ландшафтно-рекреационные исследования на ООПТ Республики Тыва // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: сб. статей VI Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 308–318. URL:

https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41118826 (дата обращения 09.11.2020).

Яковлева И.А. Актуальные вопросы развития системы особо охраняемых природных территорий // Фундаментальные исследования. 2015. № 12-2. С. 438–443. URL: http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39435 (дата обращения 10.01.2019).

Яшина Т.В. Опыт и перспективы трансграничного сотрудничества особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в Алтае-Саянском горном регионе // Устойчивое развитие горных территорий. 2010. № 1(3). С. 31–38. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=13057933 (дата обращения 10.01.2019).

Deguignet M., Juffe-Bignoli D., Harrison J., MacSharry B., Burgess N., Kingston N. United Nations List of Protected Areas, 2014, UNEP-WCMC, Cambridge, UK, URL: https://www.unep-wcmc.org/resources-and-data/protected-planet-report-2014 (дата обращения 10.01.2019).

Stishov M.S. Protected Areas in the Russian Arctic: Current State and Prospects for Development, 2013, URL: https://wwf.ru/upload/iblock/46e/arctic_gap_eng.pdf (дата обращения 28.01.2021).

Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020, including Aichi Biodiversity Targets, URL: https://www.cbd.int/sp/ (дата обращения 28.01.2021).

UNEP-WCMC. United Nations List of Protected Areas. Supplement on protected area management effectiveness, 2018, UNEP-WCMC, Cambridge, UK, URL: https://www.sprep.org/attachments/VirLib/Global/2018-list-protected-areas.pdf (дата обращения 10.01.2019).

Поступила в редакцию 15.05.2020
После доработки 16.10.2020
Принята к публикации 18.03.2021

NATURE PROTECTION AREAS OF THE REPUBLIC OF TYVA

T.N. Biche-ool

Tuvan State University, Faculty of Geography, Department of Geography and Tourism, Senior Lecturer; e-mail: bitaty@yandex.ru

The article focuses on the analysis of the development, landscape representativeness and territorial location of nature protection areas (NPA) of the Republic of Tyva (RT), taking into account the latest changes. The study was based on the system-dialectical approach to the study of protected areas in the process of their formation, functioning and development, as well as the methods of statistical analysis, GIS technologies and methodological approaches developed during the assessment of the representativeness of protected areas in Russia. The following materials were analyzed: data of state institutions of protected areas management of the Republic of Tyva, bibliographic sources, and cartographic materials. In total, 33 nature protection areas were studied, i.e. 2 nature reserves including 1 biosphere reserve, which consists of 9 separate sites; 1 natural park, consisting of 4 sites; 15 nature reserves and 15 natural monuments. The territorial distribution of protected areas was analyzed for 17 administrative districts. The study showed that glacial-nival, alpine and subalpine meadow, tundra and subholz-sparsely wooded landscapes are effectively protected within the existing reserves in Tyva, while forest, forest-steppe, steppe and tundra-cryophyte-steppe landscapes and less effectively protected. Nature protection areas are located unevenly, accounting for 0.3 to 28% of the territory area. The administrative districts could be grouped according to the area of nature protection areas: up to 6%, from 6 to 12%, from 12 to 18%, from 18 to 24%, and from 24 to 30%. Some areas have the greatest diversity of nature protection areas and the greatest recreational value in terms of the presence of aquatic monuments of nature.

Keywords: landscape representativeness, territorial location, completeness of the NPA system, structure of NPAs

Acknowledgements. The author thanks Professor Bella A. Krasnoyarova, D.Sc. in Geography, for assistance and advice in writing the article.

REFERENCES

Arakchaa L.K., Kurbatskaja S.S. *Reki i ozera Tuvy. Ekologicheskie problemy* [Rivers and lakes of Tuva. Environmental problems], Kyzyl, Tuvan St. Univ. Publ., 2015, 158 p. (In Russian)

Biche-ool T.N., Mongush A.A. Ecological tourism in nature protection areas of the Republic of Tyva, *Bioraznoobrazie i sohranenie genofonda flory, fauny i narodonaseleniya central'no-aziatskogo regiona. Materialy V mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* [Biodiversity and conservation of the gene pool of flora, fauna and population of the Central Asian region. Proceedings of the V International Scientific Conference], 2019, p. 123–125. (In Russian)

Kalihman T.P., Bogdanov V.N., Ogorodnikova L.Ju. Republic of Tyva, *Osobo ohranjaemye prirodnye territorii Sibirskogo federal'nogo okruga* [Nature protection areas of the Siberian Federal District], Irkutsk, Ottisk Publ., 2012, p. 332–350. (In Russian)

Kurbatskaja S.S., Ojuungerel B., Kanzaj V.I., Anhabajar M., Kuksin A.N., Samdan A.M., Goreva N.A. Cluster approach to the study of landscape and biological diversity of the transboundary Russian-Mongolian Ubsunorskaya Kotlovina biosphere reserve, *Ocenka sovremennogo sostojanija ekosistem Rossijsko-mongol'skih transgranichnyh territorij na primere Ubsunurskogo, Selenginskogo i Daurskogo regionov* [Assessment of the current state of ecosystems of the Russian-Mongolian transboundary territories (case studies of the Uvs-Nuur, Selenga and Dauria regions], Moscow, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the RAN Publ., 2013, p. 33–52. (In Russian)

Kurbatskaya S.S., Sagdy Ch.T. Eksperiment Ubsu-Nur: monograficheskij nauchnyj otchet po teme 1/85 (gos. registr. 01.85.018242) [Uvs-Nuur experiment: monographic scientific report on the topic 1/85 (state register. 01.85.018242)], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Pishchevaya tekhnologiya*, 1987, no. 02, 124 p. (In Russian)

Kushev S.L. Topography, *Prirodnye usloviya Tuvinskoj Avtonomnoj oblasti. Trudy kompleksnoj ekspedicii, vyp. 3.* [Natural conditions of the Tuva Autonomous Oblast. Proceedings of the Tuva Complex Expedition, iss. 3], Moscow, Academy of Sciences USSR Publ., 1957, p. 11–45. (In Russian)

Namzalov B.B. *Stepi Tuvy i Jugo-Vostochnogo Altaja* [Steppes of Tuva and South-Eastern Altai], Novosibirsk, Geo Publ., 2015, 294 p. (In Russian)

Namzalov B.B., Dubrovskij N.G. Osobo ohranjaemye prirodnye territorii v Respublike Tyva: sovremennoe sostojanie i perspektivy [Nature protection areas in the Republic of Tyva: current state and prospects], *Vestn. Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i sel'skohozjajstvennye nauki*, Kyzyl, Tuvan St. Univ. Publ., 2015, no. 2(25), p. 7–16. (In Russian)

Neronov V.V., Koroleva E.G., Dikareva T.V., Romanov A.A., Galushin V.M., Melihova E.V. Ocenka bioraznoobraziya dlya vyyavleniya prirodoohrannoj cennosti territorij [Assessment of biodiversity to reveal the nature protection value of territories], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 5, p. 33–39. (In Russian)

Rejmers N.F., Shtil'mark F.R. *Osobo ohranjaemye prirodnye territorii* [Nature protection areas], Moscow, Mysl' Publ., 1978, 295 p. (In Russian)

Sambuu A.D., Biche-ool S.-E.A. Sozdanie i rasshirenie OOPT regional'nogo znacheniya v Respublike Tyva i sohranenie bioraznoobraziya [Landscape ecological study of specially protected natural territories of Repuclic Tyva], *Voprosy stepevedeniya,* 2019, no. 15, p. 286–290. (In Russian)

Samojlova G.S., Veselovskij A.V., Mahanova T.M., Plate A.N. *Landshaftnaya karta Altae-Sayanskogo ekoregiona* [Landscape map of the Altai-Sayan ecoregion], Krasnoyarsk, Goscentr "Priroda" Publ., 2003, 130 p. (In Russian)

Shakle S., Popkova L.I. Opyt ocenki prirodnyh rekreacionnyh resursov: prodolzhenie sleduet? [Experience in assessing natural recreational resources: to be continued?], *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2019, vol. 5(15), no. 1, p. 111–125. (In Russian)

Skobeev M.I. Promyslovaja ohota v Urjanhajskom krae i yeye osobennosti [Hunting in Uryanhai region and its features], *Severnaja Azija*, 1925, no. 5–6, p. 115–122. (In Russian)

Web sources

Chernyh D.V., Bulatov V.I. Gornye landshafty: prostranstvennaja organizacija i ekologicheskaja specifika: Analit. obzor [Mountain Landscapes: Spatial Arrangement and Ecological Peculiarities], Novosibirsk, 2002, 83 p., URL: http://www.iwep.ru/ru/struct/LLVEP/publchern/36.pdf (access date 13.02.2019). (In Russian)

Chizhova V.P., Shestakova E.S. Landscape and recreational research in the protected areas of the Republic of Tyva, *Ustojchivoe razvitie osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij. Sbornik statej VI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Sustainable development of specially protected natural areas. Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference], 2019, p. 308–318, URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41118826 (access date 09.11.2020). (In Russian)

Deguignet M., Juffe-Bignoli D., Harrison J., MacSharry B., Burgess N., Kingston N. United Nations List of Protected Areas, UNEP-WCMC, Cambridge, UK, 2014, URL: https://www.unep-wcmc.org/resources-and-data/protected-planet-report-2014 (access date 10.01.2019).

Generalnaja shema rasselenija na territorii Rossijskoj Federacii (osnovnye polozhenija) [General scheme of settlement within the territory of the Russian Federation (basic provisions)], URL: http://www.alppp.ru/law/hozjajstvennaja-dejatelnost/gradostroitelstvo-i-arhitektura/3/generalnaja-shema-rasselenija-na-territorii-rossijskoj-federacii-osnovnye-polozhenija.html (access date 02.02.2019). (In Russian)

Gosudarstvennyj doklad "O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Respubliki Tyva v 2017 godu" [State Report "On the state and protection of the environment of the Republic of Tyva in 2017"], URL: http://docs.cntd.ru/document/550165018 (access date 02.02.2019). (In Russian)

Gosudarstvennyj doklad "O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Respubliki Tyva v 2018 godu" [State Report "On the state and protection of the environment of the Republic of Tyva in 2018"], URL: https://gosdoklad-ecology.ru/2018/pokazateli/oopt/ploshchad/sfo/ (access date 02.02.2019). (In Russian)

Jakovleva I.A. Aktual'nye voprosy razvitija sistemy osoboohranjaemyh prirodnyh territorij [Topical issues of the development of the system of specially protected natural territories], *Fundamental'nye issledovanija* [Fundamental study], 2015, no. 12-2, URL: http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39435 (access date 10.01.2019). (In Russian)

Jashina T.V. Opyt i perspektivy transgranichnogo sotrudnichestva osoboohranjaemyh prirodnyh territorij (OOPT) v Altae-Sajanskom gornom regione [Experience and prospects of cross-border cooperation of nature protection areas (NPA) in the Altai-Sayan mountain region], *Ustojchivoe razvitie gornyh territorij* [Sustainable development of mountain territories], 2010, no. 1(3), URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=13057933 (access date 10.01.2019). (In Russian)

Kashirina E.S., Golubeva E.I. *Landshaftnaya reprezentativnost' osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii Sevastopolya* [The landscape representativeness of nature protection areas in Sevastopol], 2018, no. 1, URL: https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/391 (access date 29.01.2021). (In Russian)

Kirova N.A., Kal'naya O.I., Ayunova O.D. On the hydrochemistry and biology of Lake Dus-Khol (Tuva), *Izvestiya AO RGO*, 2018, no. 4(51), URL: https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-gidrohimii-i-biologii-ozera-dus-hol-tuva (access date 09.12.2020). (In Russian)

Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Respubliki Altai. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: monografiya [Nature protection areas of the Altai Republic. Current state and prospects of development: monograph], Yu.V. Robertus (ed.), WWF Rossii, Altai. region. in-t ekologii, GPBZ "Katunskii", Krasnoyarsk, 2012, 118 p., URL: https://wwf.ru/upload/iblock/b2f/gep_analiz_final_2_smal.pdf (access date 11.10.2019). (In Russian)

Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya [Nature protection areas of Russia: current state and prospects of development], V.G. Krever, M.G. Stishov, I.A. Onufrenya, WWF Rossii, Moscow, Orbis Piktus Publ., 2009, 456 p., URL: https://wwf.ru/resources/publications/booklets/osobo-okhranyaemye-prirodnye-territorii-rossii-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektivy-razvitiya/ (access date 11.10.2019). (In Russian)

Johnson P.E. *Strategija upravlenija i razvitija regional'nyh osobo ohranjaemykh prirodnyh territorij Respubliki Tyva* [Strategy of management and development of regional nature protection areas of the Republic of Tuva], Krasnojarsk, WWF Russia, MAVA Foundation, 2012, 110 p., URL: https://wwf.ru/upload/iblock/51c/tyva_oopt.pdf (access date 13.02.2019). (In Russian)

Stishov M.S. *Protected Areas in the Russian Arctic: Current State and Prospects for Development*, 2013, URL: https://wwf.ru/upload/iblock/46e/arctic_gap_eng.pdf (access date 28.01.2021).

Sannikov P.Yu. Review of methods for assessing the representativeness of protected area networks, *Geograficheskij vestnik*, 2014, no. 2(29), URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-otsenki-reprezentativnosti-setey-oopt (access date 11.12.2020). (In Russian)

Stepanickij V.B. Razvitie sistemy OOPT v regionah Rossii i sohranenie bioraznoobrazija [Development of the system of nature protection areas in the regions of Russia and biodiversity conservation], *Zapovednaya Rossiya* [Protected Russia], URL: http://news.zapoved.ru/2016/03/09/razvitie-sistem-oopt-v-regionah-rossii-i-sohranenie-bioraznoobraziya/ (access date 13.12.2018).

Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020, including Aichi Biodiversity Targets, URL: https://www.cbd.int/sp/ (access date 28.01.2021).

UNEP-WCMC. United Nations List of Protected Areas. *Supplement on protected area management effectiveness, 2018*, UNEP-WCMC, Cambridge, UK, URL: https://www.sprep.org/attachments/VirLib/Global/2018-list-protected-areas.pdf (access date 10.01.2019).

Voronina A.B. Features of the organization of territorial recreation systems within protected areas of the Crimea Republic, *Sovremennye problemy servisa i turizma* [Modern problems of service and tourism], 2015, no. 1, URL: https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-organizatsii-territorialnoy-rekreatsionnoy-sistemy-na-osobo-ohranyaemyh-prirodnyh-territoriyah-respubliki-krym (access date 16.04.2019), DOI: 10.24411/1995-0411. (In Russian)

Zabelin V.I. About some aspects of Tuva nature conservation for future generations, *Prirodnye resursy, sreda i obschestvo* [Natural resources, environment and society], 2019, no. 2(2), URL: https://cyberleninka.ru/article/n/o-nekotoryh-aspektah-sohraneniya-prirody-tuvy-dlya-buduschih-pokoleniy (access date 19.12.2020). (In Russian)

Received 15.05.2020
Revised 16.10.2020
Accepted 18.03.2021

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 36–50

УДК 556.535.6

ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЭРОЗИОННЫХ СОБЫТИЙ В ГОРНОМ КРЫМУ

Л.В. Куксина[1], В.Н. Голосов[2], Е.Ю. Жданова[3], А.С. Цыпленков[4]

[1, 2, 4] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева*
[2] *Институт географии РАН, лаборатория геоморфологии*
[3] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, метеорологическая лаборатория*

[1] *Мл. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: ludmilakuksina@gmail.com*
[2] *Вед. науч. с., док. геогр. н.; e-mail: gollossov@gmail.com*
[3] *Науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: ekaterinazhdanova214@gmail.com*
[4] *Мл. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: atsyplenkov@gmail.com*

Собраны и проанализированы сведения об основных климатических (температура воздуха, осадки) и гидрологических (сток воды, взвешенных наносов) факторах формирования и развития экстремальных эрозионных событий (ЭЭС) на территории горного Крыма. Установлено, что на территории Крыма наблюдается значимый рост температуры воздуха; изменение количества осадков и параметров их экстремальности имеет незначимый тренд. По данным станции Ай-Петри, отмечается тенденция к сокращению количества последовательных дней с осадками в течение года, а также к увеличению продолжительности периода без осадков в теплый период года, что способствует некоторому увеличению объемов накопления рыхлообломочного материала, потенциально готового к транспортировке при формировании поверхностного стока на склонах и паводков при интенсивных осадках. По данным станции Феодосия, в юго-восточной части полуострова наблюдается рост интенсивности экстремальных осадков. Для большинства рассматриваемых станций значения 0,95 квантиля суточных сумм осадков больше в холодный период года, а значения 0,99 квантиля суточных сумм осадков больше в теплый период года, что свидетельствует о том, что экстремальные осадки на территории Крымского полуострова выпадали преимущественно в виде дождей. Анализ пространственного распределения эрозионного потенциала осадков (ЭПО) по территории Крымского полуострова показывает, что он не достигает своих максимальных значений (более 600) на территории горного Крыма, где его величина колеблется в пределах 400–500, достигая наибольших значений в яйлах, однако развитие карста нивелирует эти достаточно большие величины за счет снижения коэффициентов поверхностного стока. Выявлена тенденция к увеличению среднемноголетних и максимальных расходов воды, что может привести к росту стока взвешенных наносов на реках юго-западных районов. Сопоставление внутригодового распределения стока на реках в периоды с конца 1970-х – начала 1980-х гг. и после показало, что произошло незначительное перераспределение стока в сторону его увеличения в летний период. Установлено, что изменения температуры воздуха и осадков на территории Крыма аналогичны колебаниям характеристик на территории других стран Черноморского побережья.

Ключевые слова: ливневые осадки, сток взвешенных наносов, изменения климата, расход воды, индекс экстремальности осадков

ВВЕДЕНИЕ

Наблюдающиеся в последние десятилетия глобальные изменения климата, проявляющиеся в росте температуры воздуха, изменении количества и интенсивности осадков, характерны также и для регионального климата на территории Крыма [Нестеренко, 2016]. Климатические изменения способствуют увеличению количества и мощности экстремальных эрозионных событий (ЭЭС), в том числе внезапных ливневых паводков (ВЛП), селей и оползней [Ергина, Жук, 2018; Иванов и др., 2011; Клюкин, 2005]. Подобные явления широко распространены на территории горного и предгорного Крыма [Багрова и др., 2013; Клюкин, 2005], одновременно характеризующегося существенным хозяйственным освоением [Прокопов, 1999]. Значительные уклоны территории, легко эродируемые почвогрунты и деградация растительного покрова способствуют развитию ЭЭС наряду с климатическими факторами [Багрова и др., 2013].

Оценка изменчивости осадков на территории Крымского полуострова за период с 1951 по 2009 г. показала, что наблюдается увеличение количества дней с наиболее интенсивными осадками, а также увеличение количества осадков (мм/день) в горном Крыму в зимнее время. В летний период рост количества дней с экстремальными осадками отмечается только в юго-восточной части Крыма [Voskresenskaya, Vyshkvarkova, 2016]. При этом именно сильные ливневые осадки – самое опасное природное явление

на территории горного Крыма [Ергина, Жук, 2017, 2018] – приводят к формированию экстремальных паводков в регионе [Иванов и др., 2011].

Согласно классификации рек по водному режиму Б.Д. Зайкова, реки Крыма имеют паводочный режим и характеризуются зимними паводками и длительным летним или летне-осенним периодом крайне низкого стока [Михайлов, Добролюбов, 2017]. С 1986 г. наблюдается рост максимальных расходов воды на некоторых реках горного Крыма.

Темпы многих из денудационных процессов, проявляющихся на территории горного Крыма, достигли экстремальных значений в конце XX в., когда наблюдалось превышение столетних максимумов температуры воздуха и осадков, выпадали осадки высокой интенсивности [Клюкин, 2005]. Климатические изменения, происходящие в регионе, наряду с антропогенным воздействием способствуют также росту стока наносов, в частности, за счет интенсификации процессов поверхностного смыва. В горном Крыму максимальных значений на всем полуострове достигают среднегодовые потери почвы – более 46 т/га, а доля эродированных почв на территории ЮБК варьирует в пределах 50–100% [Региональная программа…, 1995; Сташкина, 2012]. Тем не менее исследования климатических изменений в их взаимосвязи с гидрологическими характеристиками ЭЭС для территории горного и предгорного Крыма до настоящего времени не выполнялись.

Целью данного исследования является анализ временной изменчивости гидролого-климатических факторов формирования ЭЭС, основанный на обзоре и систематизации опубликованных данных и анализе результатов режимных гидрометеорологических наблюдений.

Физико-географические факторы ЭЭС на территории горного Крыма. *Рельеф.* Крымские горы занимают меньшую часть полуострова и состоят из трех асимметричных гряд – Главной горной гряды и двух предгорных гряд – Внешней и Внутренней (рис. 1А).

Для южного склона Главной гряды характерно развитие эрозионно-оползневого и эрозионного типов рельефа с интенсивным накоплением обломочного материала, потенциально готового к транспортировке водными потоками, для северного склона Главной гряды – развитие эрозионно-денудационного рельефа [Ресурсы…, 1966].

Наиболее возвышенная часть Главной гряды состоит из яйл – ряда столовых массивов, характеризующихся широким развитием карстовых процессов и соответствующих им форм рельефа [Вахрушев, 2009].

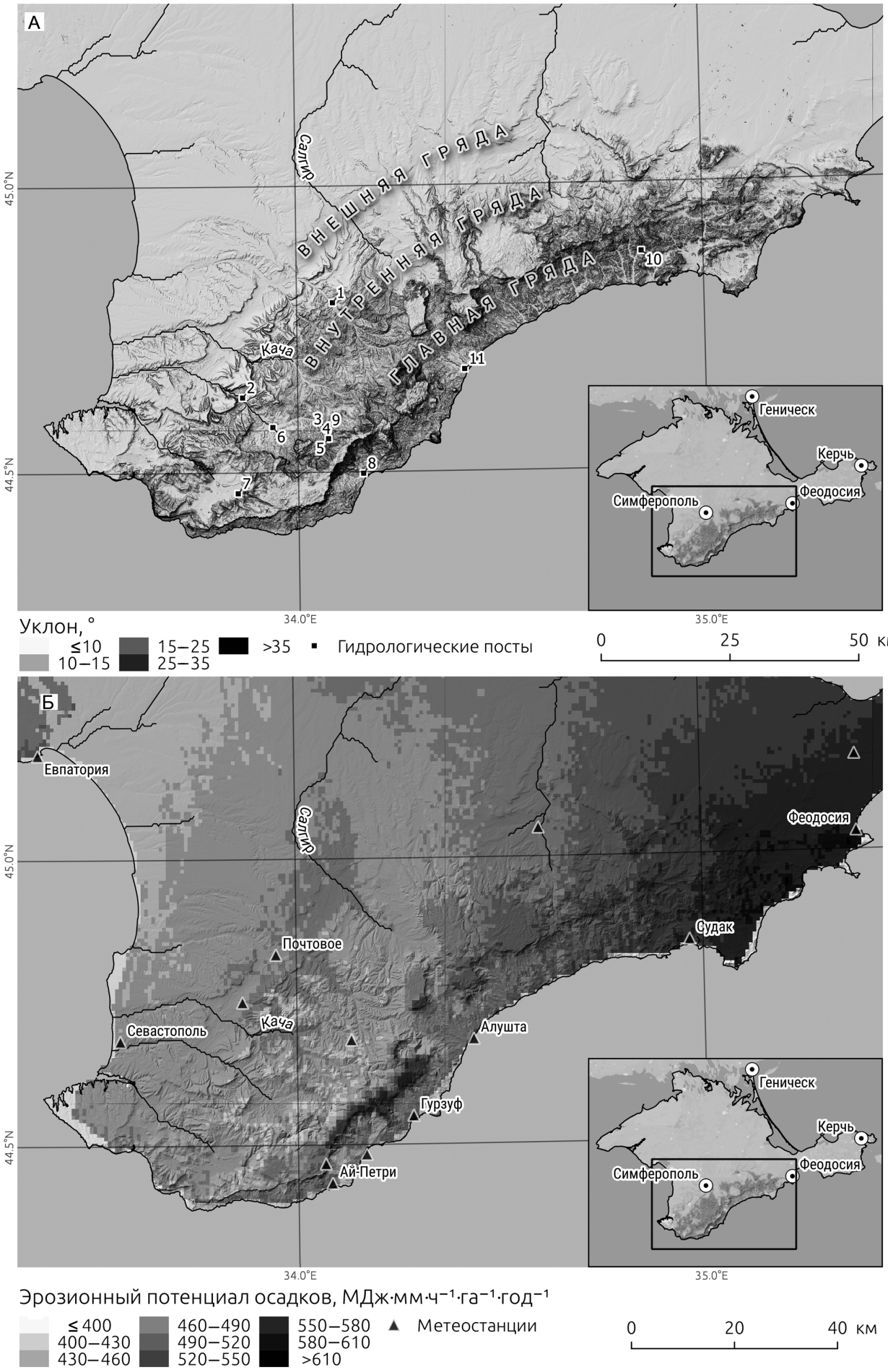
Ключевую роль в формировании и развитии ЭЭС играют такие факторы, как длина и крутизна склонов, способствующие быстрой концентрации стока в руслах. На территории Крымского полуострова уклоны достигают своих максимальных значений в горных и предгорных областях (см. рис. 1А) и могут превышать значения 35°.

Осадки. Горный Крым является самой увлажненной областью на территории полуострова, где годовое количество осадков варьирует от величин порядка 400 мм (Севастополь, Евпатория), 600 мм (Ялта) до более 1000 мм (Ай-Петри). Горные и предгорные районы Крыма характеризуются большой вариативностью максимального суточного количества осадков, вызывающих значительные паводки. Максимальное количество осадков характеризует наиболее возвышенные участки Крымских гор, приуроченные к яйлам, и может превышать 200 мм в сутки. В предгорных областях оно снижается до 100–120 мм в сутки (рис. 2А). В годовом ходе максимум осадков для станций, расположенных на побережье, приходится на холодный период года, для станций, расположенных в центре полуострова (например, Симферополь), – на лето (см. рис. 2Б).

Относительно воздействия на темпы смыва важнейшей характеристикой является эрозионный потенциал осадков (ЭПО, МДж·мм/(ч·га·год)), зависящий от интенсивности осадков и силы ударного воздействия капель [Wischmeier, Smith, 1978]. Анализ пространственного распределения ЭПО по территории Крымского полуострова показывает, что он не достигает своих максимальных значений (более 600) на территории горного Крыма, где его величина колеблется в пределах 400–500, достигая наибольших значений в яйлах (см. рис. 1Б). Однако развитие карста нивелирует эти достаточно большие величины за счет снижения коэффициентов поверхностного стока.

Особенности гидрологического режима рек горного Крыма. Для территории горного Крыма характерна хорошо развитая речная сеть, однако изменение густоты речной сети в пределах района происходит в очень широких пределах: от 0 на плоских вершинах Крымских гор вследствие развития карста до 1,0 км/км^2 в верхних частях бассейнов рек Альмы, Качи, Бельбека, Черной, Салгира и в бассейнах малых рек Южного берега Крыма (ЮБК) [Ресурсы…, 1966].

Небольшие длины рек и малые площади их бассейнов в горном Крыму способствуют крайне быстрой концентрации стока в руслах. Уклоны русел рек весьма значительны, в результате чего потоки обладают большой размывающей способностью и в период прохождения паводков могут транспортировать наносы большой крупности. Максимальные величины уклонов характеризуют реки западной части южного склона Главной гряды. Русла рек


А
Салгир
ВНЕШНЯЯ ГРЯДА
ВНУТРЕННЯЯ ГРЯДА
ГЛАВНАЯ ГРЯДА
Кача
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Геническ
Керчь
Феодосия
Симферополь
45.0°N
44.5°N
34.0°E
35.0°E
Уклон, °
≤10
10–15
15–25
25–35
>35
Гидрологические посты
0 25 50 км
Б
Евпатория
Салгир
Феодосия
Судак
Почтовое
Кача
Севастополь
Алушта
Гурзуф
Ай-Петри
Геническ
Керчь
Феодосия
Симферополь
45.0°N
44.5°N
34.0°E
35.0°E
Эрозионный потенциал осадков, МДж·мм·ч⁻¹·га⁻¹·год⁻¹
≤400
400–430
430–460
460–490
490–520
520–550
550–580
580–610
>610
Метеостанции
0 20 40 км

неустойчивы, что является причиной существенного размыва в период прохождения паводков и последующего намыва [Павлов, 1994].

Основными природными факторами, оказывающими наиболее существенное влияние на формирование водного режима водотоков исследуемой территории, является наличие трещиноватых известняков [Вахрушев, 2009], регулирующих поверхностный и подземный стоки [Олиферов, Тимченко, 2005]. Подземный сток превышает поверхностный приблизительно в 1,5 раза [Ресурсы…, 1966]. Другой особенностью, влияющей на режим рек Крымского полуострова, является наличие легкоразмываемых пород, слагающих русла водотоков, что приводит к резкой деформации русел, особенно рек ЮБК [Павлов, 1994].

Хозяйственная деятельность. Наибольшие масштабы воздействия с точки зрения ЭЭС имеют сведение лесов, уничтожение растительного покрова (включая пожары), выпас скота, неправильная распашка склонов, гидротехническое строительство, водозабор и урбанизация. Прямое воздействие на гидрологический режим водотоков оказывают гидротехническое строительство и водозабор на различные нужды. Нередко возникают случаи, когда происходит экстренный сброс воды из водохранилищ во избежание их перелива в результате сильных ливней и резкого повышения уровня воды. Это приводит к образованию катастрофических паводков ниже по течению. Подобная ситуация наблюдалась на р. Демерджи в 1997 г. [Клюкин, 2005], а также 19 августа 2017 г., когда затоплению подверглись многие районы г. Алушты. Количество выпавших осадков в Алуште 18–19 августа 2017 г. составило две месячные нормы (80 мм). В верховьях рек Таракташ и Отуз в результате выпадения сильных ливней сформировались значительные паводки, искусственно усиленные прорывом прудов. Уровни воды в бассейнах этих рек повышались на 172–220 см.

Сведение лесов и уничтожение растительного покрова (в том числе из-за выпаса скота) ведет к снижению влагоудерживающей способности почвы, в результате чего происходит многократное возрастание склонового стока и, как следствие, эрозия почвы [Прокопов, 1999]. Ее росту способствует также орошение земель [Алексеевский, 1998].

На территории горного Крыма доля средне- и сильносмытых почв достигает максимальных значений от общей площади сельскохозяйственных земель [Сташкина, 2012].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки воздействия климатических факторов и их изменения на гидрологические характеристики формирования и развития ЭЭС в горном и предгорном Крыму были собраны и обработаны данные режимных наблюдений на гидрометеорологических постах и станциях.

Анализ температуры воздуха и количества осадков выполнялся на основе данных, имеющихся в открытом доступе [Погода и климат…, 2020; Расписание погоды…, 2020; ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД…, 2020; KNMI Climate Explorer…, 2020; National…, 2020] за 1961–2019 гг. для станций Ай-Петри, Симферополь, Керчь, Феодосия и за 1961–1990 гг. для станций Алушта, Ангарский перевал, Почтовое, Севастополь, Ялта и Евпатория (см. рис. 2А). Анализ временных трендов метеорологических параметров осуществлен с помощью теста Манна–Кенделла. В дополнение использовалась база данных экстремальных индексов температуры воздуха и осадков HadEX3 [Dunn et al., 2020] и рассчитаны индексы осадков, представленные в работе [Li, Hu, 2019]. Анализ индексов экстремальности осадков выполнен для станций Ай-Петри, Симферополь и Феодосия, характеризующихся доступными наиболее продолжительными рядами измерений. Для вычис-

Рис. 1. Пространственное распределение уклонов (А) и эрозионного потенциала осадков (по [Panagos et al., 2017]) (Б) на территории Крымского полуострова.

Гидрологические посты (в скобках указана дата открытия поста, площадь водосбора): 1 – р. Альма – выше вдхр. Партизанское (01.11.1966, 184 км^2); 2 – р. Бельбек – пгт Куйбышево (06.07.1924, 270 км^2); 3 – р. Биюк-Узенбаш – с. Счастливое (26.07.1965, 6,55 км^2); 4 – р. Кучук-Узенбаш – с. Многоречье (17.09.1964, 10 км^2); 5 – протока р. Кучук-Узенбаш – с. Многоречье (17.09.1964); 6 – р. Коккозка – с. Аромат (01.01.1946, 83,6 км^2); 7 – р. Черная – с. Родниковое (июль 1916 г., 47 км^2); 8 – р. Учан-Су – г. Ялта (26.10.1944, 16,8 км^2); 9 – р. Улу-Узень – с. Солнечногорское (19.10.1914, 32,5 км^2); 10 – р. Ай-Серез – с. Междуречье (08.08.1957, 12,8 км^2); 11 – р. Демержди – г. Алушта (июль 1914, 53 км^2)

Fig. 1. Spatial distribution of slopes (A) and rainfall erosivity (after [Panagos et al., 2017]) (Б) within the Crimean Peninsula.

Hydrological gauges (dates of gauge opening and basin areas are in brackets): 1 – the Al'ma River – upstream the Partizanskoe reservoir (01.11.1966, 184 km^2); 2 – the Bel'bek River – Kuibyshevo (06.07.1924, 270 km^2); 3 – the Biuk-Uzenbash River – Schastlivoe (26.07.1965, 6,55 km^2); 4 – the Kuchuk-Uzenbash River – Mnogorech'e (17.09.1964, 10 km^2); 5 – tributary of the Kuchuk-Uzenbash River – Mnogorech'e (17.09.1964); 6 – the Kokkozka River – Aromat (01.01.1946, 83,6 km^2); 7 – the Chernaya River – Rodnikovoe (July, 1916, 47 km^2); 8 – the Uchan-Su River – Yalta (26.10.1944, 16,8 km^2); 9 – the Ulu-Uzen' River – Solnechnogorskoe (19.10.1914, 32,5 km^2); 10 – the Ai-Serez River – Mezhdurech'e (08.08.1957, 12,8 km^2); 11 – the Demerdzhi River – Alushta (July, 1914, 53 km^2)

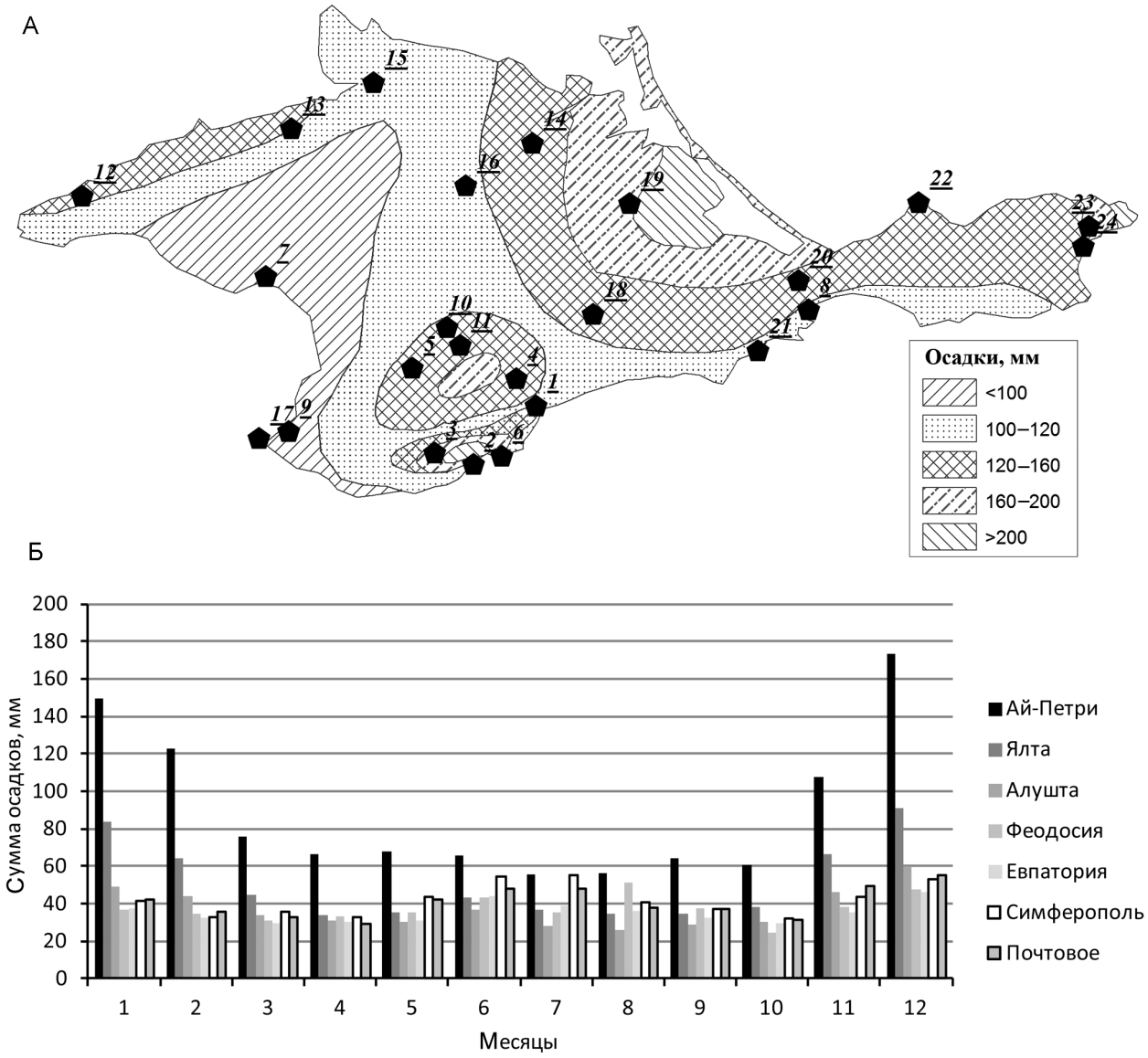


Рис. 2. Изменчивость осадков на территории Крымского полуострова:
А – максимальное суточное количество осадков, вызывающее значительные паводки (по [Атлас…, 2020]). Метеостанции (для использованных в работе станций в скобках приводится высота станции над уровнем моря и количество полных лет наблюдений за 1961–2019 гг., доступных в открытых источниках): 1 – МГ Алушта (3 м, 29); 2 – МГ Ялта (41 м, 33); 3 – М Ай-Петри (1180 м, 58); 4 – М Ангарский перевал (982 м, 24); 5 – М Почтовое (172 м, 31); 6 – А Никитский сад; 7 – МГ Евпатория (2 м, 30); 8 – МГ Феодосия (22 м, 59); 9 – МГ Севастополь (23 м, 29); 10 – АМЦ Симферополь; 11 – М Симферополь (181 м, 59); 12 – МГ Черноморское; 13 – М Раздольное; 14 – М Джанкой; 15 – М Ишунь; 16 – А Клепинино; 17 – МГ Херсонесский маяк; 18 – Крымская селестоковая станция; 19 – М Нижнегорский; 20 – М Владиславовка; 21 – КНИГО Карадаг; 22 – МГ Мысовое; 23 – ГМБ Керчь (49 м, 59); 24 – МГ Опасное (М – метеорологическая станция, МГ – морская гидрометеорологическая станция, А – агрометеорологическая станция, АМЦ – авиационный метеорологический центр, КНИГО – Карадагская научно-исследовательская геофизическая обсерватория, ГМБ – гидрометеорологическое бюро); Б – годовой ход осадков на метеостанциях в период с 1961 по 1990 г.

Fig. 2. Variability of precipitation in Crimea peninsula.
A – Maximum daily precipitation causing significant floods (by [Atlas…, 2020]). Meteorological stations (there are station altitude and amount of full observation years during 1961–2019 for used stations with data in open sources in brackets): 1 – MH Alushta (3 m, 29); 2 – MH Yalta (41 m, 33); 3 – M Ai-Petri (1180 m, 58); 4 – M Angarsky pereval (982 m, 24); 5 – M Pochtovoe (172 m, 31); 6 – A Nikitsky sad; 7 – MH Yavpatoria (2 m, 30); 8 – MH Feodosia (22 m, 59); 9 – MH Sevastopol’ (23 m, 29); 10 – AMC Simferopol’; 11 – M Simferopol’ (181 m, 59); 12 – MH Chernomorskoe; 13 – M Razdol’noe; 14 – M Dzhankoy; 15 – M Ishun’; 16 – A Klepinino; 17 – MH Khersonessky Mayak; 18 – Krymskaya selestokovaya stancia; 19 – M Nizhnegorsky; 20 – M Vladislavovka; 21 – KRGO Karadag; 22 – MH Mysovoe; 23 – HMO Kerch’ (49 m, 59); 24 – MH Opasnoe (M – meteorological station, MH – marine hydrometeorological station, A – agricultural meteorological station, AMC – aviation meteorological center, KRGO – Karadag research geophysical observatory, HMO – hydrometeorological office);
Б – Annual precipitation on meteorological stations in 1961–1990

ления пороговых значений использовались квантили (0,95, 0,97, 0,99), а также суточная сумма осадков 30 мм.

Анализ гидрологической информации осуществлялся с использованием данных, представленных в гидрологических ежегодниках и обобщающих справочниках [Ресурсы…, 1966], в открытых источниках [Федеральное…, 2020], а также с использованием ранее подготовленных баз данных [Богуцкая и др., 2020].

Анализ гидрологических данных проводился для 11 действующих постов на реках региона (см. рис. 1А).

Исследование многолетней изменчивости температуры воздуха, характеристик осадков и речного стока производилось на основе разностно-интегральных кривых стока (РИК) [Евстигнеев, 1990]. Анализировалась также изменчивость внутригодового распределения осадков и расходов воды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменчивость температуры воздуха и осадков на территории горного Крыма. Ключевыми динамическими факторами формирования и развития ЭЭС на территории горного и предгорного Крыма являются изменчивость температуры воздуха и осадков. Рост температуры воздуха, особенно в зимний период, способствует более частому возникновению оттепелей и, как следствие, формированию паводков в холодный период года, увеличению стока наносов за счет интенсификации процессов выветривания и склонового стока. Амплитуда суточного хода температуры воздуха, а также частота внутрисуточных переходов температуры воздуха через 0°С ведут к росту темпов физического выветривания и разрушения горных пород, т. е. формированию больших запасов рыхлообломочного материала на склонах, способного вовлекаться в движение водными потоками, формирующимися на склонах [Голосов, Панин, 1988].

Анализ длинного ряда наблюдений за температурой воздуха (метеостанция Симферополь) показал, что наблюдается ее рост: если за период с 1898 по 1951 г. средняя многолетняя температура воздуха составляла 9,0°С, то за период с 1952 по 2018 г. – 10,8°С (согласно анализу РИК среднемноголетних температур воздуха рост характеристики отмечается с 1952 г.). Рост температуры воздуха наблюдается также в горах (метеостанция Ай-Петри). Увеличение среднегодовой температуры воздуха происходит за счет ее повышения в зимний период [Позаченюк и др., 2014].

Усиление интенсивности осадков и рост повторяемости ливневых осадков на земном шаре, наблюдающиеся примерно с середины 1970-х гг. [Groisman et al., 2005], могут служить предпосылкой к более частому формированию наиболее мощных ЭЭС, включая ВЛП, селей и оползней. Интенсивность осадков в период прохождения наиболее катастрофических ЭЭС в Крыму составляет порядка 1 мм/мин, достигая интенсивности 2,5–8 мм/мин [Клюкин, 2005]. Как правило, образованию селей и ВЛП обычно предшествует период без дождей, что способствует накоплению рыхлообломочного материала, в дальнейшем при выпадении интенсивных ливней подвергающегося транспортировке.

Согласно районированию территории Крыма по степени проявления опасных и стихийных гидрометеорологических явлений, наибольшая опасность отмечается в горном и предгорном Крыму, причем максимальная доля принадлежит ливневым осадкам высокой интенсивности [Ергина, Жук, 2016, 2017] со слоем не менее 30 мм за 12 ч.

Наибольшие значения квантилей суточных сумм осадков среди ряда станций Крымского полуострова для теплого и холодного периодов закономерно относятся к горной станции Ай-Петри (табл.). Для большинства рассматриваемых станций значения 0,95 квантиля больше в холодный период года, а значения 0,99 квантиля больше в теплый период года, что свидетельствует о том, что экстремальные осадки на территории Крымского полуострова выпадают преимущественно в виде дождей.

Анализ значимости трендов (тест Манна–Кенделла, уровень значимости 0,05) показал, что изменения всех индексов экстремальности осадков для станции Ай-Петри за 1961–2019 гг. являются незначимыми за исключением количества последовательных дней с осадками больше 1 мм – индекс CWD. Этот индекс отражает значимый отрицательный тренд (рис. 3А) за счет высоких значений в начале рассматриваемого периода. В теплый период года на станции Ай-Петри увеличивается продолжительность засушливых периодов – рост индекса CDD (см. рис. 3Б). Индекс имеет при этом значительную межгодовую изменчивость, что указывает на возможность длительного накопления материала, потенциально готового к транспортировке в случае выпадения интенсивного ливня. Для станции Симферополь линейных значимых трендов индексов экстремальности осадков не выявлено. Для станции Феодосия выявлено значимое увеличение среднегодовой интенсивности экстремальных осадков (свыше квантиля 0,97 (10,6 мм)) – индекс EPI (см. рис. 3В). Полученный вывод для станции Феодосия согласуется с результатами работы [Voskresenskaya, Vyshkvarkova, 2016], в которой отмечается, что тенденция увеличения экстремальности осадков характерна для юго-восточной части Крымского полуострова (Феодосия, Керчь).

Таблица

Квантили суточных сумм осадков за 1961–2019 гг. (мм)

	1961–1990						1961–2019			
Квантиль	Алушта	Ангарский перевал	Почтовое	Севастополь	Ялта	Евпатория	Симферополь	Керчь	Феодосия	Ай-Петри
Теплый период (апрель–октябрь)										
0,9	0,5	3,1	1,5	1,3	1,5	1,4	3,6	2,9	2,6	5,7
0,95	2,7	8,7	5,3	4,3	5,2	4,7	8,4	7,4	7,0	12,2
0,97	5,5	14,3	9,1	8,0	8,5	7,9	13,0	11,2	10,9	17,5
0,99	13,1	28,0	20,0	15,8	19,3	19,2	24,1	20,0	24,0	31,4
Холодный период (ноябрь–март)										
0,9	1,0	4,3	2,1	2,1	2,3	1,9	4,0	3,3	3,1	7,2
0,95	3,7	10,1	6,0	5,6	6,5	5,1	8,1	7,3	7,3	14,0
0,97	6,7	14,9	9,5	8,8	11,5	8,0	12,1	10,8	10,7	20,3
0,99	14,1	27,3	18,3	15,8	22,3	17,2	21,7	18,2	21,3	37,0
Год										
0,9	1,3	4,7	2,4	2,4	2,9	2,2	4,0	3,4	3,3	8,1
0,95	4,3	10,5	6,0	5,8	7,3	5,2	8,0	7,1	7,3	15,0
0,97	7,1	15,6	9,3	8,6	12,0	7,9	11,5	10,5	10,6	21,3
0,99	15,1	26,3	17,4	15,1	23,0	15,7	20,4	17,1	20,1	39,0

Таким образом, в Крыму на фоне значимого роста температуры воздуха отмечаются тенденции к сокращению количества последовательных дней с осадками (индекс CWD), а также к удлинению периода без осадков в теплый период года, что может способствовать накоплению продуктов выветривания, которые будут транспортироваться в случае ЭЭС, например, таких, как сель в районе Алушты в августе 2017 г. В юго-восточной части Крымского полуострова (Феодосия) отмечено увеличение интенсивности экстремальных осадков.

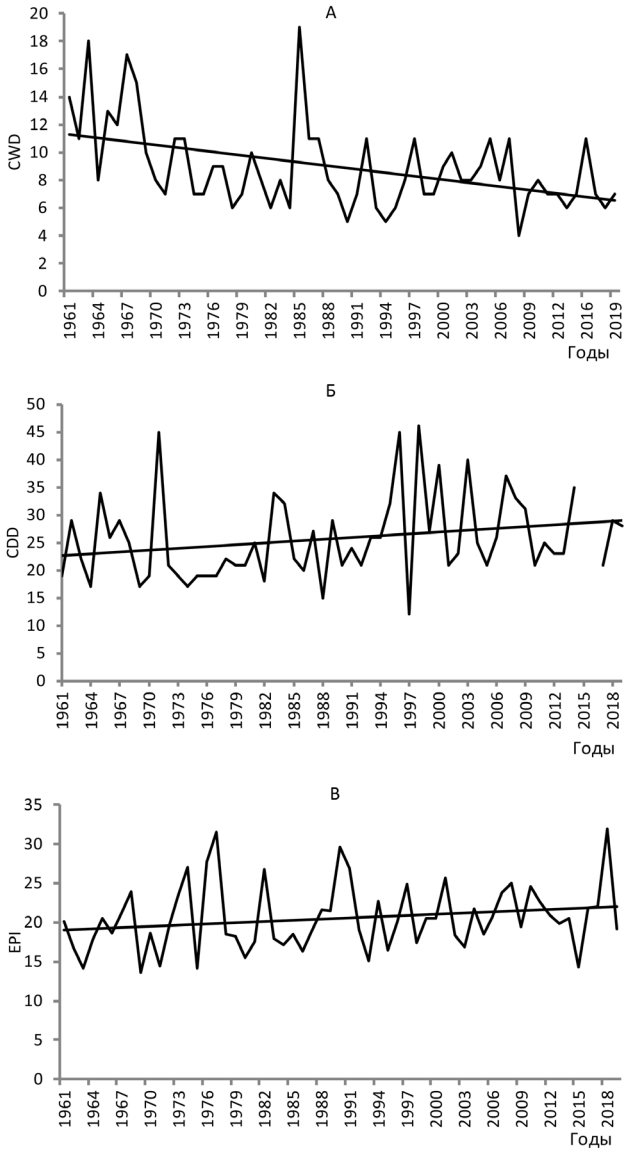


Рис. 3. Изменение индексов осадков на метеостанциях за 1961–2019 гг.:
А – количество последовательных дней с осадками более 1 мм (индекс CWD); Б – продолжительность засушливых периодов (индекс CDD) на метеостанции Ай-Петри; В – среднегодовая интенсивность экстремальных осадков (индекс EPI) на метеостанции Феодосия

Fig. 3. Variability of precipitation indexes in 1961–2019:
A – Amount of consecutive days with precipitation more than 1 mm (CWD); Б – duration of dry periods (CDD) in Ai-Petri; B – mean annual intensity of extreme precipitation (EPI) in Feodosia

Выявленные тренды изменения климатических характеристик были сопоставлены с изменениями, зафиксированными в других регионах и странах Черноморского побережья, включая Турцию, Болгарию, Румынию, РФ и Грузию. Устойчивый рост температуры воздуха наблюдается во всех названных регионах [Ivanova, 2016; Marin et al., 2014; Tayanc et al., 2009]. Изменение количества осадков происходит неоднозначно. На территории Румынии отмечается тенденция к их увеличению на северо-западе страны, включая горные области, и к снижению – в дельте Дуная [Marin et al., 2014]. В Турции, на западе страны, фиксируется снижение количества осадков, в то время как на ряде станций севера – значительное их увеличение [Tayanc et al., 2009]. Кроме того, в связи с климатическими изменениями на территории страны происходит больше наводнений [Bagdatli, Belliturk, 2016] и прогнозируется существенный рост эрозии почвы [Bergeroglu et al., 2020]. Рост количества ливневых осадков в горных районах, усиление экстремальных гидрометеорологических явлений фиксируются также и на территории Грузии [Climate change…, 2020]. Анализ изменения количества осадков на юге России, включая горные, предгорные и равнинные области, не выявил значимых трендов, за исключением осадков в осенний период в степных областях [Tashilova et al., 2019].

В работе [Croitoru et al., 2013] подтверждается большая пространственная изменчивость трендов индексов экстремальных осадков на западном побережье Черного моря. Анализ одиннадцати индексов экстремальных осадков, характеризующих как условия с осадками, так и условия в засушливые периоды, не показывал четкой картины региональных изменений, а отражал изменчивость трендов экстремальных осадков в локальном масштабе. На более чем половине станций на западном побережье Черного моря выявлены тенденции роста индекса CDD (количество последовательных дней с осадками меньше 1 мм) при одновременном тренде снижения индекса CWD (количество последовательных дней с осадками больше 1 мм). Аналогичные тенденции отмечаются в горном Крыму согласно данным наблюдений на станции Ай-Петри.

Изменчивость гидрологических условий. В теплый период года (май–ноябрь) наблюдается низкая межень (вплоть до полного пересыхания) при периодическом формировании непродолжительных паводков, обусловленных выпадением ливней высокой интенсивности. Как правило, длительного стояния высоких уровней воды не наблюдается. Это связано с особенностями строения русловой сети,

характеризующейся малыми длинами водотоков и одновременно значительными уклонами русел рек, а также большой трещиноватостью подстилающих пород [Вахрушев, 2009]. Максимальные расходы воды при прохождении летних дождевых паводков могут превышать среднегодовые значения в 200–400 раз [Овчарук и др., 2015]. Как правило, в этот же период наблюдается максимальный сток наносов. Так, в результате одного из крупнейших паводков на р. Демерджи 11 августа 1997 г. было вынесено порядка 8000 т наносов [Клюкин, 2005] (крупные зафиксированные паводки, принесшие значительный материальный ущерб, наблюдались на реках Демерджи (1898, 1987, 1997, 2008, 2017) и Ворон (1980, 1983, 1987, 1988, 1998) [Багрова и др., 2013]. Суммарный средний многолетний сток наносов рек Крыма в Черное море составляет порядка 132 тыс. т в год, что составляет 0,14% от суммарного стока наносов, поступающего в Черное море [Джаошвили, 2002].

Наибольшие значения мутности воды характеризуют реки горного Крыма (500–1000 г/м^3) и ЮБК (250–500 г/м^3), за исключением рек с повышенным карстовым питанием, где величина средней многолетней мутности воды не превышает 50 г/м^3 [Bobrovitskaya, 1996].

Период максимальной концентрации наносов в реках, как правило, приурочен к прохождению селей, отличающихся от ВЛП твердой составляющей, условиями формирования и прохождения, а также интенсивностью [Куксина и др., 2017, 2020]. Территория горного Крыма является областью с наибольшим развитием селей на территории полуострова.

Для рек территории характерно уменьшение максимальных расходов воды при выходе из гор, что объясняется не только естественной трансформацией волны паводка на бесприточных участках [Михайлов, Добролюбов, 2017], но и потерями воды в результате сильного развития карста на территории [Вахрушев, 2009] и вследствие наполнения регулирующих водоемов. Заборы воды на орошение и наполнение искусственных водоемов являются важнейшей чертой водного режима рек Крыма. Согласно районированию, приведенному в [Овчарук и др., 2015], максимальный подъем уровней воды во время паводков наблюдается на водотоках горного Крыма и достигает 10 м.

Анализ имеющихся данных об изменчивости среднегодовых и максимальных значений расхода воды показал, что его рост наблюдается на большинстве рек юго-западных областей Крыма (Альма (рис. 4А), Бельбек, Черная (см. рис. 4Б), Коккозка), за исключением р. Учан-Су. Реки ЮБК также характеризуются возрастанием среднегодовых и максимальных расходов воды (Улу-Узень (см. рис. 4В), Ай-Серез). Колебания водности происходят относительно синхронно с изменением количества осадков (см. рис. 4Г).

Относительная синхронность изменения мутности и расходов воды (рис. 5) позволяет сделать предположение, что рост среднегодовых и максимальных значений расхода воды на реках горного Крыма способствует соответствующему увеличению стока наносов, что также является признаком усиления мощности и разрушительной силы ЭЭС на исследуемой территории. Однако зачастую изменения стока наносов определяются не только характеристиками поверхностного стока ввиду зарегулированности водотоков прудами и водохранилищами, а также забором воды на орошение.

Сопоставление внутригодового распределения стока на реках в периоды с конца 1970-х – начала 1980-х гг. и после показало, что произошло незначительное перераспределение стока в сторону его увеличения в летний период. Если в период до 1978 г. на р. Демерджи в среднем в зимний период (декабрь–апрель) проходило более 60% годового стока, то начиная с 1980 г. его доля уменьшилась до 50% (рис. 6).

ВЫВОДЫ

Анализ физико-географических условий формирования ЭЭС на территории горного Крыма показывает, что основными факторами их возникновения являются ливневые осадки высокой интенсивности, способствующие быстрому формированию экстремальных расходов воды. Значительные уклоны рельефа и небольшая площадь водосборных бассейнов рек исследуемой территории способствуют быстрой концентрации стока в русле, что приводит к формированию ВЛП – одних из наиболее опасных и трудно прогнозируемых видов ЭЭС.

На территории Крыма наблюдается значимый рост температуры воздуха, а изменение количества осадков и параметров их экстремальности имеет незначимый тренд. Отмечаются тенденции к сокращению длительности выпадения осадков в течение года, а также к увеличению продолжительности периода без осадков в теплый период года по данным станции Ай-Петри, что способствует некоторому увеличению объемов накопления рыхлообломочного материала, потенциально готового к транспортировке при формировании поверхностного стока на склонах и паводков при интенсивных осадках. В юго-восточной части полуострова наблюдается рост интенсивности экстремальных осадков по данным станции Феодосия.

Анализ изменчивости среднемноголетних и максимальных расходов воды показал, что наблюдается их рост на ряде рек юго-западных районов полу-

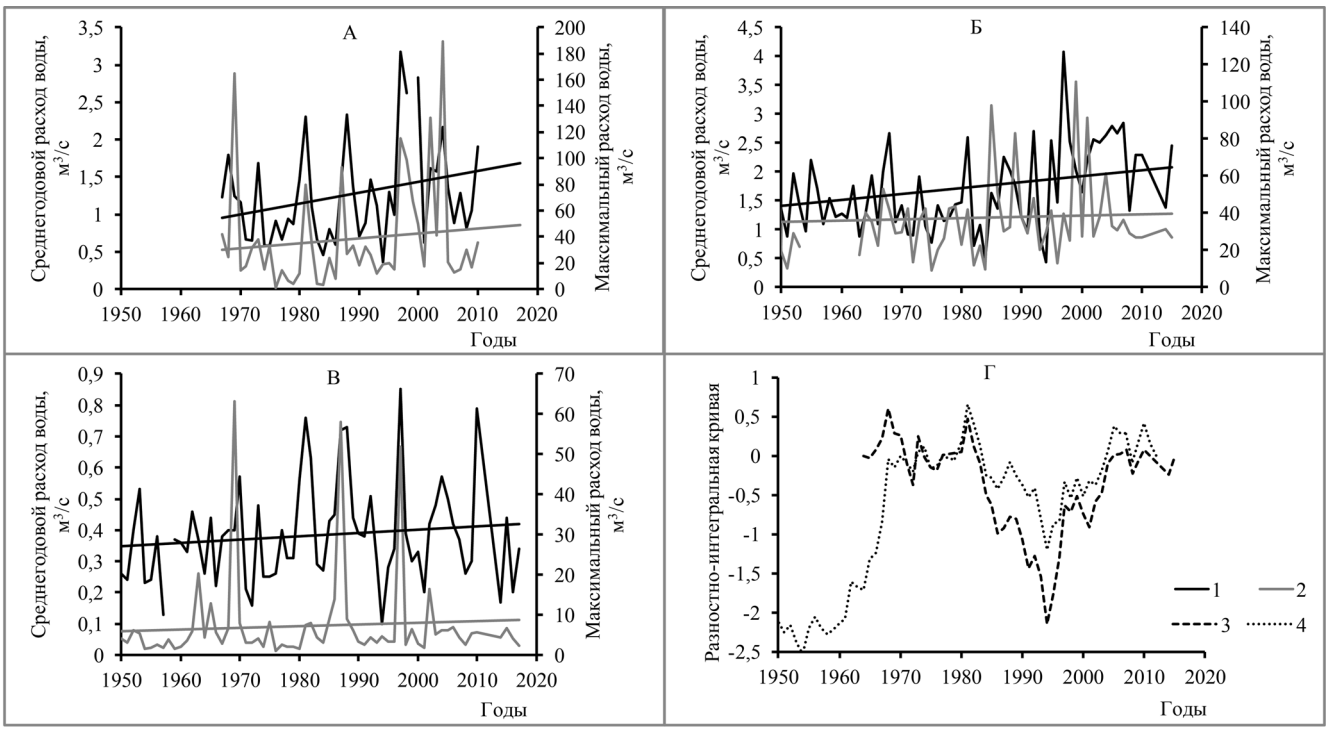


Рис. 4. Изменение расходов воды на реках горного Крыма:
А – р. Альма – выше вдхр. Партизанское; Б – р. Черная – с. Родниковое; В – р. Улу-Узень – с. Солнечногорское; Г – разностно-интегральные кривые в пр. Кучук-Узенбаш – с. Многоречье; расход воды (м³/с): 1 – среднегодовой; 2 – максимальный; разностно-интегральные кривые: 3 – среднегодовых расходов воды; 4 – осадков

Fig. 4. Variability of water discharges for the rivers of the Crimea Mountains:
А – the Al'ma River – upstream the Partizanskoe reservoir; Б – the Chernaya River – Rodnikovoe; В – the Ulu-Uzen' River – Solnechnogorskoe; Г – residual mass curves in the Kuchuck-Uzenbash River – Mnogorech'e; water discharge (m³/sec): 1 – mean annual; 2 – maximum; residual mass curves: 3 – of mean annual water discharges; 4 – of precipitation

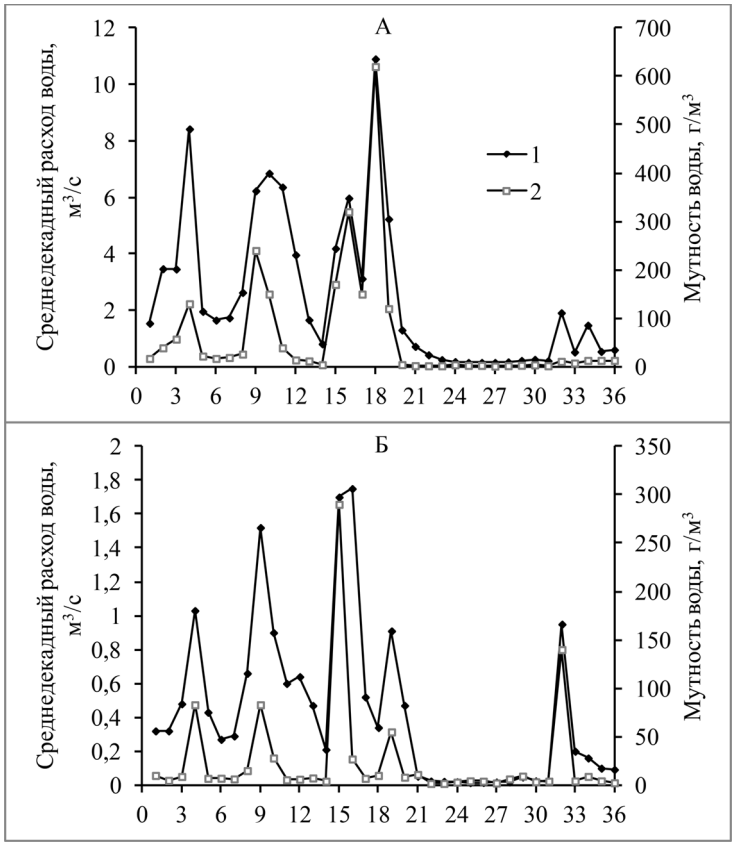


Рис. 5. Графики декадных изменений мутности и расхода воды в 2015 г.:
А – р. Бельбек – пгт Куйбышево; Б – р. Улу-Узень – с. Солнечногорское; 1 – расход воды (м³/с); 2 – мутность (г/м³)

Fig. 5. Decadal variability of SSC and water discharge in 2015:
А – the Bel'bek River – Kuibyshevo; Б – the Ulu-Uzen' River – Solnechnogorskoe; 1 – water discharge (m³/sec); 2 – SSC (g/m³)

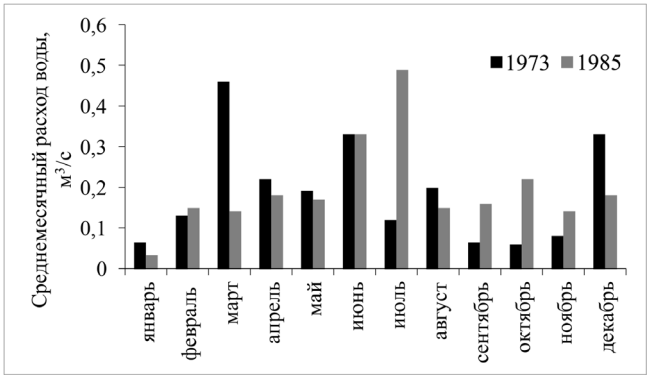


Рис. 6. Изменение внутригодового распределения стока воды р. Демерджи – г. Алушта

Fig. 6. Variability of seasonal water runoff distribution for the Demerdzhi River – Alushta

острова. Эти изменения происходят относительно синхронно с колебаниями мутности воды, что позволяет предположить закономерный рост стока наносов в этих водотоках.

Выявленные для территории Крымского полуострова тенденции к росту температуры воздуха характерны для всех без исключения стран Черноморского региона. Изменения количества осадков в Крыму и в странах Черноморского региона носят неоднозначный характер, а статистически значимый рост этой характеристики отмечается в отдельных районах и в отдельные сезоны года.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-70035. Проведение анализа гидрометеорологических данных частично поддержано госбюджетными темами 121051400081-7 «Погодные и климатические процессы различных пространственно-временных масштабов в условиях антропогенного воздействия» и 121051100166-4 «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем». Коллектив авторов выражает огромную благодарность сотруднику кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ А.Г. Косицкому за помощь в подготовке информационной базы исследования водного стока рек Крыма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Геогр. ф-т МГУ, 1998. 202 с.

Багрова Л.А., Смирнов В.О., Гунькина И.Ю., Змерзлая К.С. Опасные природные явления в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2013. Т. 9. № 2-1. С. 115–126.

Богуцкая Е.М., Косицкий А.Г., Айбулатов Д.Н., Гречушникова М.Г. Средний многолетний сток рек юго-западной части Крымского полуострова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 2. С. 37–51.

Вахрушев Б.А. Районирование карста Крымского полуострова // Спелеология и карстология. 2009. № 3. С. 39–46.

Голосов В.Н., Панин А.В. Осыпные процессы на склонах оврагов в низкогорной зоне Западного Тянь-Шаня // *Геоморфология*. 1988. № 3. С. 46–50.

Джаошвили Ш. Реки Черного моря. Технический отчет № 71. Европейское агентство по охране окружающей среды. 2002. 58 с.

Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 304 с.

Ергина Е.И., Жук В.О. Анализ проявления опасных и стихийных гидрометеорологических явлений в Крыму // Окружающая среда и человек. 2016. С. 85–88.

Ергина Е.И., Жук В.О. Влияние современных тенденций климата на состояние эрозионно-опасных агроландшафтов и оценка почвообразующего потенциала природных факторов Крыма // Известия Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2017. № 3(65). С. 175–178.

Ергина Е.И., Жук В.О. О росте опасных и стихийных гидрометеорологических явлений на Крымском полуострове // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2018. № 1(197). С. 68–74.

Иванов В.А., Свищева И.А., Прусов А.В., Шокуров М.В. Прогнозирование катастрофических паводков на основе региональной модели атмосферной циркуляции Южного Крыма // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: Зб. наук. пр. 2011. Т. 2(25). С. 396–418.

Клюкин А.А. Экстремальные проявления неблагоприятных и опасных экзогенных процессов в XX веке в Крыму // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2005. С. 27–38.

Куксина Л.В., Голосов В.Н., Кузнецова Ю.С. Ливневые паводки в горах: изученность, распространение, факторы формирования // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 25–35.

Куксина Л.В., Голосов В.Н., Промахова Е.В. Причины возникновения и география внезапных ливневых паводков // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 1. С. 11–22.

Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология. Москва; Берлин: Директ-медиа, 2017. 753 с.

Нестеренко В.П. Закономерности формирования климатических изменений и их прогноз на территории Крыма // Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки. 2016. С. 115–122.

Овчарук В.А., Прокофьев О.М., Тодорова Е.И. Особенности формирования паводков теплого периода на реках

горного Крыма // Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія: Геологія. Географія. Екологія. 2015. № 42. С. 99–106.

Олиферов А.Н., Тимченко З.В. Реки и озера Крыма. Симферополь: Доля, 2005. 216 с.

Павлов И.Н. Реки Крыма: русловые процессы и их экологическая оценка // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1994. № 3. С. 76–82.

Позаченюк Е.А., Ергина Е.И., Олиферов А.Н., Михайлов В.А., Власова А.Н., Кудрянь Е.А., Пенно М.В., Калинчук И.В. Анализ факторов формирования водных ресурсов р. Салгир в условиях изменяющегося климата // Ученые записки Крымского федерального ун-та им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2014. № 2. Вып. 27(66). С. 118–138.

Прокопов Г.А. Экосистемы рек Южного берега Крыма. Их оптимизация и охрана // Культура народов Причерноморья. 1999. № 7. С. 9–13.

Региональная программа защиты почв Республики Крым от водной ветровой эрозии и других видов деградации / Академия аграрных наук. Институт землеустройства. Крымский филиал. Симферополь, 1995. 230 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6: Украина и Молдавия. Вып. 4: Крым. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 344 с.

Сташкина А.Ф. Почвы восточного региона Крымских гор и их пригодность к ведению аграрного и садово-паркового производства // Вісник ХНАУ. Серія: Рослинництво, селекція і насінництво, плодоовочівництво. 2012. № 2. С. 116–127.

Bagdatli C., Belliturk K. Negative effects of climate change in Turkey, *Adv. Plants Agri Res*., 2016, no. 3(2), p. 44–46.

Bergeroglu S., Cilek A., Kirkby M. et al. Spatial and temporal evaluation of soil erosion in Turkey under climate change scenarios using Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) model, *Environmental monitoring and assessment*, 2020, no. 192, Article ID 149, DOI: 10.1007/s10661-020-08429-5.

Bobrovitskaya N.N. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of the former Soviet Union, IAHS Publ., 1996, vol. 236, p. 32–39.

Croitoru A.-E., Chiotoroiu B.-C., Ivanova-Todorova V., Torică V. Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast, *Global and Planetary Change,* 2013, no. 102(10–19), DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.01.004.

Dunn R.J.H., Flexander L.V., Donat M.G. et al. Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2020, vol. 125, iss. 16, e2019JD032263, DOI: 10.1029/2019JD032263.

Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., Razuvaev V.N. Trends in intense precipitation in the climate record, *Journal of Climate*, 2005, no. 18(9), p. 1326–1350.

Ivanova V. Extreme temperatures trends in Eastern Bulgaria during the period 1959–2009, *Aerul şi Apa: Componente ale Mediului*, 2016, DOI: 10.17378/AWC2016_15.

Li X., Hu Q. Spatiotemporal Changes in Extreme Precipitation and Its Dependence on Topography over the Poyang Lake Basin, China, *Advances in Meteorology*, 2019, Article ID 1253932, 15 p., DOI: 10.1155/2019/1253932.

Marin L., Birsan M.-V., Bojariu R., Dumitrescu A., Micu D.M., Mane A. An overview of annual climatic changes in Romania: trends in air temperature, precipitation, sunshine hours, cloud cover, relative humidity and wind speed during the 1961–2013 period, *Carpatian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2014, no. 9(4), p. 253–258.

Panagos P., Borelli P., Meusburger K., Yu B. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records, *Scientific Reports*, 2017, no. 7(1), p. 4175, DOI: 10.1038/s41598-017-04282-8.

Tashilova A., Ashabokov B., Kesheva L., Teunova N.V. Analysis of climate change in the Caucasus region: and of the 20th – beginning of the 21th century, *Climate*, 2019, no. 7(11), DOI: cli7010011.

Tayanc M., Im U., Dogruel M., Karaca M. Climate change in Turkey for the last half century, *Climatic change*, 2009, no. 94, p. 483–502.

Voskresenskaya E., Vyshkvarkova E. Extreme precipitation over the Crimean peninsula, *Quaternary International*, 2016, vol. 409, pt. A, p. 75–80, DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.097.

Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning, USDA Agricultural handbook, no. 282, Washington, D.C., 1978, 67 p.

Электронные ресурсы

Атлас Республики Крым. URL: https://педпрактика.рф/6-klass/geografiya-6-klass/atlas-respubliki-krym (дата обращения 18.06.2020).

Погода и климат. URL: http://www.pogodaiklimat.ru (дата обращения 29.08.2020).

Расписание погоды. URL: https://rp5.ru (дата обращения 26.06.2020).

ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД. URL: https://meteo.ru (дата обращения 01.10.2020).

Федеральное агентство водных ресурсов АИС ГМВО. URL: https://gmvo.skniivh.ru (дата обращения 18.07.2020).

Climate change in the South Caucasus, URL: https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/02/Climate-change-South-Caucasus.pdf (access date 13.10.2020).

KNMI Climate Explorer, URL: http://climexp.knmi.nl/start.cgi (access date 31.03.2020).

National centers for environmental information, National oceanic and atmospheric administration, URL: https://www.ncei.noaa.gov (access date 31.03.2020).

Поступила в редакцию 28.10.2020
После доработки 18.12.2020
Принята к публикации 18.03.2021

HYDROLOGICAL AND CLIMATOLOGICAL FACTORS OF EXTREME EROSION EVENTS IN THE CRIMEAN MOUNTAINS

L.V. Kuksina[1], V.N. Golosov[2], E.Yu. Zhdanova[3], A.S. Tsyplenkov[4]

[1, 2, 4] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes*
[2] *Institute of Geography RAS, Laboratory of Geomorphology*
[3] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Laboratory of Climate*

[1] *Junior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ludmilakuksina@gmail.com*
[2] *Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: gollossov@gmail.com*
[3] *Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: ekaterinazhdanova214@gmail.com*
[4] *Junior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: atsyplenkov@gmail.com*

Data on the main climatic (air temperature, precipitation) and hydrologic (water runoff, suspended sediment yield) factors of extreme erosion events (EEEs) formation and development are collected and analyzed for the Crimean Mountain territory. Significant increase of air temperature is observed over the territory of Crimea. The change in the amount of precipitation and the parameters of their extremeness have an insignificant trend. According to the observations at the Ai-Petri station there are tendencies to decreasing number of consecutive days with precipitation during the year (CWD index), as well as increasing duration of the period without precipitation (CDD index) in warm period of the year. This contributes to a slight increase in the accumulation of friable material potentially ready for transportation during slope runoff and floods under the intense precipitation. According to the data of the Feodosiya station an increase in the intensity of extreme precipitation is observed in the southeastern part of the peninsula. For the most stations the 0.95 quantile of daily precipitation is higher in cold period of the year, while the 0,99 quantile is higher in warm period, thus indicating that the extreme precipitation is mainly in the form of rains within the Crimean Peninsula. Distribution of rainfall erosivity shows that it is below its maximum (more than 600) in the Crimean Mountains, where it varies from 400 to 500. The highest values are typical for yajlas (forest-free top plateaus of the Crimean Mountains), while the karst processes levels them by decreasing the surface runoff coefficients. The increasing suspended sediment yield is assumed in rivers in the south-west of the peninsula due to the increase of annual and maximum water discharges. The comparison of the seasonal distribution of river flow before and after the end of 1970-s – the beginning of 1980-s shows its slight increase in summer period. Changes in air temperature and precipitation within the territory of Crimea are found to be in line with the changes within other Black Sea coast countries.

Keywords: heavy rainfall, suspended sediment yield, climate change, water discharge, extreme precipitation index

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-35-70035). The hydrometeorological data were partly analyzed under the state budget tasks "Hydrology, morphodynamics and geoecology of erosion and channel systems" and "Weather and climate processes of various spatial and temporal scales under the anthropogenic impact". The authors are particularly grateful to A.G. Kositsky, Associate Professor of the Department of Land Hydrology, the MSU Faculty of Geography, for his assistance in preparing the information base for studying water runoff of the Crimean rivers.

REFERENCES

Alekseyevskiy N.I. *Formirovaniye i dvizheniye rechnykh nanosov* [Formation and movement of river sediments], Moscow, Geogr. f-t MGU Publ., 1998, 202 p. (In Russian)

Bagdatli C., Belliturk K. Negative effects of climate change in Turkey, *Adv. Plants Agri Res*., 2016, no. 3(2), p. 44–46.

Bagrova L.A., Smirnov V.O., Gun'kina I.Yu., Zmerzlaya K.S. Opasnyye prirodnyye yavleniya v Krymu [Hazardous natural phenomena in Crimea], *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2013, vol. 9, no. 2-1, p. 115–126. (In Russian)

Bergeroglu S., Cilek A., Kirkby M. et al. Spatial and temporal evaluation of soil erosion in Turkey under climate change scenarios using Pan-European Soil Erosion Risk Assessment (PESERA) model, *Environmental monitoring and assessment*, 2020, no. 192, Article ID 149. DOI: 10.1007/s10661-020-08429-5.

Bobrovitskaya N.N. Long-term variations in mean erosion and sediment yield from the rivers of the former Soviet Union, *IAHS Publ*., 1996, no. 236, p. 32–39.

Bogutskaya Ye.M., Kositskiy A.G., Aybulatov D.N., Grechushnikova M.G. Sredniy mnogoletniy stok rek yugo-zapadnoy chasti Krymskogo poluostrova [Mean annual river runoff in the south-western part of the Crimean Peninsula], *Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye*, 2020, no. 2, p. 37–51. (In Russian)

Croitoru A.-E., Chiotoroiu B.-C., Ivanova-Todorova V., Torică V. Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast, *Global and Planetary Change,* 2013, no. 102(10–19), DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.01.004.

Dunn R.J.H., Flexander L.V., Donat M.G. et al. Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes, HadEX3, *Journal*

of Geophysical Research: Atmospheres, 2020, vol. 125, iss. 16, e2019JD032263, DOI: 10.1029/2019JD032263.

Dzhaoshvili S.H. *Reki Chernogo moray* [Rivers of the Black Sea basin], Tekhnicheskiy otchet no. 71, Yevropeyskoye agenstvo po okhrane okruzhayushchey sredy, 2002, 58 p. (In Russian)

Golosov V.N., Panin A.V. Osypnyye protsessy na sklonakh ovragov v nizkogornoy zone Zapadnogo Tyan'-Shanya [Rockslide processes on the slopes of ravines in the low-mountain zone of the Western Tien Shan], *Geomorfologiya*, 1988, no. 3, p. 46–50. (In Russian)

Groisman P.Y., Knight R.W., Easterling D.R., Karl T.R., Hegerl G.C., Razuvaev V.N. Trends in intense precipitation in the climate record, *Journal of Climate*, 2005, no. 18(9), p. 1326–1350.

Ivanov V.A., Svishcheva I.A., Prusov A.V., Shokurov M.V. Prognozirovaniye katastroficheskikh pavodkov na osnove regional'noy modeli atmosfernoj tsirkulyatsii Yuzhnogo Kryma [Prediction of catastrophic floods on the basis of a regional model of atmospheric circulation within the Southern Crimea], *Ekologichna bezpeka pryberezhnoi' ta shel'fovoi' zon ta kompleksne vykorystannja resursiv shel'fu: Zb. nauk. pr*., 2011, vol. 2(25), p. 396–418. (In Russian)

Ivanova V. Extreme temperature trends in Eastern Bulgaria during the period 1959 – 2009, *Aerul si Apa: Componente ale Mediului*, 2016, DOI: 10.17378/AWC2016_15.

Klyukin A.A. Ekstremal'nyye proyavleniya neblagopriyatnykh i opasnykh ekzogennykh protsessov v XX veke v Krymu [Extreme manifestations of unfavorable and hazardous exogenous processes in the 20th century in Crimea] *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2005, p. 27–38. (In Russian)

Kuksina L.V., Golosov V.N., Kuznetsova Yu.S. Cloudburst floods in mountains: state of knowledge, occurrence, factors of formation, *Geography and Natural Resources*, 2017, no. 1, p. 20–29.

Kuksina L.V., Golosov V.N., Promakhova Ye.V. Prichiny vozniknoveniya i geografiya vnezapnykh livnevykh pavodkov [The origin and geography of flash floods], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 1, p. 11–22. (In Russian)

Li X., Hu Q. Spatiotemporal Changes in Extreme Precipitation and Its Dependence on Topography over the Poyang Lake Basin, China, *Advances in Meteorology*, 2019, Article ID 1253932, 15 p., DOI: 10.1155/2019/1253932.

Marin L., Birsan M.-V., Bojariu R., Dumitrescu A., Micu D.M., Mane A. An overview of annual climatic changes in Romania: trends in air temperature, precipitation, sunshine hours, cloud cover, relative humidity and wind speed during the 1961–2013 period, *Carpatian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2014, no. 9(4), p. 253–258.

Mikhaylov V.N., Dobrolyubov S.A. *Gidrologiya* [Hydrology], Moscow, Berlin, Direkt-media Publ., 2017, 753 p. (In Russian)

Mikhaylov V.N., Dobrovol'skiy A.D., Dobrolyubov S.A. *Gidrologiya: Ucheb. dlya vuzov* [Hydrology: textbook for universities], Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2007, 463 p. (In Russian)

Nesterenko V.P. Zakonomernosti formirovaniya klimaticheskikh izmeneniy i ikh prognoz na territorii Kryma [Regularities of the formation of climatic changes and their forecast for the territory of Crimea], *Nauchnyye vedomosti BelGU, Seriya: Yestestvennyye nauki*, 2016, p. 115–122. (In Russian)

Oliferov A.N., Timchenko Z.V. *Reki i ozera Kryma* [Rivers and lakes of Crimea], Simferopol', Dolya Publ., 2005, 216 p. (In Russian)

Ovcharuk V.A., Prokof'yev O.M., Todorova E.I. Osobennosti formirovaniya pavodkov teplogo perioda na rekakh Gornogo Kryma [Specific features of the formation of warm period floods on rivers of the Crimean Mountains], *Vísn. Kharkívs'kogo natsíonal'nogo unívesitetu ímení V.N. Karazína. Seríya: Geologíya. Geografíya. Yekologíya*, 2015, no. 42, p. 99–106. (In Russian)

Panagos P., Borelli P., Meusburger K., Yu B. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records, *Scientific Reports*, 2017, no. 7(1), p. 4175, DOI: 10.1038/s41598-017-04282-8.

Pavlov I.N. Reki Kryma: ruslovyye protsessy i ikh ekologicheskaya otsenka [Crimean rivers: channel processes and their ecological assessment], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 1994, no. 3, p.76–82. (In Russian)

Pozachenyuk Ye.A., Yergina Ye.I., Oliferov A.N., Mikhaylov V.A., Vlasova A.N., Kudryan' Ye.A., Penno M.V., Kalinchuk I.V. Analiz faktorov formirovaniya vodnykh resursov r. Salgir v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata [Analysis of the factors of formation of water resources of the Salgir River under changing climate], *Uchenyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo, Geografiya, Geologiya*, 2014, no. 2, vol. 27(66), p. 118–138. (In Russian)

Prokopov G.A. Ekosistemy rek Yuzhnogo berega Kryma. Ikh optimizatsiya i okhrana [Ecosystems of the rivers of the Southern coast of Crimea. Their optimization and protection], *Kul'tura narodov Prichernomor'ya*, 1999, no. 7, p. 9–13. (In Russian)

Regional'naya programma zashchity pochv Respubliki Krym ot vodnoy vetrovoy erozii i drugikh vidov degradatsii [Regional program of protecting soils of the Republic of Crimea from water wind erosion and other types of degradation], Akademiya Agrarnykh nauk, Institut zemleustroystva, Krymskiy filial, Simferopol', 1995, 230 p. (In Russian)

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, vol. 6: Ukraina i Moldaviya, iss. 4: Krym [Resources of surface waters of the USSR, vol. 6: Ukraine and Moldova, iss. 4: Crimea], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1966, 344 p. (In Russian)

Stashkina A.F. Pochvy vostochnogo regiona Krymskikh gor i ikh prigodnost' k vedeniyu agrarnogo i sadovo-parkovogo proizvodstva [Soils of the eastern region of the Crimean Mountains and their suitability for agricultural and gardening production], *Vísn. KHNAU, Seríya: Roslinnitstvo, selektsíya í nasínnitstvo, plodoovochívnitstvo*, 2012, no. 2, p. 116–127. (In Russian)

Tashilova A., Ashabokov B., Kesheva L., Teunova N.V. Analysis of climate change in the Caucasus region: end of the 20th – beginning of the 21st century, *Climate*, 2019, no. 7(11), DOI: cli7010011.

Tayanc M., Im U., Dogruel M., Karaca M. Climate change in Turkey for the last half century, *Climatic change*, 2009, no. 94, p. 483–502.

Vakhrushev B.A. Rayonirovaniye karsta Krymskogo poluostrova [Karst regionalization in the Crimean Peninsula], *Speleologiya i karstologiya*, 2009, no. 3, p. 39–46. (In Russian)

Voskresenskaya E., Vyshkvarkova E. Extreme precipitation over the Crimean peninsula, *Quaternary International*, 2016, vol. 409, part A, p. 75–80, DOI: 10.1016/j.quaint.2015.09.097.

Wischmeier W.H., Smith D.D. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*, USDA Agricultural handbook, no. 282, Washington, D.C., 1978, 67 p.

Yergina Ye.I., Zhuk V.O. Analiz proyavleniya opasnykh i stikhiynykh gidrometeorologicheskikh yavleniy v Krymu [Analysis of dangerous and hazardous hydrometeorological phenomena in Crimea], *Okruzhayushchaya sreda i chelovek*, 2016, p. 85–88. (In Russian)

Yergina Ye.I., Zhuk V.O. O roste opasnykh i stikhiynykh gidrometeorologicheskikh yavleniy na Krymskom poluostrove [To the growth of dangerous and hazardous hydrometeorological phenomena within the Crimean Peninsula], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region, Yestestvennyye nauki*, 2018, no. 1(197), p. 68–74. (In Russian)

Yergina Ye.I., Zhuk V.O. Vliyaniye sovremennykh tendentsiy klimata na sostoyaniye erozionno-opasnykh agrolandshaftov i otsenka pochvoobrazuyushchego potentsiala prirodnykh faktorov Kryma [Influence of the current climate trends on the state of erosion-hazardous agricultural landscapes and assessment of the soil-forming potential of natural factors in Crimea], *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 3(65), p. 175–178. (In Russian)

Yevstigneyev V.M. *Rechnoy stok i gidrologicheskiye raschety* [River runoff and hidrological calculations], Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta Publ., 1990, 304 p. (In Russian)

Web sources

Atlas respubliki Krym [Atlas of the Republic of Crimea], URL: https://педпрактика.рф/6-klass/geografiya-6-klass/atlas-respubliki-krym (access date 18.06.2020). (In Russian)

Climate change in the South Caucasus, URL: https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/02/Climate-change-South-Caucasus.pdf (access date 13.10.2020). (In Russian)

Federal'noye agentstvo vodnykh resursov AIS GMVO [Federal Agency for Water Resources AIS GMVO], URL: https://gmvo.skniivh.ru (access date 18.07.2020). (In Russian)

FGBU VNIIGMI-MCD, URL: https://meteo.ru (access date 01.10.2020).

KNMI Climate Explorer, URL: http://climexp.knmi.nl/start.cgi (access date 31.03.2020).

National centers for environmental information. National oceanic and atmospheric administration, URL: https://www.ncei.noaa.gov (access date 31.03.2020). (In Russian)

Pogoda i klimat [Weather and climate], URL: http://www.pogodaiklimat.ru (access date 29.08.2020). (In Russian)

Raspisaniye pogody [Weather schedule], URL: https://rp5.ru (access date 26.06.2020). (In Russian)

Received 28.10.2020
Revised 18.12.2020
Accepted 18.03.2021

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 51–62

УДК 911.3:711.432

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ГОРОДАХ И РАЙОНАХ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Н.А. Колдобская

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, мл. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: koldobskaya@gmail.com

Ставропольский край стабильно относится к категории регионов со средним уровнем антропогенного воздействия в рейтинге экологического состояния регионов России. Одним из факторов инвестиционной привлекательности края является в целом невысокий уровень антропогенного воздействия как по комплексному показателю, так и по большинству индикаторов экологической ситуации.

В статье приведен методический аппарат, позволяющий оценить экологическую ситуацию на уровне городов и районов Ставропольского края. В результате расчетов все города попадают в четыре категории – от благоприятной до неблагоприятной. Самая неблагоприятная экологическая ситуация в Невинномысске: он относится к переходной категории от удовлетворительной к неблагоприятной экологической ситуации. Там оказывается множественное воздействие на городскую среду промышленными предприятиями, в первую очередь «Невинномысским азотом» и ГРЭС.

Ставрополь относится к городам с удовлетворительной экологической ситуацией. Это связано как с повышенным уровнем загрязнения от автотранспорта (согласно официальным данным автомобильный транспорт является основным загрязнителем атмосферы в городе – на его долю приходится порядка 84%), так и с загрязнением от промышленных предприятий. К категории городов с нормальной экологической ситуацией относятся Нефтекумск и Буденновск. На данный момент серьезных экологических проблем в этих городах не выявлено, и антропогенное воздействие, помимо выбросов от автотранспорта, происходит за счет функционирования завода «Ставролен» в Буденновске и Нефтекумского газоперерабатывающего завода. В остальных городах Ставропольского края экологическая ситуация благоприятная, но нахождение в этой категории не означает полного отсутствия экологических проблем. В первую очередь, это также выбросы от автотранспорта в атмосферу, в том числе и в курортной зоне городов Кавказско-Минераловодской агломерации.

Среди районов края наиболее неблагоприятная экологическая ситуация наблюдается в Изобильненском, Шпаковском, Кочубеевском и Нефтекумском районах, благоприятная – в Апанасенковском и Левокумском.

Ключевые слова: загрязнение, выбросы в атмосферу, экологический рейтинг

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая ситуация становится все более значимым фактором регионального развития. Высокое качество среды может способствовать развитию туризма и рекреации, улучшению качества жизни населения. Экологическая ситуация может быть как преимуществом развития территории, так и служить определенной угрозой будущему. Для Ставропольского края, имеющего амбициозные проекты по развитию рекреационного комплекса, качество окружающей среды особенно важно.

Данное исследование было сделано автором в рамках разработки «Стратегии развития Ставропольского края и города-курорта Кисловодска до 2030 г.». Были проведены многочисленные экспертные беседы и полевые исследования, что способствовало не только сбору статического материала и проведению замеров концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и водных источниках, но и пониманию ключевых экологических и социально-экономических проблем в городах и районах Ставропольского края.

Поэтому цель исследования ставилась очень прикладная: создание экологического рейтинга районов и городов Ставропольского края для выявления ключевых экологических проблем.

Ставропольский край стабильно относится к категории регионов со средним уровнем антропогенного воздействия (*АВ*) в рейтинге экологического состояния [Битюкова, 2017]. Одним из благоприятствующих факторов развития края является в целом невысокий уровень АВ как по комплексному показателю, так и по субиндексам экологической ситуации на фоне большинства регионов России. Относительно высокие места край занимает по показателям аграрной нагрузки вследствие высокого агроклиматического потенциала и развития аграрного комплекса. Оно требует вовлечения большого количества земельных ресурсов и поддержания их в соответствующем качестве, благодаря чему Ставропольский край находится в первой десятке регионов по количеству пахотных площадей и внесению минеральных удобрений в пересчете на 100% пи-

тательных веществ и пестицидов. Определенные экологические проблемы края связаны с влиянием ЖКХ, поскольку среди регионов России у Ставропольского края положение выше среднего по стране по забору воды из природных источников, сбросу загрязненных сточных вод, наличию отходов на начало отчетного года, выбросам загрязняющих веществ от автотранспорта. Кроме того, специфика формирования экологической ситуации в крае во многом определяется конфликтом функций, особенно в агломерации Кавказских Минеральных Вод – наличием ООПТ, увеличением потока туристов и функционированием промышленных предприятий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экологическая ситуация (агрегируя наиболее признанные определения на современном этапе) – пространственно-временное сочетание различных, в том числе позитивных и негативных с точки зрения проживания и состояния человека, условий и факторов, создающих определенное локальное или региональное улучшение или ухудшение окружающей среды (воздуха, вод, почв), как правило, применяется к антропогенным, а не природным явлениям [Кочуров, 1997].

Экологическим проблемам Ставропольского края в научной литературе уделено много внимания в различных исследованиях, но они либо имеют описательный характер [Шальнев и др., 2017; Проблемы экологической…, 2014; Ставропольский край…, 2015], либо очень узкоспециализированный [Блохин, Блохина, 2011; Дзыбов и др., 2017; Смагин и др., 2020].

Одним из актуальных методов региональных исследований является рейтинг – расположение регионов, городов, объектов хозяйственной деятельности в иерархическом порядке на основе статистических и иных данных независимых источников, что позволяет принять решение в пользу того или иного объекта и дать рекомендации по улучшению его положения (ранга). Социально-экологические рейтинги территорий (как правило, стран и регионов, в меньшей степени городов), отраслей экономики, отдельных компаний, предприятий все чаще используются для целей контроля и управления в интересах сбалансированного развития.

Рейтинг – это одновременно и метод научного анализа, и способ представления результатов исследований в форме, понятной не только для научного сообщества, но и для более широкого круга лиц, заинтересованных в получении независимых, наглядных и применимых на практике результатов для принятия решений. Поэтому рейтинг привлекает гораздо большее внимание к любой информации (что особенно важно для экологической ситуации, долгое время недооцененной в России).

Сейчас официальные рейтинги по интегральным показателям имеют практически все крупнейшие международные организации (ООН, Всемирный банк, Организация экономического сотрудничества и развития, европейские сообщества и др.) и большинство развитых стран [Green Growth Strategy…, 2010].

В докладе Европейского экологического агентства широко используются индикаторы для анализа и прогноза экологической ситуации в Европе [Green Growth Strategy…, 2010]. В России в этой области действует значительное количество независимых, коммерческих и научных организаций, которые представляют и используют альтернативные решения и услуги по составлению рейтингов, в том числе ИАА «РБК-рейтинг», «Эксперт-РА», АНО «НЭРА», ИА «Интерфакс» и др. [Рейтинг…, 2019].

Качество рейтингов зависит от обоснованности методологии расчета и достоверности исходной информации. Этим они отличаются от рэнкингов, которые строятся на основе одного количественного показателя и не предусматривают сложных расчетов. Это исключает влияние субъективных факторов, но не дает возможности одновременной оценки объекта по нескольким параметрам. Тем не менее рэнкинги имеют высокую прикладную значимость, так как позволяют более четко выявить ключевые проблемы и ведут к принятию конкретных воздухо-, водоохранных и других решений. Рейтинги менее объективны, поскольку в определение методики расчета комплексного показателя всегда включают человеческий фактор, но большим преимуществом рейтинга является возможность интегрированного подхода к ранжированию. Однако следует отметить, что экологические рейтинги не описывают экологическую ситуацию полностью и могут служить лишь одним из аспектов ее оценки, дополняясь анализом изменений среды и их последствиями.

Цель рейтинга – разработка комплекса инструментов независимой оценки экологической ситуации для эффективного информирования и создания условий мотивации улучшения экологической среды в регионах. Методика комплексной оценки основывается на учете статистически значимых характеристик *AB*.

Первый шаг – обоснование выбора приоритетных компонентов. Антропогенное воздействие по своей сути многоаспектно, не имеет общепризнанной формализованной структуры и пригодного для любых сопоставлений набора индикаторов. Поэтому выделение приоритетных критериев неизбежно имеет субъективный характер. Наиболее полный перечень компонентов *AB*, используемых в между-

народных и национальных оценках, включает следующие виды, объединенные в шесть субиндексов воздействия: *A* – на атмосферу; *B* – на водные ресурсы; *C* – на земельные ресурсы; *D* – аграрного комплекса; *E* – на лесные ресурсы; *F* – радиационного.

Второй шаг – отбор показателей по каждому виду *AB*, перечень которых должен быть не столько полным, сколько оптимальным, отвечающим принципам системности, релевантности, репрезентативности, достоверности, методической корректности. Для рейтинга использовались только открытые официальные статистические данные, публикуемые федеральными структурами, что позволяет избежать дискуссионных показателей, для расчета которых требуются специальные исследования. В этом есть как свои недостатки, связанные с несовершенством статистической информации, так и несомненные достоинства, позволяющие сравнивать регионы на основе единой статистической методологии, строить динамику показателей, без дополнительных затрат обновлять индекс и т. д.

Для каждого вида *AB* использовались абсолютные показатели для расчета индекса *масштаба антропогенного воздействия* (МАВ) и относительные (плотностные) для индекса *интенсивности антропогенного воздействия* (ИАВ), указанные в скобках [Битюкова, Сафронов, 2016]:

A_1 – объем выбросов от всех источников (плотность в расчете на площадь городов, дорог и промышленности); A_2 – индекс токсичности, рассчитанный как отношение приведенного к единичной токсичности выброса к валовому [Охрана…, 2018];

B_1 – объем водопотребления от всех источников (доля от ресурсов речного стока); B_2 – объем загрязненных сточных вод (на единицу ресурсов речного стока); B_3 – доля загрязненных сточных вод [Природные ресурсы…, 2001; Водные ресурсы…, 2006; База…, 2020];

C_1 – площадь нарушенных земель (доля от площади региона); C_2 – объем отходов производства и потребления (плотность в расчете на площадь промышленных, складских и других специальных земель [База данных Росреестра…, 2019; Государственный…, 2017]); C_3 – наличие отходов на начало отчетного года (объем образования отходов производства и потребления в расчете на одного человека);

D_1 – площадь сельскохозяйственных угодий, тыс. га (доля от площади региона); D_2 – площадь пашни, тыс. га (доля от площади сельхозугодий) [База данных Росприроднадзора…, 2019]; D_3 – поголовье (плотность) скота, тыс. условных голов (без птицы); D_4 – минеральные удобрения в пересчете на 100% питательных веществ, тыс. т (в расчете на га пашни); D_5 – органические удобрения, тыс. т (в расчете на га пашни) [Центральная…, 2019; Государственный доклад…, 2019; Единая…, 2020]; D_6 – площадь мелиорированных земель, тыс. га (доля от площади пашни); D_7 – объем (плотность) внесения пестицидов в открытом грунте;

E_1 – площадь (доля) погибших лесов и гарей; E_2 – объем заготовленной древесины (доля от общего запаса древесины на корню); E_3 – объем (доля) нелегальных рубок;

F_1 – численность (доля) жителей в зонах радиоактивного загрязнения; F_2 – плотность загрязнения местности ^{137}Cs, значения мощности экспозиционной дозы; F_3, F_4, F_5 – объемные активности (относительно средних по географическим районам РФ) соответственно Σβ, ^{137}Cs, ^{90}Sr в приземном слое атмосферы; F_6 – площадь (доля) загрязненных радионуклидами территорий предприятий Минатома; F_7 – сбросы радионуклидов с дебалансными водами на АЭС (доля от допустимых сбросов); F_8 и F_9 – среднесуточные газоаэрозольные выбросы предприятий Минатома радионуклидов в атмосферу соответственно ^{90}Sr,^{137}Cs (превышение допустимых уровней) [Радиационная обстановка на территории России, 2018].

Третий шаг – перевод матрицы исходных значений показателей *AB* в нормированные методом линейного масштабирования, где частные индексы рассчитываются по следующей формуле:

$$X = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}. \qquad (1)$$

Здесь X_i – значение показателя в *i*-м регионе; $X_{\min}$ – минимальное значение для регионов России; $X_{\max}$ – максимальное значение для регионов России.

Индекс для показателей, по которым максимальное значение превышает минимальное в тысячи раз (B_1, B_2, C_1, C_2, C_3, E_2, E_3), рассчитывается с использованием десятичных логарифмов соответствующего показателя для снятия чрезмерных межрегиональных различий [Битюкова, 2017].

Заключительный шаг – агрегирование нормированных частных показателей проводилось по формуле

$$AB = \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) + \left(\frac{B_1 + B_2 + B_3}{3}\right) + \left(\frac{C_1 + C_2 + C_3}{3}\right) + \left(\frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 + D_7}{7}\right) + \left(\frac{E_1 + E_2 + E_3}{3}\right) + \left(\frac{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5}{5}\right). \qquad (2)$$

Для оценки скорости трансформации экологической ситуации была разработана методика интегральной оценки экологической ситуации городов

[Колдобская, 2012]. Особенность данной методики заключается в том, что она:

– основана на международных подходах и сопоставлениях;

– основана на наборе показателей, идентичных для всех национальных систем статистики, сопоставимых между собой, что обеспечивает достоверность результатов;

– учитывает количество населения (взрослого и детского), подверженного негативному воздействию;

– ориентирована на оценку динамики интегрального индекса и трансформацию его структуры, отражающей специфику экологической ситуации в каждом конкретном городе.

При расчете интегральных индексов и составлении рейтинга десять параметров были объединены в пять категорий, учитывающих специфику воздействия. Для всех параметров была разработана балльная шкала оценки в зависимости от их числовых значений и, соответственно, разной степени влияния и последствий на окружающую среду городов. Общий показатель загрязнения (X) учитывал все рассмотренные категории и рассчитывался по формуле

$$X = \left[A_1 \cdot A_2\right] + \left[B_1 + B_2\right] + \left[\left(C_1 \cdot C_2\right) + C_3\right] + D, \quad (3)$$

параметры которой расшифрованы в табл. 1 [Колдобская, 2013].

Баллы отдельных категории суммируются, поскольку необходимо учесть комплексное воздействие всех групп индикаторов, а внутри категорий баллы перемножаются, так как важно синергетическое воздействие параметров каждой категории, которые дополняют друг друга. В результате расчетов исследуемые города разделяются на несколько относительных уровней экологической ситуации.

Таблица 1

Основные индикаторы оценки экологической ситуации городов

Подкатегория	Описание	Индикаторы	Баллы
Категория А – специфика загрязнителей атмосферы			
A_1	Токсичность по 3 группам загрязняющих веществ		
A_1–A	Токсины, которые не оцениваются как сильные или систематические, например, такие органические соединения, как толуол или ксилол	Доля машиностроения и химии более 20% в объеме произведенной продукции	1
A_1–B	Потенциальные канцерогены или вещества с некоторой системной токсичностью, такие как летучие органические соединения (ЛОС), полициклические ароматические углеводороды, полихлорированные бифинилы и гетерогенные загрязнители в воздухе и в воде (например, смог)	Выбросы в атмосферу данных веществ:	
		– более 20 тыс. т	2
		– 10–20 тыс. т	1
		– 5–10 тыс. т	0,5
		– менее 5 тыс. т	0
A_1–C	Доказанные канцерогены или химикаты со значительной токсичностью, например винилхлорид, бензол, свинец, радионуклиды, соединения 6-валентного хрома, кадмий, фосфорсодержащие пестициды	Расчет этого показателя производился при рассмотрении таких показателей, как радиация в городе и выпуск следующих видов продукции:	
		– синтетические смолы и пластмассы, химические волокна и нити	1
		– синтетические каучуки, лакокрасочные материалы	2
		– первичная переработка нефти	3
Из всех подиндексов категории A_1 выбирался тот, который имеет наибольший балл			
A_2	Мощность источника загрязнения	Выбросы в атмосферу от стационарных и передвижных источников:	
		– менее 50 тыс. т	1
		– 50–100 тыс. т	1,5
		– более 100 тыс. т	2
Общий субиндекс A рассчитывался по формуле $A = A_1 \cdot A_2$			

Продолжение таблицы 1

Подкатегория	Описание	Индикаторы	Баллы
Категория B – механизмы воздействия			
B_1	Единичный или множественный механизм воздействия	Рассматривается совокупность выбросов загрязняющих веществ и стоков неочищенной воды:	
		– выбросы более 50 тыс. т, а сток более 100 млн м^3	2
		– выбросы менее 50 тыс. т, стоки менее 100 млн м^3	1
B_2	Достоверное доказательство воздействия на здоровье	Учитывается население, обратившееся с жалобами на состояние здоровья, связанное с негативной экологической ситуацией (в % от обратившихся к врачу) – 1 балл, если показатель более 50%	1
Общий субиндекс B считался по формуле $B = B_1+B_2$			
Категория C – характеризует населения города, как реципиента воздействия			
C_1	Количество людей, потенциально находящихся в зоне загрязнения	Количество жителей в городе:	
		– менее 100 тыс. чел.	1
		– от 100 тыс. до 1 млн чел.	2
		– более 1 млн чел.	3
C_2	Уровень воздействия	Если в городе есть:	
		– легкая, пищевая промышленность, машиностроение	1
		– ЦБК, производство строительных материалов	1,5
		– химия, черная и цветная металлургия; автопарк сильно устарел и привносит в город большой объем загрязняющих веществ	2
C_3	Число детей в зоне загрязнения	В городах-миллионерах этому показателю присваивается балл 0, потому что из-за особенностей планировочной структуры промышленные зоны в них обособлены, в то время как в меньших городах не всегда есть санитарно-защитные зоны и промышленные зоны часто не отделены от селитебных, рекреационных и др.	1
Общий субиндекс C считался по формуле $C = C_1 \cdot C_2+C_3$			
Категория D – другие загрязняющие элементы или специфические виды воздействия			
Эта категория дает возможность вставить так называемый «плавающий признак» или в данном контексте – уникальные черты, не присущие другим рассматриваемым городам		Наличие «плавающего признака»	1
		Отсутствие «плавающих признаков», таких как климатические особенности, особенности географического положения	0

Примечание: таблица сделана автором по [Колдобская, 2012].

Изначально методика была разработана организацией Блэксмит Институт (сейчас – Pure Earth) [The Blacksmith Institute…, 2009], которая составляет рейтинги самых грязных мировых городов и с 1999 г. занимается выявлением и разработкой мер для решения экологических проблем во многих городах мира. Но в силу специфики формирования и индикатирования экологической ситуации как в России, так и в других постсоветских странах, был разработан комплекс других индикаторов, соответствующих статистической базе по исследуемым городам [Колдобская, 2012].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После апробирования автором методики на столицах постсоветских стран и городах России с численностью населения более 100 тыс. человек, а также на городах Московской области методика была применена для составления рейтинга городов Ставропольского края.

Для городов России можно выделить шесть категорий по степени благоприятности экологической ситуации:

– *категория 1* (13,5–15 баллов) – крайне неблагоприятная экологическая ситуация. В этих городах все показатели играют важную роль. Все эти города – крупные промышленные центры;

– *категория 2* (11,5–13,5 балла) – неблагоприятная экологическая ситуация;

– *категория 3* (9,5–11,5 балла) – переходная категория (между удовлетворительной и неблагоприятной экологической ситуацией). К категориям 2 и 3 относятся города со значительной долей практически всех показателей (в каждом из них минимальный балл только у какого-либо одного показателя);

– *категория 4* (7,5–9,5 балла) – удовлетворительная экологическая ситуация. В эту категорию попадают города, в которых, помимо достаточно высоких показателей A, большое значение имеют показатели B_1 (совокупное влияние загрязненных стоков и загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу) и C_2 – уровень воздействия от промышленных предприятий разных отраслей;

– *категория 5* (6,0–7,5 балла) – нормальная экологическая ситуация. К этой категории в основном относятся города, у которых повышенная роль показателей A_1 (токсичность) и A_2 (выбросы загрязняющих веществ в атмосферу);

– *категория 6* (менее 6 баллов) – благоприятная экологическая ситуация. К этой категории относятся города, где все 10 показателей незначительны.

В результате расчетов все города Ставропольского края попадают в 3–6 категории в зависимости от экологической ситуации.

Самая неблагоприятная экологическая ситуация из городов Ставропольского края наблюдается в городе Невинномысске. Он относится к категории 3, *переходной от удовлетворительной к неблагоприятной экологической ситуации*. В городе оказывается множественное воздействие на среду промышленными предприятиями, в первую очередь «Невинномысским азотом» и ГРЭС.

Таблица 2

Распределение баллов по индикаторам и расчет комплексного индекса экологической ситуации по городам Ставропольского края

Город	A_1–A	A_1–B	A_1–C	A_1	A_2	B_1	B_2	C_1	C_2	C_2	D	Индекс
Невинномысск	1	2	3	2	1	2	1	2	2	1	0	10
Ставрополь	1	2	2	2	1	1	0	2	2	1	1	9
Нефтекумск	1	2	3	2	1	1	0	1	2	1	0	6
Изобильный	0	0,5	0	0,16	1	2	0	1	2	1	0,5	5,66
Буденновск	1	1	2	1,5	1	1	0	1	2	1	0	5,5
Лермонтов	1	0	0	0,33	1	1	0	1	2	1	1	5,33
Пятигорск	0	1	0	0,33	1	1	0	2	1,5	1	0	5,33
Георгиевск	1	1	1	1	1	1	0	1	2	1	0	5
Ессентуки	0	0,5	0	0,16	1	1	0	2	1	1	0	4,16
Благодарный	0	0,5	0	0,16	1	1	0	1	1,5	1	0	3,66
Зеленокумск	0	0	0	0	1	1	0	1	1,5	1	0	3,5
Ипатово	0	0	0	0	1	1	0	1	1,5	1	0	3,5
Михайловск	0	0	0	0	1	1	0	1	1,5	1	0	3,5
Новоалександровск	0	0	0	0	1	1	0	1	1,5	1	0	3,5
Светлоград	0	0,5	0	0,16	1	1	0	1	1	1	0	3,16
Новопавловск	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	3
Минеральные Воды	0	1	0	0,33	1	1	0	1	0	1	0	2,33
Кисловодск	0	0,5	0	0,16	1	1	0	2	0	1	0	2,16
Железноводск	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	2

Ставрополь относится к городам с *удовлетворительной экологической ситуацией* (категория 4). Это связано как с повышенным уровнем загрязнения от автотранспорта (согласно официальным данным, автомобильный транспорт является основным загрязнителем атмосферы в городе – на его долю приходится порядка 84%), так и с загрязнением от промышленных предприятий: ЗАО НПФ «Люминофор», ЗАО «Ставропольский бройлер» (филиал «Ставропольский»), ОАО «Стапри», ОАО «Ставропольмебель», ОАО «Сигнал». Также экологическая ситуация во многом определяется состоянием водных объектов города. Комсомольский пруд, единственный расположенный в черте города, регулярно загрязняется промышленными стоками и бытовыми отходами, при этом он используется для рекреационных нужд. Река Ташла, протекающая через город, уже в течение нескольких десятилетий загрязняется твердыми коммунальными (ТКО) и промышленными отходами.

К категории городов с *нормальной экологической ситуацией* (категория 5) относятся города Нефтекумск и Буденновск. На данный момент серьезных экологических проблем в этих городах не выявлено, и антропогенное воздействие, помимо выбросов автотранспорта, происходит за счет функционирования завода «Ставролен» в Буденновске и Нефтекумский газоперерабатывающий завод. Но стоит отметить экологические проблемы за пределами границы города Нефтекумска (поселок Заречный), где в 2018 г. было несколько прорывов нефтепроводов (из-за изношенности) и в результате самого крупного прорыва нефтепровода «Роснефти» было затоплено три гектара пастбищных земель.

Остальные города Ставропольского края относятся к категории 6 (*благоприятная экологическая ситуация*). Нахождение в этой категории не означает полное отсутствие экологических проблем. Это также выбросы от автотранспорта в атмосферу (в том числе и в курортной зоне городов Кавказско-Минераловодской агломерации), утилизация твердых коммунальных отходов, проблемы с бытовыми канализационными стоками. Иногда это так называемые «плавающие признаки» (т. е. признаки, характерные не для всех рассматриваемых городов, но вносящие существенный вклад в формирование экологической ситуации), которые также учитывались при расчете индикаторов и составлении рейтинга. Например, для города Лермонтова это урановое хвостохранилище гидрометаллургического завода.

Города являются «полюсами» антропогенного воздействия и не отражают ситуацию на всей территории края. Поэтому представляется актуальным также рассмотреть экологическую обстановку в районах Ставропольского края.

Анализ отдельных экологических индикаторов в районах Ставропольского края и выявление ключевых экологических проблем.

По вкладу в субиндексы, описанные выше, лидируют районы (по три района), где показатель наиболее велик (рис. 1, табл. 3).

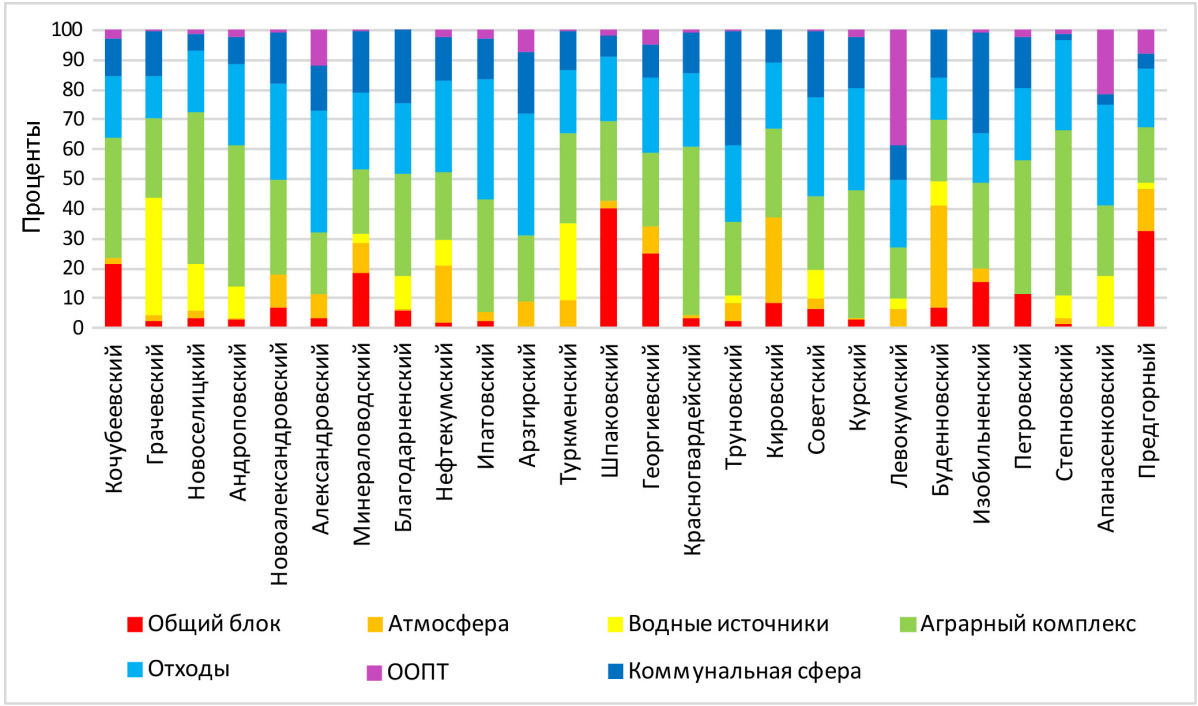


Рис. 1. Вклад субиндексов в общий индекс по районам Ставропольского края

Fig. 1. Contribution of sub-indices to the General index for the Stavropol Krai districts

Таблица 3

Распределение районов по вкладу в субиндексы

Субиндекс	Три района, преобладающие по вкладу в субиндекс
Общий блок	Предгорный, Шпаковский, Минераловодский
Атмосфера	Нефтекумский, Изобильненский, Благодарненский
Водные источники	Изобильненский, Минераловодский, Туркменский
Аграрный комплекс	Минераловодский, Шпаковский, Степновский
Отходы	Буденновский, Предгорный, Степновский
Коммунальная сфера	Ипатовский, Кочубеевский, Новоселицкий
ООПТ (показатель с наименьшей площадью ООПТ)	Кировский, Буденновский, Благодарненский

В зависимости от индекса антропогенного воздействия районы Ставропольского края можно разделить по уровню благоприятности экологической ситуации по следующим градациям: более 2 баллов – неблагоприятная, 1,5–2 балла – удовлетворительная, 0,5–1,5 балла – нормальная, менее 0,5 балла – благоприятная. Общий рейтинг районов по индексу антропогенного воздействия приведен в табл. 4.

Таблица 4

Рейтинг районов Ставропольского края по индексу антропогенного воздействия

Район	ИАВ	Экологическая ситуация
Кочубеевский	2,41	неблагоприятная
Изобильненский	2,32	неблагоприятная
Нефтекумский	2,17	неблагоприятная
Минераловодский	2,16	неблагоприятная
Шпаковский	2,15	неблагоприятная
Андроповский	1,80	удовлетворительная
Предгорный	1,75	удовлетворительная
Петровский	1,74	удовлетворительная
Буденновский	1,64	удовлетворительная
Георгиевский	1,63	удовлетворительная
Новоалександровский	1,54	удовлетворительная
Благодарненский	1,41	нормальная
Ипатовский	1,29	нормальная
Туркменский	1,23	нормальная
Грачевский	1,17	нормальная
Красногвардейский	1,13	нормальная
Курский	0,98	нормальная
Советский	0,98	нормальная
Труновский	0,97	нормальная
Александровский	0,86	нормальная
Кировский	0,81	нормальная
Арзгирский	0,78	нормальная
Новоселицкий	0,71	нормальная
Степновский	0,60	нормальная
Апанасенковский	0,43	благоприятная
Левокумский	0,13	благоприятная

Таким образом, результаты обобщения полученных данных по уровню антропогенного воздействия в городах и районах Ставропольского края можно видеть на карте-схеме (рис. 2).

Наиболее неблагоприятная экологическая ситуация в Изобильненском, Шпаковском, Кочубеевском и Нефтекумском районах, благоприятная – в Апанасенковском и Левокумском районах.

Рис. 2. Экологическая ситуация в городах и районах Ставропольского края

Fig. 2. Environmental situation in cities and districts of the Stavropol Krai

ВЫВОДЫ

Результаты расчетов и полученная типология городов и регионов Ставропольского края не претендуют на стопроцентную объективность, однако позволяют выявить ключевые проблемы для принятия первоочередных и долгосрочных мер региональной экологической политики, как и было поставлено в цели исследования. Переход городов и районов из категории с благоприятной экологической ситуацией в категории с неблагоприятной и удовлетворительной экологической ситуацией, к сожалению, более реалистичен, нежели наоборот. Тем не менее реализация благоприятного сценария и снижение описанных выше рисков возможны, если проводить мониторинг экологической ситуации и рассматривать рейтинг в динамике и, самое главное, решать проблему комплексно.

В сфере охраны атмосферного воздуха – уменьшить объем выбросов от стационарных и передвижных источников путем модернизации промышленных предприятий и введения ограничений на въезд автомобилей с двигателем внутреннего сгорания в курортную зону Кавказских Минеральных Вод, регламентировать застройку внутри первой и второй горно-санитарных зон ООП.

В сфере водоохраны необходимы финансовые ресурсы для модернизации очистных сооружений, а также создание и поддержание в строгом режиме водоохранных зон для уменьшения объема загрязненных стоков и улучшения качества воды.

Для улучшения экологической ситуации в районах края необходимо решать проблемы, касающиеся деградации сельскохозяйственных земель, в первую очередь путем снижения нагрузки на паст-

бища и недопущения уплотнения почвенного покрова, возобновления лесозащитных полос. В сфере обращения с ТКО – рекультивировать старые свалки и полигоны, модернизировать Пятигорский мусоросжигательный завод и наладить экологичные способы утилизации мусора, в том числе посредством более эффективной работы региональных операторов.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Битюкова В.Р. Экологическая ситуация в регионах России в 2016 г.: рейтинговый метод оценки // Экология и промышленность России. 2017. № 12. С. 4–11.

Битюкова В.Р., Сафронов С.Г. Методы оценки территориальной дифференциации экологической ситуации в городах и регионах России // Экология и промышленность России. 2014. № 3. С. 48–53.

Блохин Н.Ф., Блохина Т.И. Водные ресурсы Ставрополья. Ставрополь: Ставрополь-крайводхоз, 2011. 288 с.

Водные ресурсы Российской Федерации: статистический сборник / под ред. Н.Г. Рыбальского. М.: НИА-Природа, 2006. 176 с.

Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2018 г. М.: Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2017. 198 с.

Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 2018 г. М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2019. 473 с.

Дзыбов Д.С., Лысенко Н.Г., Дармилов Р.А. О переводе в статус ботанического заказника интразонального леса в сухостепной зоне Ставрополья // Экологический вестник Северного Кавказа. 2017. № 4. С. 56–64.

Колдобская Н.А. Методические подходы к оценке антропогенного воздействия на урбанизированные территории на примере Московской области // Экология и промышленность России. 2013. № 11. С. 28–33.

Колдобская Н.А. Оценка экологического состояния крупных городов России с помощью международных индексов // Региональные исследования. 2012. № 1(35). С. 34–40.

Кочуров Б.И. География экологических ситуаций. М.: ИГ РАН, 1997. 132 с.

Природные ресурсы и окружающая среда России (Аналитический доклад) / А.Д. Думнов, Н.Г. Рыбальский, Е.Д. Самотесов, Ю.И. Максимов и др.; под ред. Б.А. Яцкевича, В.А. Пака, Н.Г. Рыбальского. М.: НИА-Природа, РЭФИА, 2001. 572 с.

Проблемы экологической безопасности и сохранения природно-ресурсного потенциала: сб. материалов IX науч.-практ. конференции с междунар. участием. Ставрополь, 2014. 158 с.

Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2019 году: информационный бюллетень / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Росгидромет. М., 2019. 324 с.

Смагин Р.Е., Опекунов А.Ю., Супруненко В.Л. Проблемы сохранения природных лечебных ресурсов Кавказских Минеральных Вод // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2020. № 2. С. 64–71.

Ставропольский край. Водные ресурсы / авт.-сост. К.В. Харин, Л.Г. Ерицян. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2015. 127 с.

Шальнев В.А., Каторгин И.Ю., Кизилова А.Е. Стрижамент. Уникальный природный комплекс Ставрополья. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2017. 102 с.

Green Growth Strategy Interim Report: Implementing Our Commitment for a Sustainable Future, Paris, OECD, 2010, 283 p.

Электронные ресурсы

База данных Росприроднадзора. Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. URL: http://rpn.gov.ru/opendata (дата обращения 18.06.2020).

База данных Росреестра. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. URL: https://rosreestr.ru/site/ (дата обращения 18.06.2020).

База данных Федерального агентства водных ресурсов. URL: http://voda.mnr.gov.ru/ (дата обращения 18.06.2020).

Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: https://www.fedstat.ru/indicator/37850 (дата обращения 26.07.2020).

Охрана окружающей среды в России // Статистический сборник. Росстат, 2018. URL: http://www.gks.ru (дата обращения 12.06.2020).

Рейтинг устойчивого развития городов России. 2019. SGM (Sustainable Growth Management Agency), Рейтинговое Агентство. URL: http://agencysgm.com (дата обращения 26.07.2020).

Центральная база статистических данных Росстата. Федеральная служба государственной статистики. 2019. URL: http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd (дата обращения 22.07.2020).

The Blacksmith Institute, URL: http://www.blacksmithinstitute.org/ten.php (дата обращения 27.10.2009).

Поступила в редакцию 05.11.2020
После доработки 10.02.2021
Принята к публикации 18.03.2021

ENVIRONMENTAL SITUATION IN CITIES AND DISTRICTS OF THE STAVROPOL KRAI

N. A. Koldobskaya

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, Junior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: koldobskaya@gmail.com

According to the rating of the ecological state of Russian regions the Stavropol Krai belongs to the category with an average level of anthropogenic impact. Generally low level of anthropogenic impact, both in terms of the complex indicator and most indicators of the environmental situation, is a factor of investment attractiveness of the region.

The article presents a methodological apparatus that allows the assessment of the environmental situation at the level of cities and districts of the Stavropol Krai. As a result of calculations, all cities of the region fall into four categories, from favorable to unfavorable environmental situation. The most unfavorable environmental situation is in the town of Nevinnomyssk: it belongs to the transition category from satisfactory to unfavorable environmental situation. The reason is a multiple impact on the urban environment by industrial enterprises, primarily by the Nevinnomyssky Azot plant and the state district power station.

Stavropol is among the cities with satisfactory environmental situation. This is due to both the increased level of pollution from vehicles and pollution from industrial enterprises. According to official data, road transport is the main source (about 84%) of air pollution in the city. The cities of Neftekumsk and Budennovsk belong to the category with normal environmental situation. At present no serious environmental problems could be identified in these cities. In addition to emissions from vehicles, the anthropogenic impact is caused by the functioning of the Stavrolen plant in Budennovsk and the Neftekumsk gas processing plant. Other cities of the Stavropol Krai belong to the category with favorable environmental situation; however this does not mean a complete absence of environmental problems. Emissions from vehicles into the atmosphere are the most actual problem, including the resort area of the cities of the Caucasian-Mineralovodsk agglomeration.

Among the districts of the region, the most unfavorable ecological situation is in Izobilnensky, Shpakovsky, Kochubeevsky and Neftekumsky districts, and favorable in Apanasenkovsky and Levokumsky districts.

Keywords: pollution, atmospheric emissions, environmental rating

Acknowledgements. The research was performed under the Program of Development of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of the Lomonosov Moscow State University “Future of the Planet and Global Environmental Change”

REFERENCES

Bityukova V.R. Ekologicheskaya situatsiya v regionakh Rossii v 2016 g.: reytingovyy metod otsenki [The ecological situation in the regions of Russia in 2016, the rating evaluation method], *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2017, no. 12, p. 4–11. (In Russian)

Bityukova V.R., Safronov S.G. Metody ocenki territorial’noj differenciacii ekologicheskoj situacii v gorodah i regionah Rossii [Methods for assessing the territorial differentiation of the ecological situation in cities and regions of Russia], *Ekologiya i promyshlennost’ Rossii*, 2014, no. 3, p. 48–53. (In Russian)

Blohin N.F., Blohina T.I. *Vodnye resursy Stavropol’ya* [Water resources of the Stavropol region], Stavropol’, Stavropol’krajvodhoz Publ., 2011, 288 p. (in Russian)

Dzybov D.S., Lysenko N.G., Darmilov R.A. O perevode v status botanicheskogo zakaznika intrazonal’nogo lesa v suhostepnoj zone Stavropol’ya [About transfer of the intrazonal forest in the dry-steppe zone of the Stavropol region to the Botanical Reserve status], *Ekologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza*, 2017, no. 4, p. 56–64. (In Russian)

Gosudarstvennyy (natsionalnyy) doklad o sostoyanii i ispolzovanii zemel v Rossiyskoy Federatsii v 2018 g. [State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2018], Moscow, Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy registratsii, kadastra i kartografii, 2017. (In Russian)

Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey prirodnoy sredy Rossiyskoy Federatsii v 2018 g. [State report on the state of the natural environment of the Russian Federation in 2018], Moscow, Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii RF, 2019, 473 p. (In Russian)

Green Growth Strategy Interim Report: Implementing Our Commitment for a Sustainable Future, Paris, OECD, 2010, 283 p.

Kochurov B.I. *Geografiya ekologicheskikh situatsij* [Geography of environmental situations], Moscow, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 1997, 132 p. (In Russian)

Koldobskaya N.A. Metodicheskiye podkhody k otsenke antropogennogo vozdeystviya na urbanizirovannye territorii na primere Moskovskoy oblasti [Methodological approaches to the assessment of anthropogenic impact on urbanized areas (case study of the Moscow region)], *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 2013, no. 11, p. 28–33. (In Russian)

Koldobskaya N.A. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya krupnykh gorodov Rossii s pomoshch’yu mezhdunarodnykh indeksov [Assessment of environmental status of

large cities Russia with international index], *Regional'nye issledovaniya,* 2012, no. 1(35), p. 34–40. (In Russian)

Prirodnye resursy i okruzhayushchaya sreda Rossii (Analiticheskii doklad) [Natural resources and the environment of Russia (Analytical report)], A.D. Dumnov, N.G. Rybalsky, E.D. Samotesov, Yu.I. Maksimov et al., B.A. Yatskevich, V.A. Pak, N.G. Rybalsky (eds.), Moscow, NIA-Priroda, REFIA Publ., 2001, 572 p. (In Russian)

Problemy ekologicheskoj bezopasnosti i sohraneniya prirodno-resursnogo potenciala [Problems of environmental safety and conservation of natural resource potential], Sb. materialov IX nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Stavropol', 2014, 158 p. (In Russian)

Radiatsionnaya obstanovka na territorii Rossii i sopredelnykh gosudarstv v 2019 godu, informatsionnii bulleten [Radiation situation in Russia and neighboring countries in 2019, Information bulletin], Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Roshydromet, Moscow, 2019, 324 p. (In Russian)

Shalnev V.A., Katorgin I.Yu., Kizilova A.E. *Strizhament. Unikal'nyj prirodnyj kompleks Stavropol'ya* [Strizhament. Unique natural complex of the Stavropol region], Stavropol', SKFU Publ., 2017, 102 p. (In Russian)

Smagin R.E., Opekunov A.Yu., Suprunenko V.L. Problemy sohraneniya prirodnyh lechebnyh resursov Kavkazskih Mineral'nyh Vod [Problems of conservation of natural healing resources of the Caucasian Mineral Waters], *Ekologicheskij Vestnik Severnogo Kavkaza,* 2020, no. 2, p. 64–71. (In Russian)

Stavropol'skij kraj. Vodnye resursy [Stavropol Krai. Water resources], K.V. Harin, L.G. Ericyan, Stavropol', SKFU Publ., 2015, 127 p. (in Russian)

Vodnye resursy Rossiiskoi Federatsii [Water resources of the Russian Federation], N.G. Rybalsky (ed.), Moscow, NIA-Priroda Publ., 2006, 176 p. (In Russian)

Web sources

Baza dannykh Rosprirodnadzora [Database of Rosprirodnadzor], Federalnaya sluzhba po nadzoru v sfere prirodopolzovaniya, URL: http://rpn.gov.ru/opendata (access date 18.06.2020). (In Russian)

Baza dannykh Rosreyestra [Database of Rosreestr], Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy registratsii. kadastra i kartografii, URL: https://rosreestr.ru/site/ (access date 18.06.2020). (In Russian)

Baza dannykh Federalnogo agentstva vodnykh resursov [Database of the Federal water resources Agency], URL: http://voda.mnr.gov.ru/ (access date 18.06.2020). (In Russian)

Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statistricheskaya sistema (EMISS) [Unified interdepartmental information and statistical system], URL: https://www.fedstat.ru/indicator/37850/ (access date 26.07.2020). (In Russian)

Okhrana okruzhayushchey sredy v Rossii [Environmental protection in Russia], Statisticheskiy sbornik, Rosstat, 2018, URL: http://www.gks.ru (access date 12.06.2020). (In Russian)

Reyting ustoychivogo razvitiya gorodov Rossii [Rating of sustainable development of Russian cities]. 2019. OOO "Agentstvo ES DZhI EM" Sustainable Growth Management Agency, URL: http://agencysgm.com (access date 26.07.2020). (In Russian)

Tsentralnaya Baza Statisticheskikh Dannykh Rosstata [Central Database of Statistical Data of Rosstat] Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki, 2019, URL: http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd (access date 22.07.2020). (In Russian)

The Blacksmith Institute, URL: http://www.blacksmithinstitute.org/ten.php/ (access date 27.10.2009).

Received 05.11.2020
Revised 10.02.2021
Accepted 18.03.2021

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 63–77

УДК 504.062:379.85(502.4)

МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТУРИСТСКИХ ПОТОКОВ В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ (КАМЧАТКА)

А.В. Завадская[1], **Е.В. Лебедева**[2], **В.П. Чижова**[3]

[1] *Кроноцкий государственный природный биосферный заповедник, г. Елизово, Камчатский край, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: anya.zavadskaya@gmail.com*

[2] *Институт географии РАН, лаборатория геоморфологии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: Ekaterina.lebedeva@gmail.com*

[3] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, вед. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: v.p.chizhova@gmail.com*

Рассмотрены возможные пути совершенствования развития туризма на уникальном объекте мирового значения – в Долине гейзеров Кроноцкого заповедника, основанные на особенностях организации и механизмах регулирования туристских потоков. Динамичность вулканических ландшафтов и активность современных геоморфологических процессов (как склоновых, так и эрозионных), уникальность и хрупкость форм микрорельефа и растительных сообществ геотермальных зон делают подобные территории особо ранимыми для антропогенного воздействия. При этом высокая вероятность развития опасных природных процессов в зонах активной геодинамики обусловливает значительные риски для развития туристской деятельности в таких районах и требует особого подхода к обеспечению безопасности туризма при его планировании и организации. Данные мониторинга природной среды, проводимого с 2008 г., показывают, что создание настильных троп в Долине гейзеров привело к исключению фактора естественной устойчивости почвенно-растительного покрова из разряда лимитирующих для количества посетителей на маршруте. В то же время из факторов влияния на природную среду на первое место вышло негативное воздействие на компоненты животного мира, в первую очередь, шумовое и сам эффект присутствия человека, что требует введения научно обоснованных сезонных ограничений на посещение объекта. Предлагаются следующие механизмы регулирования туристских потоков, повышения безопасности туризма и снижения последствий рекреационного воздействия на экосистемы, которые могут быть актуальны и для иных вулканических ландшафтов, близких по природным условиям к Долине гейзеров: 1) грамотное территориальное планирование настильной тропы с учетом рекреационной устойчивости экосистем, расположения аттрактивных объектов, безопасности посетителей и процесса управления туристскими потоками, в т. ч. максимальное закольцовывание маршрута; 2) усовершенствование конструкции тропы с сооружением не только смотровых площадок, но и специальных расширений у наиболее интересных точек; 3) ведение регулярного мониторинга состояния природной среды в зоне воздействия маршрута (в т. ч. детальных зоологических исследований), а также развития опасных природных процессов и оперативное регулирование режима посещения; 4) обеспечение максимального удовольствия и духовного обогащения туристов от общения с природой посредством уменьшения размеров групп и снижения частоты встреч с другими группами на маршруте; 5) повышение качества информационного насыщения как самого маршрута, так и визит-центра и увеличение их просветительской роли.

Ключевые слова: Кроноцкий заповедник, геотуризм, экологическое просвещение, рекреационное природопользование, рекреационный мониторинг, управление туризмом

ВВЕДЕНИЕ

Путешествия в районы проявления активного вулканизма, классифицируемые в особый тип геотуризма – вулканический, пользуются значительной популярностью во всем мире. Согласно существующей концепции, геотуризм способствует сохранению географических (геологических, геоморфологических) особенностей территории, ее природного, культурного и эстетического наследия, а также устойчивому развитию местного населения [Lew, 2002]. Целью данной статьи является разработка рекомендаций по развитию туризма в Долине гейзеров Кроноцкого заповедника на основе совершенствования механизмов регулирования туристских потоков. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи: 1) ретроспективный анализ истории развития рекреационного природопользования в Долине гейзеров; 2) выделение особенностей вулканических природных комплексов (ПК), определяющих специфику подходов к управлению рекреационными нагрузками на таких территориях; 3) определение наиболее эффективных мер по управлению туризмом на вулканических территориях.

Общая постановка проблемы. В мире накоплен огромный опыт развития вулканического туризма. В национальном парке (НП) Йеллоустон, который посещают несколько миллионов туристов ежегодно, не только построены дороги, визит-центры и вместительные смотровые площадки, но и разработаны несколько десятков программ посещения наиболее знаменитых гейзеров. В НП Гиффорд Пинчот туристы могут увидеть последствия произошедшего в 1980 г. извержения вулкана Сент-Хеленс и вновь растущий в его жерле экструзивный купол как предвестник грядущей активности. В Исландии предлагают спуститься в опустошенную камеру потухшего вулкана прямо сквозь его жерло, а в Новой Зеландии – побывать на изливающем потоки серы острове-вулкане Уайт.

Российский опыт заметно меньше, хотя и в нашей стране есть территории с разнообразным набором объектов вулканического туризма (Курильские острова, Кавказ и др.). Наибольшее количество таких мест находится на Камчатке – это вулканы, окружающие Петропавловск-Камчатский, и более удаленные объекты, посещаемые во время автомобильных или вертолетных экскурсий. Но самым знаменитым объектом геотуризма на Камчатке является Долина гейзеров Кроноцкого заповедника – одно из пяти наиболее крупных гейзерных полей мира.

Одна из главных особенностей экосистем вулканических районов геотермальных зон – это чрезвычайно низкая естественная устойчивость ПК к любым механическим воздействиям, обусловленная расчлененностью и повышенной обводненностью рельефа, активным развитием эрозии и склоновых процессов. Уникальность форм микрорельефа и растительных сообществ, динамичность ландшафтов делают подобные территории особо ранимыми. Другая отличительная черта многих объектов геотуризма – активность геологических и геоморфологических процессов, обусловливающая высокую вероятность развития природных катастроф и создающая значительные риски для организации любой деятельности, в том числе туристической. Эти два аспекта – сохранение ранимых экосистем в условиях высоких рекреационных нагрузок и снижение рисков и обеспечение должного уровня безопасности для посетителей – в геотермальном (вулканическом) туризме неразрывно связаны [Heggie, 2009].

Очевидный рост интереса к геотуризму привел к увеличению туристского потока и в Кроноцкий заповедник, но отсутствие четких методов управления этим потоком могло вызвать деградацию и угрозу безвозвратной потери первозданных ландшафтов. Для выработки основ их сохранения в условиях высокой рекреационной нагрузки и обеспечения безопасности посетителей потребовалось детальное рассмотрение имеющегося опыта организации туризма на вулканических территориях мира и опробование лучших практик в пределах Долины гейзеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Долина гейзеров расположена в центральной части заповедника в пределах Восточного вулканического пояса. Это единственная в мире нетронутая человеком природная система, где гейзеры не исчезли по вине человека[1]. С первых же дней открытия в 1941 г. Долина стала объектом пристального внимания ученых и впоследствии – туристов.

Бассейн р. Гейзерной расположен на восточной границе Узон-Гейзерной вулкано-тектонической депрессии, выполненной четвертичными вулканогенно-осадочными породами. Долина реки заложилась в начале голоцена вдоль зоны разлома СВ ориентировки [Леонов и др., 1991]. Воздействие термальных вод снижает прочностные свойства горных пород, что приводит к активному развитию эрозии и гравитационных склоновых процессов на бортах долины [Лебедева, 2019], глубина которой достигает 400 м. Смещения пород иногда приобретают катастрофические масштабы, происходит перегораживание русла реки с формированием подпрудного водоема, затем прорыв/спуск озера со сходом селя. Только за последние 40 лет на территории долины произошло три таких события, сопровождавшихся селеобразованием, – в 1981, 2007 и 2014 гг. [Воробьевский и др., 2010; Лебедева и др., 2020]. В результате грязевыми массами перекрывались термальные участки, нарушалась работа гейзеров, или они просто уничтожались. Благодаря притоку эндогенного тепла *почвы* долины не промерзают, и трансформация твердого вещества протекает в них круглый год. Сформированные термоземы [Гольдфарб, 1996] имеют суглинистый состав из-за гидротермального преобразования исходной тефры. Вокруг каналов гейзеров формируются постройки из *гейзерита* разной конфигурации и структуры, которые весьма хрупки и легко разрушаются даже при слабом механическом воздействии. *Растительный покров* представлен так называемыми термофильными сообществами. Распределение растений в пределах термального поля зависит от расстояния до центра термальной аномалии и имеет «микропоясный» характер [Самкова, 2007]. Наибольшая концентрация редких видов и видов-эндемиков наблюдается в зоне с температурами почв на глубине

[1] В связи со строительством гидротермальных электростанций утеряно около половины гейзеров в Исландии, три четверти – в Новой Зеландии и практически все гейзеры в США за пределами Йеллоустонского НП [Johnston, 2010].

15 см 40–70°С. Долина гейзеров вмещает *специфические природные комплексы – интразональные термальные экосистемы*, происхождение которых обусловлено действием напорных термальных вод и пространственной неоднородностью температурного поля [Сугробов, Сугробова, 1990]. Термопроявления являются местами обитания уникальных *альго-бактериальных сообществ* и *колоний синезеленых водорослей*, которые участвуют в формировании построек гейзерита и создают неповторимый облик каждого участка. Термальные участки играют особую роль в процессах выживания и размножения отдельных видов *животных* (насекомых, млекопитающих и птиц) и влияют на их локальное перераспределение в весенне-летний сезон. Это связано с более ранним началом и более поздним окончанием вегетации растений в окрестностях термальных полей [Растительный…, 2002]. Все вышеперечисленное способствует весьма высокой естественной динамичности природного комплекса Долины гейзеров, что, с одной стороны, обусловливает его чрезвычайную ранимость, а с другой – высокую вероятность развития опасных природных процессов.

Предлагаемое исследование опирается на результаты работ, проведенных в Долине гейзеров в различные годы, включая разработку научных основ функционирования туристского маршрута в 1990 г., рекреационный мониторинг и полевые исследования, ведущиеся с 2008 г., периодические опросы посетителей. В качестве методологической основы научного регулирования туристской деятельности и сохранения уникальных ПК в процессе их рекреационного использования взята концепция предельно допустимых изменений [Stankey et al., 1984; Watson, Cole, 1992] природной среды и показателей воздействия на опыт посетителей. Важнейшим механизмом регулирования негативных воздействий на ПК при использовании данного подхода является осуществление регулярного мониторинга природных комплексов и их отдельных компонентов.

В существующих подходах к рекреационному мониторингу [Непомнящий, Завадская, 2020] в качестве индикаторов состояния ПК выступают параметры, наиболее наглядно иллюстрирующие тенденции изменения качества ландшафтов или охраняемых объектов. Набор индикаторов изменений определяется спецификой ПК и их отдельных компонентов, а также возможностями проведения детальных полевых исследований.

В связи с высокой мозаичностью экосистем Долины и необходимостью обеспечения преемственности многолетних рядов данных после апробации большого количества существующих методов рекреационного мониторинга [Leung, Marion, 2000; Muhar et al., 2002] был выбран подход, широко применяемый в зарубежных и некоторых отечественных работах. Он включает наблюдение за состоянием и динамикой почвенного и растительного покровов как наиболее быстро реагирующих на антропогенное воздействие компонентов ПК на разнонарушенных учетных площадках размером 1 м^2. Наблюдения осуществляются как в буфере воздействия тропы, так и для того же ПК – в условно ненарушенном состоянии. Из-за высокой мозаичности ландшафта и малой площади элементарных ПК зачастую такие площадки располагаются в нескольких метрах друг от друга. В состав наблюдений на них входят геоботаническое описание сообществ с выявлением флористического состава, определением проективного покрытия и высоты травяно-кустарничкового яруса, средней высоты и состояния каждого вида сосудистых растений (включая синантропные); полевое обследование верхних корнеобитаемых горизонтов с выполнением их морфологического описания, измерением уплотненности почвенных горизонтов и температуры на глубине 15 и 50 см. Ежегодный мониторинг в Долине осуществляется на 14–17 постоянных пробных площадях. Его пространственная структура определена с учетом необходимости охвата всего разнообразия ПК Долины гейзеров, но в большей степени концентрируется на наблюдениях за наиболее уязвимыми – термальными – ПК и склонами. Помимо наблюдений на сети постоянных пробных площадей, ежегодно проводится визуальный осмотр маршрута и буферной зоны вдоль тропы с инвентаризацией нарушенных участков. В случае фиксирования новых очагов антропогенного воздействия закладываются временные пробные площади, на которых наблюдения проводятся по аналогичной методике, а при необходимости осуществляются картографирование и описание морфометрических характеристик эрозионных промоин.

Данные ежегодного физико-географического рекреационного мониторинга раз в пять лет дополняются данными общего геоботанического картографирования, проводимого с использованием детальной аэрофотосъемки, что позволяет судить в целом о динамике ПК по растительному компоненту.

Мы отмечали [Завадская, 2012], что для уникальных ПК гидротермальных систем ввиду их высокой динамичности и гетерогенности наблюдения за изменением почвенно-растительного покрова должны быть дополнены наблюдениями за динамикой склоновых процессов и сохранностью морфоскульптуры термальных полей. Однако в случае с долиной р. Гейзерной, где ПК чрезвычайно уязвимы, мониторинг должен осуществляться наименее ин-

вазивными методами. Потому оптимальные с точки зрения полноты исследований наблюдения на постоянных профилях, апробированные нами ранее [Завадская, 2012], оказались здесь неуместными из-за воздействия, оказываемого на почвенно-растительный покров и микрорельеф при проведении сплошного картографирования и детальных площадных исследований. Кроме того, высокая динамичность ПК сделала невозможным ежегодное повторение исследований на одних и тех же профилях, т. к. реперы оказались смыты либо растворены термальными водами[2].

То же касается и общего картографирования антропогенной динамики ПК: при сконцентрированности рекреационных воздействий в буфере у тропы и с учетом минимизации воздействия свайной конструкции на геоморфологические условия вычленение из естественной динамики антропогенной компоненты крайне затруднительно, а при небольших масштабах воздействия ежегодное картографирование почвенно-растительных изменений вдоль тропы нецелесообразно.

Количественный учет посетителей и показатели транспортной нагрузки оцениваются по учетным листам посетителей. Социологические исследования (опросы) проводятся раз в 5 лет и ставят целью получение качественных показателей рекреационной нагрузки и опыта посетителей (табл.).

При организации туристских потоков на данной динамичной территории необходим учет высокой вероятности развития опасных природных процессов, что требует особого подхода к обеспечению безопасности [Heggie, 2009; Двигало и др., 2014] и включает мониторинг природных процессов, организацию безопасных маршрутов и смотровых площадок, информирование туристов, сопровождение групп гидами и сотрудниками заповедника, возможность оказания экстренной помощи и эвакуации.

[2] В настоящее время планируется проведение мониторинга склоновых процессов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

История развития туризма в Долине гейзеров стала хрестоматийным примером влияния нерегулируемого туризма на термальные экосистемы. В ней можно выделить три этапа.

1. Интенсивный неорганизованный туризм. В 1961 г. Кроноцкий заповедник был ликвидирован, а в 1963 г. на его территории был организован Всесоюзный туристический маршрут № 264 с посещением Долины гейзеров. В 1966 г. были построены туристская база, приюты и палаточные лагеря. Маршрут (около 160 км) посещали группы по 15–20 человек. За весь период существования по нему прошли 15 тыс. туристов. В 1967 г. заповедник был восстановлен, а в 1977 г. маршрут закрыли, т. к. масштабы негативных последствий стали угрожать самому существованию экскурсионных объектов. Но «нетуристическое» посещение Долины делегациями, важными гостями и учеными продолжалось, ПК постепенно деградировал, и стало очевидным, что необходим поиск *компромисса между демонстрированием уникального объекта и обеспечением его сохранности*.

Таблица

Основные индикаторы качества опыта посетителей

Группа индикаторов	Индикаторы
Качественные показатели рекреационной нагрузки	Половозрастная и географическая структура; виды рекреационных занятий; целевые предпочтения; отношение посетителей к степени антропогенной преобразованности природных объектов; потребности туристов (в т. ч. в уровне «дикости» природы)
Социальная емкость маршрутов	Плотность социальных контактов (количество человек в группе; количество встреч с другими группами; отношение посетителей к количеству человек в группе и встречам с другими группами); приемлемый уровень шумового воздействия; отношение туристов к применяемым ограничениям, уровню развития инфраструктуры и др.
Эффективность эколого-просветительской деятельности на маршрутах	Степень соответствия полученных услуг и впечатлений ожиданиям туристов; удовлетворенность качеством экскурсий, услуг, работой инспекторов и др.; уровень осведомленности туристов о посещаемой территории, принципах экологического туризма и др.

2. Экстенсивный организованный туризм. Повторному открытию Долины гейзеров для посетителей в конце 1980-х гг. предшествовало определение лимитирующих факторов развития туризма [Иванов и др., 1995]. К ним были отнесены высокая уязвимость почвенного и растительного покровов и чувствительность к фактору беспокойства бурого медведя и гнездящихся на термальных площадках птиц. Был определен оптимальный режим посещения – кратковременные (2–2,5 часа) вертолетные экскурсии с ограничениями в период формирования в Долине группировки медведей. Научно обоснованная квота посетителей составила 2000 человек в год.

Основными регулирующими механизмами развития туризма стали: 1) повышение устойчивости гидротермальных экосистем к механическим воздействиям путем *обустройства настильной экскурсионной тропы* и ее грамотного территориального планирования (маршрут в 1,6 км повторял давно сложившиеся трассы), а также введение строгих правил передвижения (только по тропе и по установленной схеме); 2) *введение сезонных ограничений* на посещение объекта (так называемого «месячника тишины») в периоды максимальной концентрации животных в центральной части Долины; 3) *создание группы мониторинга* (геоботаник, орнитолог, териолог) и проведение ею ежегодных наблюдений с разработкой конкретных мер по корректировке функционирования маршрута. Созданные в начале 1990-х гг. инфраструктура и система регулирования туристских потоков просуществовали до начала 2000-х гг.

3. Интенсивный организованный туризм. Произошедшие в 2007 г. в Долине гейзеров катастрофические природные события совпали с началом интенсификации развития туризма на российских особо охраняемых природных территориях (ООПТ). В результате был пересмотрен режим посещения, и ежегодная квота возросла до 5000 туристов, но в 2016 г. она уже была превышена (рис. 1).

После катастрофы 2007 г. тропу отремонтировали, а в 2013–2014 гг. она была полностью модернизирована: ее конструкция заменена на коррозиестойкие опоры и металлический каркас с деревянным настилом, приподнятым над землей (рис. 2). Это позволило снизить воздействие на рельеф, режим поверхностного стока, почвенный и растительный покровы. Радиальные отрезки тропы были закрыты для снижения дисперсности нагрузки и обеспечения закольцованности маршрута и безопасности посетителей. Современная трасса позволяет экскурсантам увидеть все многообразие гейзеров и гидротермальных объектов Долины (рис. 3) и проходит по наименее прогретым участкам Гейзерного термального поля, что позволяет исключить из сферы воздействия наименее устойчивые ПК (рис. 4), приуроченные к высокотемпературным участкам [Завадская, Голубева, 2013].

Рис. 1. Динамика интенсивности рекреационного использования Долины гейзеров после ее открытия для посещения в 1991 г.

Fig. 1. Dynamics of the recreation intensity in the Valley of Geysers after its opening to the public in 1991

С целью предотвращения схода с тропы на основных точках показа вдоль маршрута были устроены смотровые площадки, способные вместить стандартную группу из 22 человек (см. рис. 3). В 2013–2014 гг. все площадки были оснащены стендами о природных особенностях Долины, правилах поведения и возможных опасностях появились новые буклеты и путеводители. В 2019 г. состоялось открытие визит-центра с экспозицией, знакомящей посетителей с историей исследований и особенностями уникального ПК.

Основным механизмом отслеживания состояния ПК Долины гейзеров сегодня остается рекреационный мониторинг вдоль тропы. С 2008 г. он проводится силами научных сотрудников заповедника и привлеченных специалистов на постоянных пробных площадях (рис. 5, 6). Результаты мониторинга, ежегодно публикуемые в Летописи природы, показывают, что в условиях отсутствия других негативных факторов воздействие на почвенно-растительный покров передвижений по настильному полотну ограничивается примерно 1,5 м с обеих сторон от тропы. Однако влияние маршрута на экосистему Долины гораздо шире и включает шумовое воздействие, а также сам эффект присутствия человека.

Рис. 2. Конструкция настильной тропы в Долине гейзеров после ремонта в 2014 г. Фото В.В. Непомнящего

Fig. 2. Construction of a wooden path in the Valley of Geysers after 2014 repairs. Photo V.V. Nepomnyaschiy

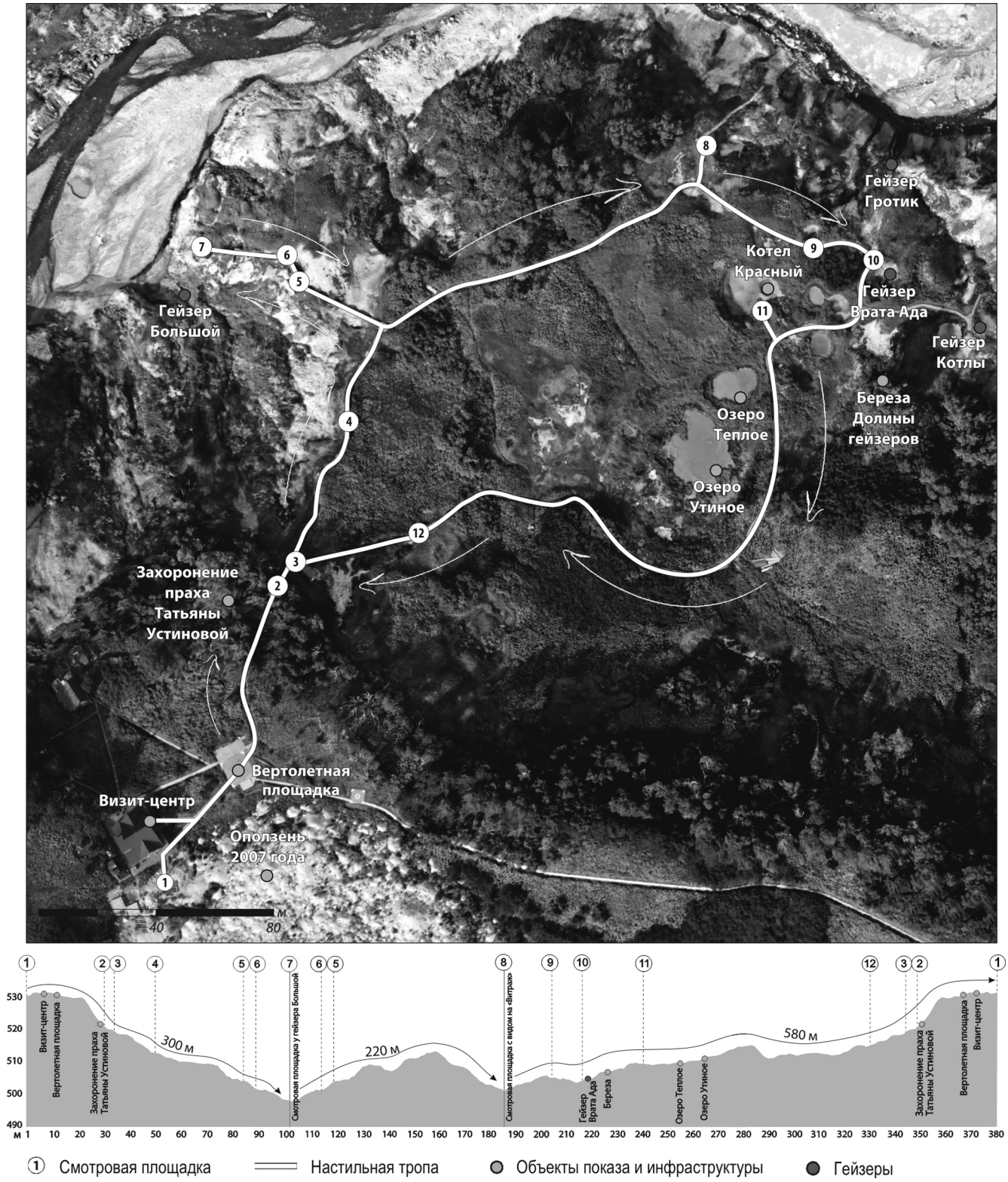
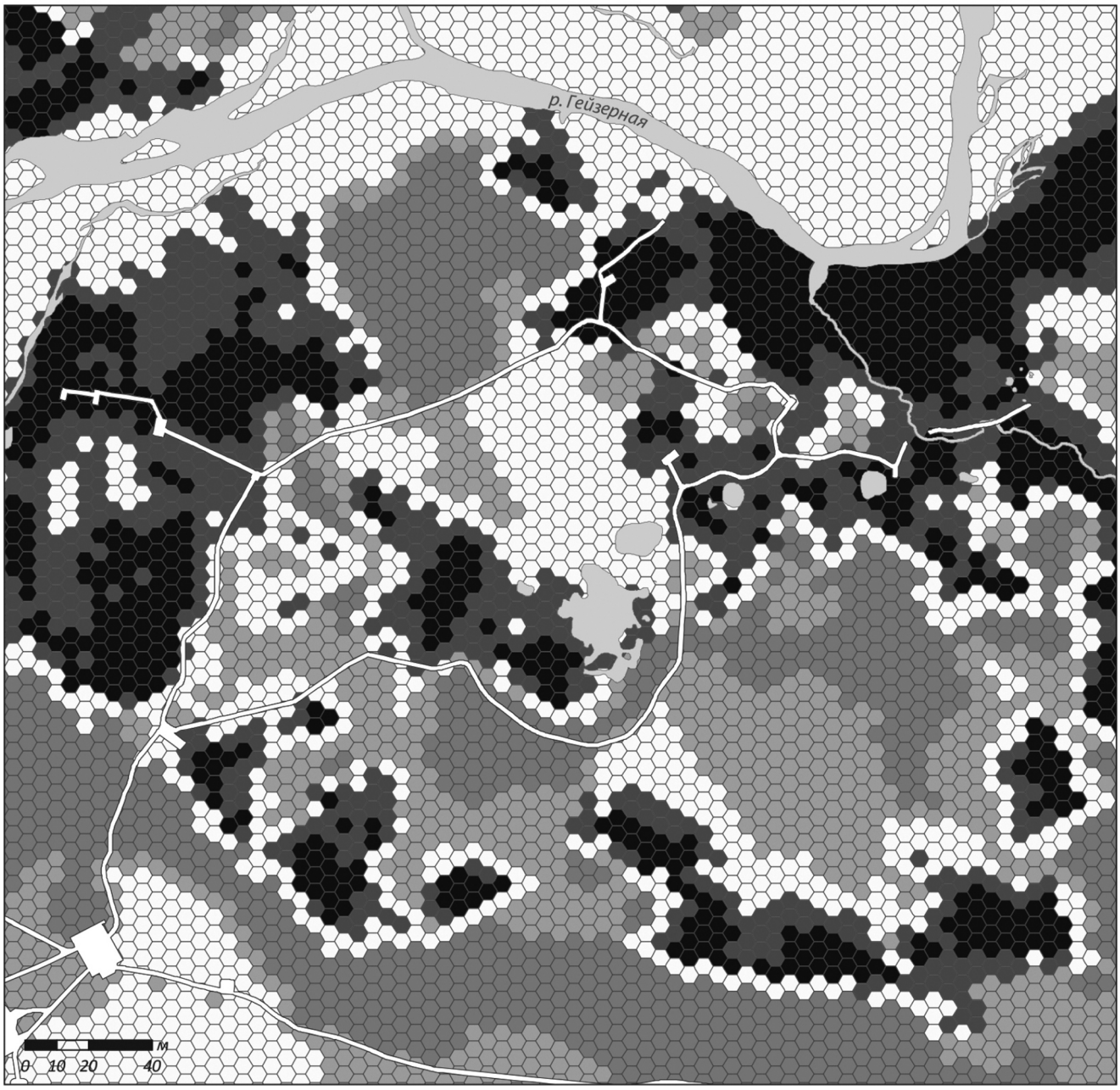


Рис. 3. Маршрут «Гейзеры Кроноцкого заповедника» в Долине гейзеров.
Стрелкой показано направление движения группы по маршруту; в случае одновременного пребывания двух групп, вторая двигается в противоположную сторону

Fig. 3. “Geysers of the Kronotsky Reserve” route in the Valley of Geysers.
The arrow shows the direction of group movement along the route; in case of the simultaneous presence of two groups the second one moves in the opposite direction



Рекреационная устойчивость	Температура на 0,5 м, °С	Основные характеристики компонентов природного комплекса Растительность	Почва
Очень высокая	менее 20	Зонально-поясная	Аэрогенная: вулканическая слоисто-охристая
Высокая	21–30	Близкая по структуре к зонально-поясной	Слоисто-пепловая гидротермально измененная
Средняя	31–45	Измененные зонально-поясные и термофильные сообщества, включающие редкие виды *(Ophioglossum thermale, Spirantes senensis* и др.)	Слоисто-пепловая гидротермально измененная; гидротермальная: термозем дерновый остаточно слоистый
Слабая	46–70	Термофильные сообщества, включающие редкие виды *(Agrostis geminata, Fimbrystilis ochotensis* и др.)	Гидротермальная: термозем дерновый примитивный, типичный
Крайне слабая	более 70	Примитивный растительный покров; моховые сообщества; группировки *Agrostis geminata*, фрагменты формации *Fimbrystyleta ochotensis*	Гидротермальная: термозем дерновый типичный, корковый

Водные объекты

Объекты туристской инфраструктуры

Рис. 4. Рекреационная устойчивость природных комплексов Долины гейзеров [Завадская и др., 2016]

Fig. 4. Recreational resilence of ecosystems of the Valley of Geysers [Zavadskaya et al., 2016]

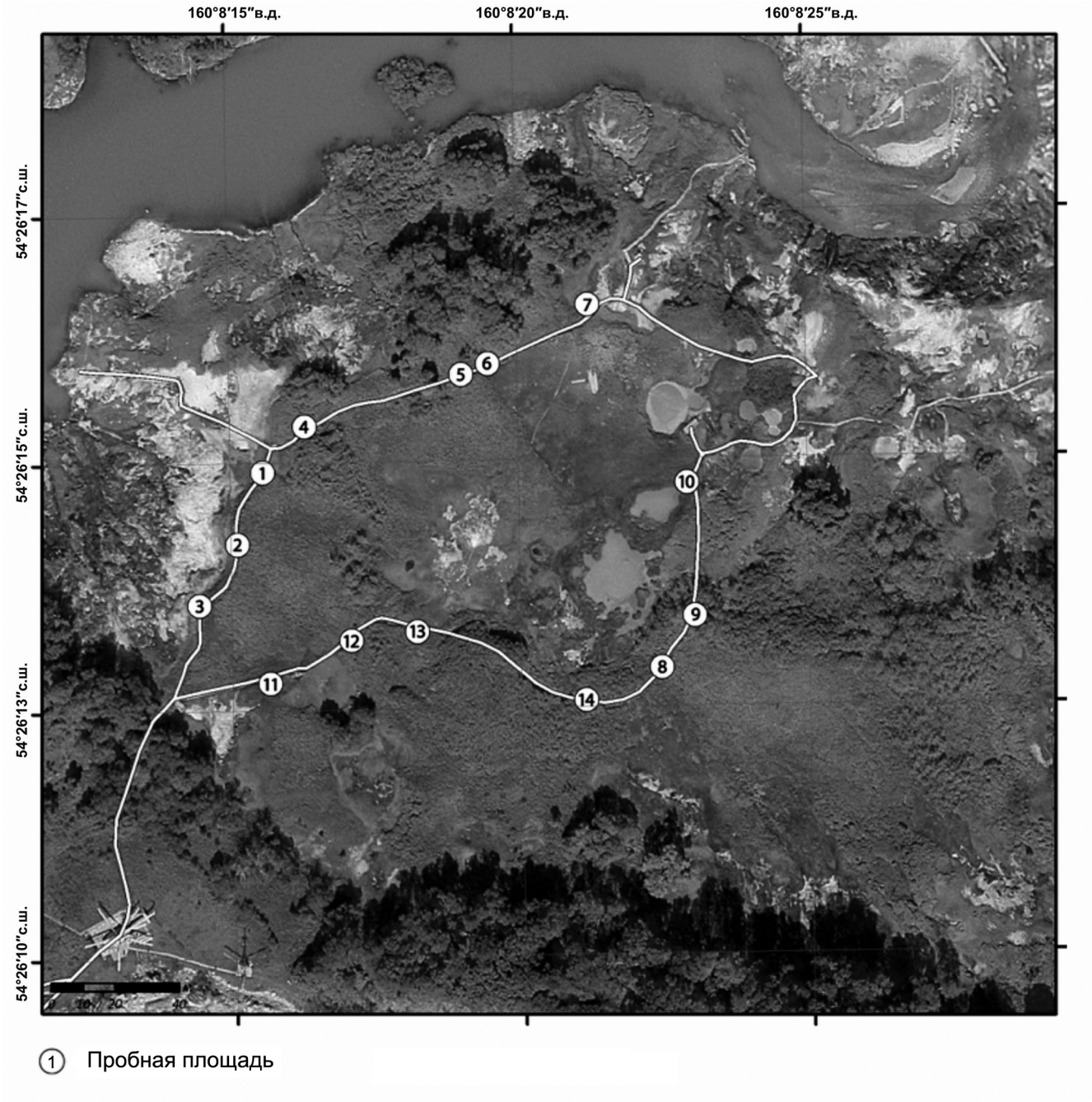


Рис. 5. Пространственная структура мониторинга в долине р. Гейзерной – сеть постоянных пробных площадей для оценки состояния почвенно-растительного покрова вдоль экскурсионной тропы (2013 г.)

Fig. 5. Spatial structure of monitoring in the Valley of Geysers: the network of permanent sample plots for assessment of the state of soil and vegetation cover along the trail (2013)

Рис. 6. Описание состояния природных комплексов на постоянной пробной площади в долине р. Гейзерной

Fig. 6. Description of the state of natural complexes of a sampling plot in the Geyzernaya River valley

В 2018 г. были возобновлены зоологические исследования влияния туризма на группировку бурого медведя в период его сезонной концентрации в Долине. В апреле – июне здесь отмечается начало вегетации растений и массовый пролет птиц, распределение их по гнездовым участкам. Наблюдения зоологов С.А. Колчина и Е.В. Волковой подтвердили, что долина р. Гейзерной по-прежнему является для медведей оазисом покоя и традиционным местом размножения. Приходя из районов расположения берлог, звери находят здесь корма, отсутствующие в этот период на сопредельных участках. Особо следует отметить, что после катастрофы 2014 г. участки термальной луговой растительности на террасах по обоим берегам р. Гейзерной оказались погребены под слоем селевых отложений, и в настоящее время их основная часть находится в районе экскурсионной тропы и на протяжении 1–1,5 км от нее вверх по течению реки. Исследования подтверждают, что присутствие людей в Долине в этот период оказывает влияние на процесс формирования группировки медведя, провоцируя в том числе и пространственное перераспределение животных.

С другой стороны, сама Долина гейзеров является потенциально опасным экскурсионным объектом из-за интенсивного развития в ее пределах склоновых и селевых процессов, провоцируемых снеготаянием, интенсивными осадками и землетрясениями [Кугаенко и др., 2010]. События 2007 и 2014 гг. показали потенциальную уязвимость туристской деятельности из-за высокого риска развития катастрофических природных процессов и явлений. Были проведены работы по прогнозированию развития новых катастроф, а также поставлен вопрос о необходимости осуществления мониторинга опасных природных явлений [Пинегина и др., 2008; Двигало, Мелекесцев, 2009; Двигало и др., 2014], рекомендована организация мониторинга локальной сейсмичности [Кугаенко и др., 2010]. С 2007 г. осуществляются наблюдения за основными режимными гейзерами и источниками как индикаторами сейсмических событий [Кирюхин и др., 2015].

Подходы к управлению туристскими потоками в вулканических районах. К сожалению, основная часть туристов – посетителей уникальных вулканических и геотермальных объектов – не обладают высоким уровнем экологической культуры и знаниями правил безопасного поведения на объектах геотуризма [Erfurt, Cooper, 2010]. Проведенные нами опросы показали, что более трети посетителей Долины гейзеров даже не осведомлены о том, что территория имеет особый природоохранный статус.

Потеря естественного облика, переполненность туристами, отсутствие у них ощущения дикой природы – это проблемы, которые характерны для наиболее знаковых объектов вулканического туризма в мире (например, Йеллоустона). Долину гейзеров от этой участи уберегает ее местоположение – ущелье доступно сейчас только на вертолете. Тем не менее, *в связи с растущим спросом и ростом интереса к туризму в российские ООПТ* периодически возникают идеи увеличения туристского потока. Особые опасения вызывают планы интенсификации туриз-

ма в весенний и раннелетний периоды, когда экосистема играет жизненно важную роль для животных, наиболее уязвима при механическом воздействии в условиях повышенной вероятности риска развития склоновых процессов.

Очевидно, что в долине р. Гейзерной в весенне-летний период должна применяться стратегия управления, в которой приоритет отдается поддержанию в естественном состоянии всех компонентов экосистемы и минимизации конфликтов между человеком и медведем [Gunther, 1994]. С этой целью необходимо возобновить принятую во всем мире практику соблюдения режима «периода покоя», причем сезонные ограничения посещения Долины должны включать два его периода: со строгими и частичными ограничениями. В эти периоды, помимо снижения количества посетителей и сокращения присутствия сотрудников заповедника в районе тропы, должны быть запрещены посадки вертолетов на дальних площадках и облеты каньона, рекомендовано использование небольших легких вертолетов.

Важным компонентом научного обеспечения развития безопасной туристической деятельности на объекте является продолжение и расширение проводимого мониторинга опасных экзогенных и эндогенных процессов, в том числе локальных сейсмических. Однако следует отметить, что в связи с повышенной динамикой гравитационных процессов на склонах долины р. Гейзерной, на наш взгляд, проводимые работы должны быть дополнены локальным мониторингом проблемных участков, осуществлять который целесообразно с помощью высокоточных геодезических и дистанционных методов, в том числе используя БПЛА.

В целом же для подобных объектов вулканического туризма, где естественная устойчивость ПК увеличена за счет строительства инфраструктуры, на первый план выходит регулирование показателей, определяющих получение посетителями должного опыта и выполнение туризмом на ООПТ своей миссии, которая, в первую очередь, связана с приобщением посетителей к познанию природы. Поэтому первостепенное значение приобретают сохранение природного облика объекта, проведение социологических исследований для оценки опыта посетителей и показателей приемлемой плотности социальных контактов, эффективности эколого-просветительской составляющей, а также корректировка управленческих действий в зависимости от полученных результатов, диверсификация экскурсионных программ и создание условий не только для массового туриста, но и для настоящих ценителей дикой природы.

Ключевым моментом остается внедрение результатов мониторинга в управление туристскими потоками. В данной сфере существует огромный разрыв между научными исследованиями и их внедрением в практику управления. Его преодоление и слаженная командная работа ученых и управленцев – залог сохранения уникальных экосистем и развития безопасного туризма, который по праву можно будет назвать экологическим.

ВЫВОДЫ

Управление туристической деятельностью в вулканических районах требует повышенного внимания как к выработке инструментов сохранения ПК, так и к обеспечению безопасности посетителей [Heggie, 2009].

Результаты наших исследований позволяют заключить, что внедрение в практику развития туризма в Долине гейзеров приподнятых настильных троп привело к *исключению фактора естественной устойчивости почвенно-растительного покрова из разряда лимитирующих* и способствует обеспечению безопасности посетителей. Даже превышение количества посетителей 5000 человек в год не оказывает негативного воздействия на состояние растительности. В настоящее время из негативных факторов влияния на природную среду на первое место выходит воздействие на компоненты животного мира. Для обеспечения позитивного опыта посетителей Долины все большее значение приобретают управленческие решения, направленные на снижение шумового загрязнения и сохранение естественного облика территории, позволяющие почувствовать единение с природой, способствующие повышению качества информации на маршруте. Ключевой особенностью, определяющей необходимость повышенного внимания к управлению рисками и проведения детальных исследований динамики ПК, является *высокая вероятность развития* в долине р. Гейзерной *опасных природных процессов и явлений*.

На современном этапе в Долине гейзеров можно выделить следующие механизмы регулирования туристских потоков, снижения рисков для посетителей и минимизации воздействия на экосистемы, которые могут быть предложены и для иных вулканических ландшафтов:

1. Постоянный *мониторинг развития опасных и катастрофических природных процессов и явлений*, который включает изучение и прогнозирование вулканических, сейсмических, склоновых, селевых, эрозионных и иных процессов и обеспечивает контроль ситуации и принятие оперативных мер.

2. Грамотное *территориальное планирование настильной тропы*: ее прохождение по непрогретым участкам и максимальное закольцовывание маршрута, что позволяет направить туристский по-

ток так, чтобы минимизировать встречи групп на маршруте и обеспечить приемлемый для посетителей уровень психоэмоциональной комфортности, восприятия дикой природы и единения с ней.

3. Усовершенствование *конструкции настильной тропы* – сооружение смотровых площадок и расширений у точек-остановок – позволяет снизить воздействие на природные процессы и состояние ПК, обеспечить увеличение допустимой нагрузки на ПК, а также безопасность посетителей при осмотре гейзеров, термальных источников, грязевых котлов.

4. Ведение *регулярного мониторинга состояния природной среды* в зоне воздействия маршрута, включая *зоологические исследования* в период весенне-раннелетней концентрации медведя, и оперативное регулирование режима посещения. *Установление научно обоснованных сезонных ограничений на посещение объекта* – «периода покоя» со строгим ограничением всей деятельности в апреле – мае и периода частичных ограничений в конце мая – июне.

5. Обеспечение *максимального удовольствия и духовного обогащения* туристов *от общения с природой* посредством уменьшения размеров групп и снижения частоты встреч на маршруте. Переход на использование легких вертолетов вместимостью 3–5 человек, что обеспечит более приемлемый для целей единения с дикой природой опыт посетителей и снизит шумовое воздействие. Сохранение режима посещения с единовременным пребыванием в Долине не более двух групп «стандартного» размера, маршруты которых начинаются из одной точки, но проходят в разных направлениях кольцевого маршрута, т. е. за экскурсию они встречаются друг с другом максимум три раза, а количество единовременно наблюдаемых человек в поле видимости экскурсанта не превышает 45–50. Это также повысит безопасность и даст возможность при необходимости более оперативно оказать экстренную помощь.

6. *Повышение качества информационного насыщения маршрута и его просветительской роли*: оснащение тропы аншлагами, публикация учебно-популярных материалов, работа визит-центра, повышение квалификации гидов-интерпретаторов дикой природы. Важно информировать посетителей о возможных опасностях и правилах безопасного поведения на маршруте. Нынешним трендом также является превращение объектов вулканического природного наследия в полевые «школы» для посетителей, ценные источники экологического образования и просвещения туристов. Для этого перечисленное выше сопровождение может быть дополнено образцами пород, которые участники маршрута могут самостоятельно изучить, а также действующими моделями наиболее ярких природных процессов, краткими научно-популярными статьями.

Благодарности. Статья подготовлена в рамках тем ГЗ ФГБУ «Кроноцкий государственный заповедник» (Летопись природы) и МГУ (№ 1.8, АААА-А16-116032810081-9); анализ проблем безопасности выполнен при финансовой поддержке РНФ (№ 21-17-00216). Авторы признательны научным сотрудникам Кроноцкого заповедника С.А. Колчину и Е.В. Волковой, проводившим зоологический мониторинг на территории Долины гейзеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воробьевский И.Б., Дрознин В.А., Фролова Н.Л., Чижова В.П. Гидрологические и рекреационные последствия катастрофического селя в Долине гейзеров (Камчатка) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2010. № 2. С. 46–52.

Гольдфарб И.Л. Влияние гидротермальной деятельности на условия формирования и морфологический облик почв (на примере Камчатки) // Почвоведение. 1996. № 12. С. 1319–1324.

Двигало В.Н., Мелекесцев И.В. Геолого-геоморфологические последствия катастрофических обвальных и обвально-оползневых процессов в камчатской Долине гейзеров (по данным аэрофотограмметрии) // Вулканология и сейсмология. № 5. 2009. С. 24–37.

Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В., Жарков Р.В. Мониторинг и прогноз селевых процессов в камчатской Долине гейзеров на основе фотограмметрических исследований // Доклады III Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», Южно-Сахалинск, 22–26 сентября 2014 г.: сб. докладов. 2014. С. 101–104.

Завадская А.В. Геоэкологические аспекты развития рекреационного природопользования на особо охраняемых природных территориях Камчатского края: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2012. 27 с.

Завадская А.В., Голубева Е.И. Природные комплексы гидротермальных систем Камчатки как объекты рекреации и туризма // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 46–51.

Завадская А.В., Яблоков В.М., Паничева Д.М., Леонов А.В., Кирюхин А.В., Овчаренко М.С., Семенков И.Н., Прозорова М.В., Никоноров А.П., Матвеев А.Н. Атлас долины реки Гейзерной в Кроноцком заповеднике / отв. ред. А.В. Завадская. М.: КРАСАНД, 2016. 88 с.

Иванов А.Н., Валебная В.А., Чижова В.П. Проблемы рекреационного использования особо охраняемых территорий (на примере Долины гейзеров) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1995. № 6. С. 68–74.

Кирюхин А.В., Рычкова Т.В., Дубинина Е.О. Анализ гидрогеологического режима гидротермальной системы Долины гейзеров (Кроноцкий заповедник, Камчатка) после катастрофы 3.06.2007 // Вулканология и сейсмология. 2015. № 1. С. 3–20.

Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Коновалова А.А. Локальная сейсмичность района Долины гейзеров по данным полевых наблюдений 2008–2009 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 1. Вып. 15. С. 90–99.

Лебедева Е.В. Виды воздействия вулканической и поствулканической деятельности на флювиальный рельеф // Геоморфология. 2019. № 4. С. 49–66.

Лебедева Е.В., Сугробов В.М., Чижова В.П., Завадская А.В. Долина р. Гейзерной (Камчатка): гидротермальная деятельность и особенности рельефообразования // Геоморфология. 2020. № 2. С. 60–73.

Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карпов Г.А., Сугробов В.М., Сугробова Н.Г., Зубин М.И. Кальдера Узон и Долина гейзеров // Действующие вулканы Камчатки. М.: Наука, 1991. Т. II. С. 94–141.

Непомнящий В.В., Завадская А.В. Рекреационное природопользование: учеб. пособие / МПР РФ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2020. 108 с.

Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дрознин В.А., Калачева Е.Г., Чирков С.А., Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Леонов В.Л., Селиверстов Н.И. Камчатская Долина гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 33–44.

Растительный и животный мир Долины гейзеров / ред. Е.Г. Лобков. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2002. 304 с.

Самкова Т.Ю. Структура растительности термального поля как отражение пространственной структуры гидротермальных процессов (на примере термальных полей Паужетской гидротермальной системы) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2. Вып. 10. С. 87–101.

Сугробов В.М., Сугробова Н.Г. Особенности разгрузки высокотемпературных подземных вод в Долине гейзеров // Вопросы географии Камчатки. 1990. Вып. 10. С. 81–89.

Erfurt P., Cooper M. Volcano and Geothermal Tourism: Sustainable Geo-Resources for Leisure and Recreation, London, Earthscan, 2010, 378 p.

Gunther K.A. Yellowstone National Park Bear Management Plan, National Park Service, Yellowstone National Park, Bear Management Office, 1994, 66 p.

Heggie T. Geotourism and Volcanoes: Health Hazards Facing Tourists at Volcanic and Geothermal Destinations, *Travel medicine and infectious disease*, 2009, no. 7, p. 257–261.

Leung Y., Marion J.L. Recreation Impacts and Management in Wilderness: A State-of-Knowledge Review, *Wilderness science in a time of change conference*, vol. 5, Wilderness ecosystems, threats, and management, Proceedings RMRS-P-15-VOL-5, Ogden, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2000, p. 23–48.

Lew A.A. Geotourism and What Geographers Do, *Tourism Geographies*, 2002, no. 4, p. 347–348.

Muhar A., Arnberger A., Brandenburg C. Methods for visitor monitoring in recreational and protected areas: An overview, *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas*, Institute for Landscape Architecture & Landscape Management Bodenkultur University Vienna, 2002, p. 1–6.

Stankey G.H., McCool S.F., Stokes G.L. Limits of acceptable change: a new framework for managing the Bob Marshall Wilderness complex, *Western Wildlands*, 1984, no. 10, p. 33–37.

Watson A., Cole D. LAC Indicators: An Evaluation of Progress and List of Proposed Indicators, *Ideas for Limits of Acceptable Change Process,* L. Merigliano (ed.), 1992, vol. 2, Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Forest Service, p. 65–84.

Электронный ресурс

Johnston W.R. World Geyser Locations. Johnston's Archive, 2010, URL: http://www.johnstonsarchive.net/geysers/geysmapw.html (access date 15.02.2021).

Поступила в редакцию 30.04.2021
После доработки 10.05.2021
Принята к публикации 18.05.2021

MECHANISMS OF TOURIST FLOWS REGULATION IN THE VALLEY OF GEYSERS (KAMCHATKA)

A.V. Zavadskaya[1], E.V. Lebedeva[2], V.P. Chizhova[3]

[1] *Kronotsky Federal Nature Biosphere Reserve, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: anya.zavadskaya@gmail.com*
[2] *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: Ekaterina.lebedeva@gmail.com*
[3] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: v.p.chizhova@gmail.com*

The paper discusses the possible ways of improving tourism development within the Valley of Geisers, a unique World Heritage site of the Kronotsky Reserve, basing on specific features of organization and regulation of touristic flows. The dynamism of volcanic landscapes and active development of modern geomorphologic processes, both slope and erosion, as well as the uniqueness and fragility of microrelief forms and plant

communities of geothermal environments make such territories extremely vulnerable to the anthropogenic impact. At the same time, the high probability of hazardous natural processes in the zones of active geodynamics creates significant risks for tourism activities in such areas and requires a special approach to ensuring the safety of tourism during its planning and organization. However, the environmental monitoring data, collected since 2008, show that the construction of wooden paths in the Valley of Geysers made it possible to exclude the carrying capacity of soil and vegetation cover from the factors limiting the number of visitors on the route. At the same time negative impacts of tourism on wildlife, first of all, the noise and the effect of human presence, came to the fore, thus requiring to establish the scientifically substantiated seasonal restrictions, the so called "dormant period" in late spring – early summer time. The following mechanisms of tourist flows regulation reducing risks for visitors and mitigating the tourism impacts on the ecosystems of the Valley of Geysers are proposed, which may be also relevant for other similar volcanic environments: 1) competent spatial planning of tourist trails, with due account of the ecosystems resilience, the location of main attractive objects, the safety of visitors and the tourist flows management, including the maximum possible "looping" of a trail; 2) improvement of the trail design with the construction of both viewing platforms and special widened plots at the most attractive and viewing points; 3) regular environmental monitoring in the impact zone of the route, including the detailed zoological studies, as well as monitoring of natural hazards and immediate regulation of visiting regime; 4) provision of the highest possible visitors' experience by reducing the size of groups and the frequency of meeting other groups on the route; 5) improving the quality of information support, both on the route and in the visitor center, and increasing their educational role.

Keywords: Kronotsky Reserve, geotourism, ecological education, recreational nature management, monitoring of tourism impacts, tourism management

Acknowledgements. The paper covers the results of studies, conducted within the framework of the State Assignments of the "Kronotsky Reserve" (The Chronicle of Nature) and the MSU (No 1.8, AAAA-A16-116032810081-9). The analysis of safety issues was financially supported by the Russian Science Foundation (project 21-17-00216). The authors are grateful to S.A. Kolchin and E.V. Volkova, staff scientists of the Kronotsky Reserve, who performed zoological monitoring in the Valley.

REFERENCES

Dvigalo V.N., Melekestsev I.V. The Geological and Geomorphic Impact of Catastrophic Landslides in the Geyser Valley of Kamchatka: Aerial Photogrammetry, *Journal Volcanolog. Seismol.,* 2009, no. 3, p. 314, DOI: 10.1134/S0742046309050029.

Dvigalo V.N., Svirid I.Yu., Shevchenko A.V., Jarkov R.V. Mud flows in the Kamchatkan Valley of Geysers: monitoring and prediction based on photogrammetric research, *Doklady III Mezhdunarodnoj konferencii "Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashhita"*, *Juzhno-Sahalinsk, 22–26 sentjabrja 2014 g.: sbornik dokladov* [Proceedings of the III International Conference "Mudflows: Disasters, Risk, Forecast, Protection", Yuzhno-Sakhalinsk, September 22–26, 2014], 2014, p. 101–104. (In Russian)

Erfurt P., Cooper M. *Volcano and Geothermal Tourism: Sustainable Geo-Resources for Leisure and Recreation*, London, Earthscan, 2010, 378 p.

Gol'dfarb I.L. Vlijanie gidrotermal'noj dejatel'nosti na uslovija formirovanija i morfologicheskij oblik pochv (na primere Kamchatki) [Effect of Hydrothermal Activity on the Conditions of Pedogenesis and Soil Morphology (by the Example of Kamchatka)], *Eurasian Soil Science (Pochvovedenie)*, 1996, vol. 29(12), p. 1319–1324. (In Russian)

Gunther K.A. *Yellowstone National Park Bear Management Plan,* National Park Service, Yellowstone National Park, Bear Management Office, 1994, 66 p.

Heggie T. Geotourism and Volcanoes: Health Hazards Facing Tourists at Volcanic and Geothermal Destinations, *Travel medicine and infectious disease*, 2009, no. 7, p. 257–261.

Ivanov A.N., Valebnaya V.A., Chizhova V.P. Problemy rekreacionnogo ispol'zovanija osobo ohranjaemyh territorij (na primere Doliny gejzerov) [Problems of Recreational Use of Nature protection Areas (case study of the Valley of Geysers)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr*., 1995, no. 6, p. 68–74. (In Russian)

Kiryukhin A.V., Rychkova T.V., Dubinina E.O. An Analysis of Hydrogeological Behavior in the Geyser Valley, Kronotskiy Nature Reserve, Kamchatka After the Disaster of June 3, 2007, *Journal Volcanolog. Seismol*., 2015, no. 9, p. 1–16. DOI: 10.1134/S0742046315010030.

Kugaenko Yu.A., Saltykov V.A., Konovalova A.A. Lokal'naja sejsmichnost' rajona Doliny gejzerov po dannym polevyh nabljudenij 2008–2009 [Local Seismicity Within the Valley of Geysers: Results from the 2008–2009 Field Investigation], *Vestn. KRAUNTs, Nauki o Zemle*, 2010, vol. 1(15), p. 90–99. (In Russian)

Lebedeva E.V. Vidy vozdejstvija vulkanicheskoj i postvulkanicheskoj dejatel'nosti na fljuvial'nyj rel'ef [Impact of Volcanic and Post Volcanic Activity on Fluvial Relief], *Geomorfologiya*, 2019, no. 4, p. 49–66. (In Russian)

Lebedeva E.V., Sugrobov V.M., Chizhova V.P., Zavadskaya A.V. Dolina r. Gejzernoj (Kamchatka): gidrotermal'naja dejatel'nost' i osobennosti rel'efoobrazovanija [The Valley of the River Geyzernaya (Kamchatka): Hydrothermal Activity and Features of Relief Forming], *Geomorfologiya*, 2020, no. 2, p. 60–73. (In Russian)

Leonov V.L., Grib E.N., Karpov G.A., Sugrobov V.M., Sugrobova N.G., Zubin M.I. Caldera of Uzon Volcano and the Valley of Geysers, *Dejstvujuschie vulkany Kamchatki* [Active Volcanoes of Kamchatka], Moscow, Nauka Publ., 1991, vol. 2, p. 94–141. (In Russian)

Leung Y., Marion J.L. Recreation Impacts and Management in Wilderness: A State-of-Knowledge Review, *Wilderness science in a time of change conference*, vol. 5, Wilderness ecosystems, threats, and management, Proceed-

ings RMRS-P-15-VOL-5, Ogden, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2000, p. 23–48.

Lew A.A. Geotourism and What Geographers Do, *Tourism Geographies*, 2002, no. 4, p. 347–348.

Muhar A., Arnberger A., Brandenburg C. Methods for visitor monitoring in recreational and protected areas: An overview, *Monitoring and Management of Visitor Flows in Recreational and Protected Areas*, Institute for Landscape Architecture & Landscape Management Bodenkultur University Vienna, 2002, p. 1–6.

Nepomnjaschij V.V., Zavadskaya A.V. *Rekreacionnoe prirodopol'zovanie* [Recreational Nature Management], Novosibirsk, SO RAN Publ., 2020, 108 p. (In Russian)

Pinegina T.K., Delemen' I.F., Droznin V.A., Kalacheva E.G., Chirkov S.A., Melekescev I.V., Dvigalo V.N., Leonov V.L., Seliverstov N.I. Kamchatskaja Dolina Gejzerov posle katastrofy 3 ijunja 2007 g. [Kamchatka Valley of Geysers after the Disaster of June 3, 2007], *Vestn. DVO RAN*, 2008, no. 1, p. 33–44. (In Russian)

Rastitel'nyj i zhivotnyj mir Doliny Gejzerov [Plant and Animal World of the Valley of Geysers], E.G. Lobkov (ed.), Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatskiy Pechatniy Dvor Publ., 2002, 304 p. (In Russian)

Samkova T.Yu. Struktura rastitel'nosti termal'nogo polja kak otrazhenie prostranstvennoj struktury gidrotermal'nyh processov (na primere termal'nyh polej Pauzhetskoj gidrotermal'noj sistemy) [Structure of Vegetation of a Thermal Field as a Reflection of the Spatial Structure of Hydrothermal Processes (case study of Thermal Fields of the Pauzhetka Hydrothermal System)], *Vestn. KRAUNTs, Nauki o Zemle*, 2007, vol. 2(10), p. 87–101. (In Russian)

Stankey G.H., McCool S.F., Stokes G.L. Limits of acceptable change: a new framework for managing the Bob Marshall Wilderness complex, *Western Wildlands*, 1984, no. 10, p. 33–37.

Sugrobov V.M., Sugrobova N.G. Osobennosti razgruzki vysokotemperaturnyh podzemnyh vod v Doline gejzerov [Specific Features of Discharge of High Temperature Underground Waters in the Valley of Geysers], *Voprosy geografii Kamchatki*, 1990, no. 10, p. 81–89. (In Russian)

Vorob'evskij I.B., Droznin V.A., Frolova N.L., Chizhova V.P. Gidrologicheskie i rekreacionnye posledstvija katastroficheskogo selja v Doline gejzerov Kamchatka) [Hydrological and Recreational Effects of a Catastrophic Mudflow in the Valley of Geysers (Kamchatka)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr*., 2010, no. 2, p. 46–52. (In Russian)

Watson A., Cole D. LAC Indicators: An Evaluation of Progress and List of Proposed Indicators, *Ideas for Limits of Acceptable Change Process,* L. Merigliano (ed.), 1992, vol. 2, Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture, Forest Service, p. 65–84.

Zavadskaja A.V. *Geoekologicheskie aspekty razvitija rekreacionnogo prirodopol'zovanija na osobo ohranjaemyh prirodnyh territorijah Kamchatskogo kraja* [Basics of environmental management of tourist impacts in protected areas of Kamchatka], Extended Abstract of PhD Thesis in Geography, Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2012, 27 p. (In Russian)

Zavadskaya A.V., Golubeva E.I. Natural Complexes of Hydrothermal Systems of Kamchatka as Objects for Recreation and Tourism, *Geography and Natural Resources*, 2013, vol. 34(4), p. 46–51.

Zavadskaya A.V., Yablokov V.M., Panicheva D.M., Leonov A.V., Kiryukhin A.V., Ovcharenko M.S., Semenkov I.N., Prozorova M.V., Nikonorov A.P., Matveev A.N. *Atlas doliny reki Gejzernoj v Kronotskom zapovednike* [Atlas of the Geysernaya River Valley in the Kronotsky Nature Reserve], A.V. Zavadskaya (ed.), Moscow, KRASAND Publ., 2016, 88 p. (In Russian)

Web source

Johnston W.R. *World Geyser Locations*, Johnston's Archive, 2010, URL: http://www.johnstonsarchive.net/geysers/geysmapw.html (access date 15.02.2021).

Received 30.04.2021
Revised 10.05.2021
Accepted 18.05.2021

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 78–90

ДИНАМИКА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 911.2:574.42

ВЛИЯНИЕ ПОЖАРОВ НА ДИНАМИКУ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЭВЕНКИИ В ПОСЛЕДНИЕ 3500 ЛЕТ

Н.Г. Мазей[1], А.С. Прокушкин[2], Д.А. Куприянов[3], Е.Ю. Новенко[4]

[1, 3, 4] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения*
[2] *Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН»*
[4] *Институт географии РАН, отдел палеогеографии четвертичного периода, ст. науч. с.*

[1] *Канд. биол. н., ст. науч. с.; e-mail: natashamazei@mail.ru*
[2] *Канд. биол. н., зав. лабораторией; e-mail: prokushkin@ksc.krasn.ru*
[3] *Аспирант; e-mail: dmitriykupriyanov1994@yandex.ru*
[4] *Докт. геогр. н., вед. науч. с.; e-mail: lenanov@mail.ru*

В статье представлены результаты реконструкций растительности и частоты пожаров за последние 3,5 тыс. лет в среднем течении р. Нижней Тунгуски (Центральная Эвенкия) на основе комплексного исследования разреза заболоченного лиственничника на территории Эвенкийского стационара Института леса имени В.Н. Сукачева СО РАН. Получены новые палеоботанические данные и результаты анализа концентрации макрочастиц угля в отложениях, выполнено детальное радиоуглеродное датирование разреза.

На примере изученной локальной экосистемы показано, что пожары – важный фактор эволюции лесных геосистем криолитозоны Средней Сибири, и в позднем голоцене они способствовали развитию процесса заболачивания. Выделено пять этапов изменения периодичности пожаров. В течение первого этапа (3600–2700 кал. л. н.) межпожарный интервал составлял 150 лет и затем увеличился на протяжении следующего этапа с 2700–1500 кал. л. н. до 300 лет. В интервале 1500–700 кал. л. н., включающем потепление климата средневекового климатического оптимума, межпожарный интервал сократился до 115 лет. Резкое и глубокое похолодание Малого ледникового периода 700–200 кал. л. н. привело к сокращению числа пожаров, межпожарный интервал составил 275 лет. Полученные данные показали, что за рассмотренный период (3,5 тыс. лет) максимальных значений частота лесных пожаров на изучаемой территории достигла в последние 200 лет. Межпожарный интервал составляет около 80 лет, что близко к его среднему значению, восстановленному по дендрохронологическим данным в районе исследований за тот же период. Согласно проведенным реконструкциям, частота пожаров была выше в теплые интервалы позднего голоцена и понижалась в холодные этапы. Сделано предположение, что в условиях более короткого и, возможно, более холодного лета в периоды похолоданий в результате снижения испарения происходило увеличение грунтовой влажности во многих местообитаниях, что неблагоприятно для возникновения и распространения лесных пожаров.

Ключевые слова: анализ макрочастиц угля, палеоботанические данные, заболачивание лесов

ВВЕДЕНИЕ

Пожары – один из важнейших экологических факторов преобразования лесных экосистем [Санников, Санникова, 2009]. За последние десятилетия накоплены многочисленные данные о значительном влиянии лесных пожаров на возрастную структуру и функционирование лесов Сибири, полученные на основе анализа архивных документов, результатов стационарных наблюдений и дендрохронологических исследований [Харук и др., 2005; Валендик и др., 2014; Kharuk et al., 2011; Knorre et al., 2019; Kirdyanov et al., 2020]. В криолитозоне Средней Сибири, где господствующими типами леса являются лиственничники, пирогенная динамика геосистем приобретает ведущее значение в формировании их видовой и возрастной структуры, поскольку для лиственничных лесов характерна высокая природная пожарная опасность [Sofronov, Volokitina, 2010]. Большинство лиственничных лесов Средней Сибири представляет собой сообщества, находящиеся в разных стадиях восстановительных постпирогенных сукцессий [Кривобоков, Зверев, 2015]. По данным дендрохронологических исследований в северной тайге Средней Сибири межпожарный ин-

тервал колеблется примерно от 60 до 140 лет в зависимости от ландшафтной позиции территории и в последнее столетие имеет тенденцию к сокращению [Харук и др., 2005]. Согласно информации Министерства лесного хозяйства Красноярского края, за последние 10 лет около 5% территории Красноярского края были пройдены лесными пожарами, обусловленными как деятельностью человека, так и климатическими причинами. В этой связи реконструкция режимов естественных пожаров в голоцене на временном отрезке, лежащем за пределами возможностей дендрохронологического метода и исторических наблюдений, является актуальной задачей для понимания роли пожаров в формировании лесных сообществ и их эволюции.

К наиболее часто применяемым методам изучения частоты и интенсивности пожаров в голоцене, как в Евразии, так и в Северной Америке, относится изучение концентрации частиц угля различной размерности в отложениях озер и болот [Pitänen et al., 2001; Whitlock et al., 2010; Clear et al., 2014; Novenko et al., 2016; Feurdean et al., 2020], определение породного состава и радиоуглеродное датирование фрагментов древесных углей в почве [Kasin et al., 2013; Bobrovsky et al., 2019]. Часто эти методы применяются в сочетании с другими палеоэкологическими подходами при реконструкции изменений компонентов природной среды в прошлом. Исследования влияния пожаров на растительность и состояние многолетней мерзлоты в Якутии и на северо-востоке Сибири показали эффективность использования изменения концентрации частиц угля в отложениях как индикатора палеопожаров. Выявлена тенденция к повышению числа пожаров при потеплении климата. Изучение природных пожаров на глобальном уровне показало, что их частота возрастала в теплые и сухие периоды голоцена и существенно сокращалась при снижении температуры и увеличении влажности климата [Power et al., 2008; Molinari et al., 2013].

Исследования, результаты которых представлены в данной работе, проведены в среднем течении Нижней Тунгуски на территории Эвенкийского стационара Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Растительный покров, пространственно-временная организация лесных экосистем, основные направления лесообразовательного процесса этого региона хорошо изучены [Прокушкин и др., 2008, 2010; Кривобоков, Зверев, 2015; Карпенко, 2013]. Большое внимание в исследованиях, проводимых на стационаре, уделено влиянию лесных пожаров на трансформацию и миграцию питательных веществ, на флористическое разнообразие лесных сообществ криолитозоны и их послепожарную динамику [Харук и др., 2005; Knorre et al., 2019]. Однако ретроспективный анализ истории лесных экосистем в голоцене и реконструкция периодичности лесных пожаров в течение тысячелетий при помощи палеоэкологических методов до настоящего времени не проводились. Представленная работа – это первый опыт изучения изменений растительности и частоты пожаров за последние 3,5 тыс. лет на основе комплексного исследования разреза заболоченного лиственничника на территории стационара. Получены новые палеоботанические данные и результаты анализа концентрации макрочастиц угля в отложениях, выполнено детальное радиоуглеродное датирование разреза.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследований расположен в центральной части Среднесибирского плоскогорья в среднем течении р. Нижней Тунгуски (правый приток р. Енисей), в окрестностях пос. Тура (рис. 1). Рельеф района исследований – низкогорный, эрозионно-денудационный. Абсолютные высоты местности составляют от 120 до 600 м над урезом моря. Климат изучаемой территории – умеренный, резко континентальный. По данным наблюдений метеостанции в пос. Тура (1936–2018) среднегодовая температура составляет –8,8°С, температуры самого теплого и самого холодного месяцев определены как +16,6°С (июль) и –35,7°С (январь) соответственно [Climate Explorer, 2019]. Среднегодовое количество осадков составляет 370 мм в год, из которых около 65% приходится на период с мая по сентябрь включительно. Территория находится в пределах области сплошного распространения многолетней мерзлоты.

В растительном покрове преобладают северотаежные лиственничные леса (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), находящиеся в разных стадиях восстановительных постпирогенных сукцессий [Кривобоков, Зверев, 2015]. Почвы – подбуры и криоземы, формирующиеся на суглинистом элювии и делювии.

Изученный разрез находится на первой надпойменной террасе р. Кочечум приблизительно в трех километрах от впадения в Нижнюю Тунгуску (64°17′ с. ш., 100°11′ в. д.). Локальная растительность представляет собой лиственничную заболоченную редину (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., сомкнутость крон 0,1). Немногочисленный подрост образован березой повислой (*Betula pendula* Roth.). Кустарниковый ярус представлен несколькими видами ив. Травяно-кустарничковый ярус имеет 30% покрытия и разнообразен в видовом отношении. В первом подъярусе (высотой 60–70 см) произрастают ивы (*Salix* sp.), карликовая береза (*Betula nana* L.), багульник болотный (*Ledum palustre* L.), у основания

моховых бугров встречается голубика обыкновенная (*Vaccínium uliginosum* L.) и различные травы. Второй ярус, высотой 7–10 см, образует хвощ луговой (*Equisetum pratense* Ehrh.), в подъярусе до 5 см изредко встречается брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), а также представители родов клевер (*Trifolium* sp.) и лютик (*Ranunculus* sp.). Мохово-лишайниковый ярус имеет 75% покрытия, на кочках преобладают *Polytrichum commune* Hedw., *P. strictum* Brid., *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., в межкочковых понижениях обилен *Tomentypnum nitens* (Hedw.) Loeske, встречаются разные виды печеночников.

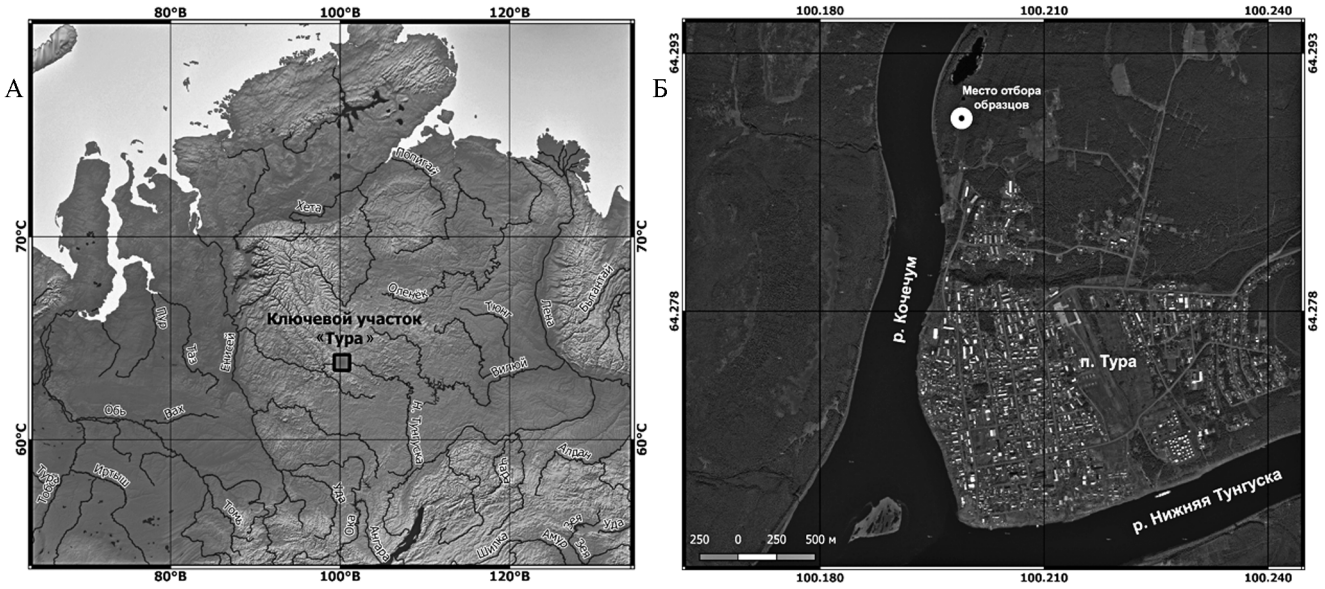


Рис. 1. Положение района исследований в центральной части Среднесибирского плоскогорья (А) и ландшафтная позиция разреза «Тура» (Б)

Fig. 1. Location of the research area in the central part of the Central Siberian plateau (A) and the landscape position of the "Tura" sediment core (Б)

Бурение было проведено в центральной части лиственничной редины в августе 2019 г. при помощи торфяного бура Сукачева. Удалось отобрать керн до уровня многолетней мерзлоты, до глубины 64 см.

Для изученного разреза были получены три AMS-датировки. Радиоуглеродное датирование (табл.) проведено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). Расчеты скорости седиментации и накопления торфа в разрезе были выполнены на основе модели роста отложений (рис. 2) при помощи программы Clam [Blaauw, 2010] в программной среде R.

Обработка проб для анализа ботанического состава торфа и подстилающих отложений выполнена согласно методике, разработанной С.Н. Тюремновым [1959]. Степень разложения торфа определялась микроскопическим методом. Потери при прокаливании определялись путем озоления при температуре 550°С. Образцы для спорово-пыльцевого анализа были подготовлены по стандартной методике [Moore et al., 1991]. При анализе помимо пыльцы и спор было проведено определение непыльцевых палиноморф и микрочастиц угля (линейные размеры <40 мкм). За 100% принята сумма пыльцы древесных пород (AP) и травянистых растений (NAP). Интервал отбора образцов для всех видов анализа составлял 3 см.

Реконструкция частоты лесных пожаров проведена на основе анализа содержания макроскопических (размер >125 мкм) частиц угля в торфе, позволяющего выявить региональные и локальные закономерности в истории лесных пожаров [Conedera et al., 2009]. Методика выделения частиц угля из торфа [Mooney, Tinner, 2011] включала отбеливание образца сырого торфа установленного объема (1 $см^3$) в 10%-м водном растворе NaOCl объемом 100 мл в течение не менее 24 часов при комнатной температуре, промывание дистиллированной водой через сито с диаметром ячей 125 мкм и затем подсчет всех выделенных частиц угля под стереоскопическим микроскопом при 40-кратном увеличении. Отбор образцов осуществлялся непрерывно с шагом 1 см.

Для выявления регионального сигнала динамики лесных пожаров, определяемых фоновыми ско-

ростями накопления частиц угля в торфе, а также выявления локальных пожарных эпизодов (пожаров или серий пожаров, происходивших на самом болоте и/или в его окрестностях) [Conedera et al., 2009] использовался программный пакет CharAnalysis [Higuera, 2007]. Программа позволяет произвести расчет скоростей накопления частиц угля (Charcoal accumulation rate, CHAR-индекс), а также определить фоновые и пороговые значения CHAR для отделения локального и регионального сигналов динамики лесных пожаров. Хронологической основой реконструкций выступает модель вертикальной скорости роста отложений (см. рис. 2). При расчете фоновых и пороговых значений скоростей накопления частиц угля в отложениях, а также для выявления локальных пожарных эпизодов применялась LOWESS (локально взвешенная линейная регрессия) как метод сглаживания с периодом сглаживания 300 лет. Период, по которому производилась интерполяция данных, составлял 25 лет.

Таблица

Результаты радиоуглеродного датирования отложений разреза «Тура»*

Лабораторный номер образца $IGAN_{AMS}$	Глубина отбора образца, см	Радиоуглеродный возраст ^{14}C, л. н. (1σ)	Интервал калиброванного возраста, кал. л. н., 2σ (вероятность)
7381	9–10	220±20	150–174 (0,444) 177–185 (0,022) 272–304 (0,447)
7382	36–37	2260±20	2162–2168 (0,011) 2178–2243 (0,477) 302–2343 (0,512)
7383	63–64	3390±20	3579–3649 (0,702) 3658–3691 (0,298)

Примечание: * – материал для датирования – растительные остатки.

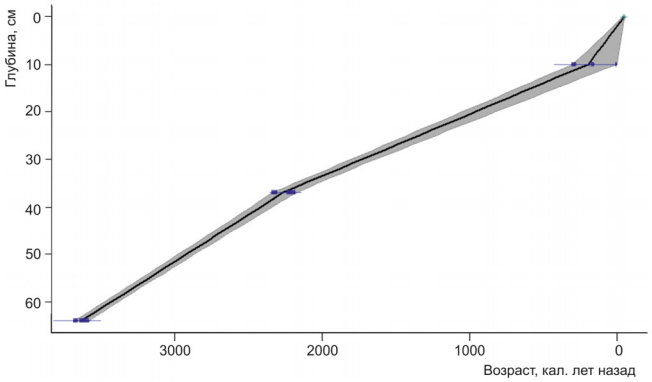


Рис. 2. Модель роста отложений разреза «Тура»

Fig. 2. Age-depth model of the “Tura” sediment core

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам радиоуглеродного датирования, отложения, вскрытые скважиной, начали накапливаться около 3600 кал. л. н. При описании скважины зафиксировано, что верхние 10 см разреза представлены торфом, ниже залегает суглинок тяжелый, с включением растительных остатков. Визуальные наблюдения хорошо согласуются с результатами измерения потерь при прокаливании (рис. 3). Содержание органического вещества в интервале глубин 64–10 см составляет 20–25% и в верхних 9 см резко возрастает, достигая 90% на глубине 3 см. AMS-датировка растительных остатков подошвы слоя торфа показала, что начало торфонакопления относится к временному интервалу 1782–1797 гг. н. э.

Анализ видовой принадлежности и таксономического разнообразия растительных остатков, выделенных из слоя торфа и подстилающих отложений, позволил разделить изученный разрез на три зоны (см. рис. 3), соответствующие фазам развития локальной растительности.

Зона 1 (64–30 см, 3600–1700 кал. л. н.). Выделено большое количество фрагментов древесины хвойных и лиственных пород, присутствует кора *Larix*, *Betula* и *Salix*. В небольшом количестве отмечены остатки *Carex* и других трав. Верхний образец из этой зоны (глубина 32–30 см, около 1800–1700 кал. л. н.) отличается полным отсутствием остатков древесины хвойных пород, в то время как фрагменты древесины лиственных по-прежнему обильны. Появляются остатки *Eriophorum, Menyanthes trifoliata, Calamagrostis,* доля остатков *Carex* увеличивается.

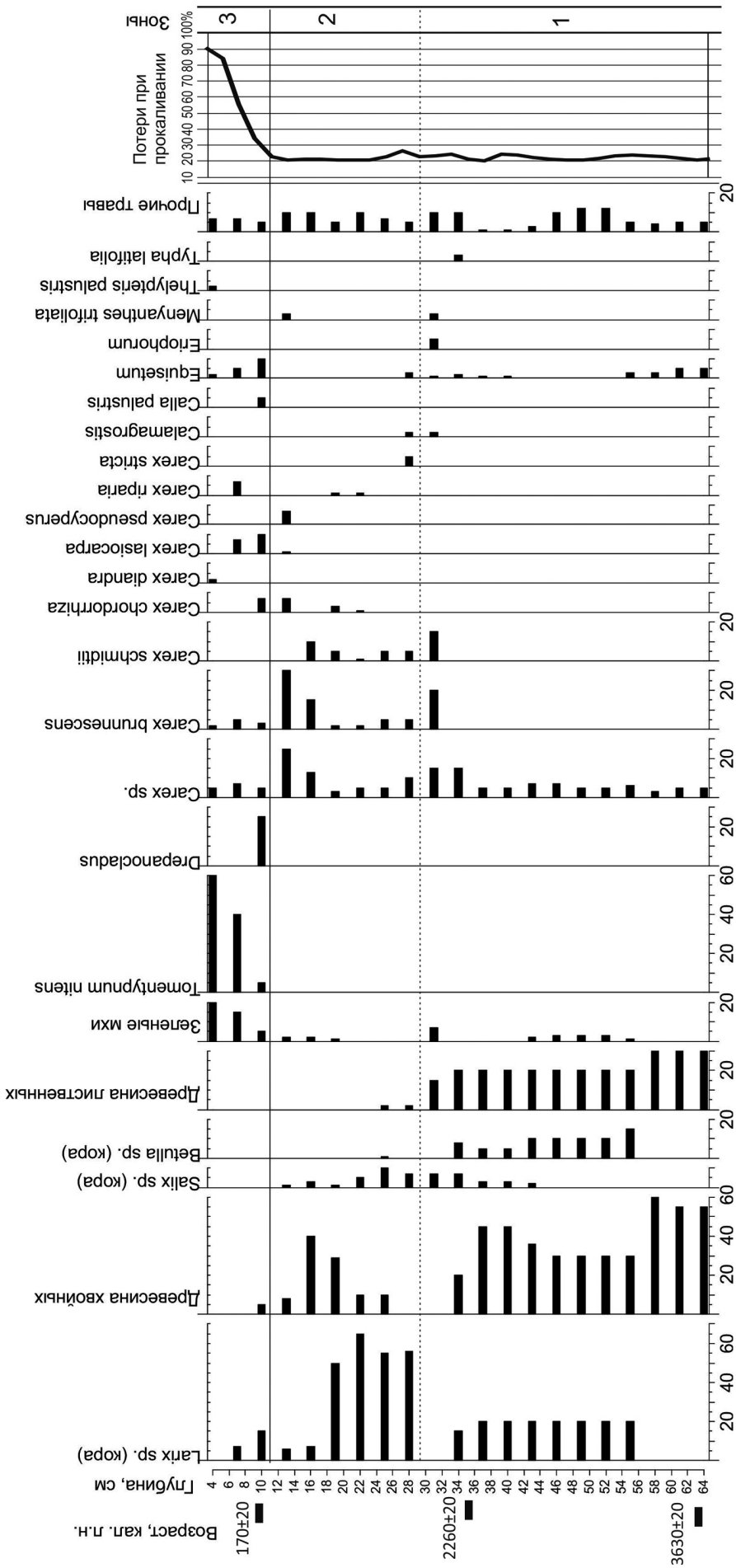


Рис. 3. Диаграмма макроостатков и потери при прокаливании разреза «Тура»

Fig. 3. Plant-macrofossil diagram and Loss-on-ignition of the "Tura" sediment core

Среди растительных остатков в зоне 2 (30–10 см, 1700–150 кал. л. н.) преобладают фрагменты древесины хвойных пород и коры лиственницы (60–80%). Доля остатков *Carex* составляет от 10 до 30%, в основном отмечены *Carex brunnescens* и *C. schmidtii*.

В зоне 3 (10–0 см, 150 кал. л. н. – настоящее время) увеличивается обилие остатков зеленых мхов, преимущественно *Tomentypnum nitens* (40–60%). Участие осок (*Carex lasiocarpa, C. riparia, C. brunnescens*) изменяется в пределах 5–10%. Отмечены остатки *Equisetum, Calla palustris* и *Thelypteris palustris.*

К сожалению, пыльца и споры были выделены в достаточном количестве только из верхних трех образцов, относящихся к слою торфа (рис. 4). В спорово-пыльцевых спектрах преобладает пыльца деревьев и кустарников. Обращает на себя внимание относительно высокое содержание пыльцы *Larix* (8,9–19,5%). Присутствует пыльца *Picea* (3%), *Betula* sect. *Betula* (10%), *Betula* sect. *Apterocaryon* (3–7%). Доля пыльцы *Alnus alnobetula* subsp. *fruticosa* (Rupr.) *Raus*. возрастает от 5% в основании слоя торфа до 20% в поверхностном образце. Пыльца *Pinus* subgen. *Diploxylon*, содержание которой составляет до 30%, очевидно, является дальнезаносной, поскольку северная граница ареала сосны обыкновенной расположена примерно на 200 км южнее изучаемой территории [Ареалы деревьев и кустарников СССР, 1977]. Пыльца *Cyperaceae* преобладает в группе NAP, выявлена пыльца *Poaceae, Ericaceae, Ranunculaceae, Papaveraceae, Rosaceae*, *Artemisia, Gentiana, Rubus chamaemorus, Valeriana.* Споры немногочисленны, отмечены споры *Sphagnum* и лесных плаунов *Huperzia selago, Lycopodium annotinum, L. clavatum,* встречающихся в лесных сообществах в районе исследований.

В образцах зафиксировано большое количество микрочастиц угля. В нижнем образце (глубина 10 см) их количество в семь раз превышает сумму AP + NAP. Выше по разрезу количество микрочастиц угля сокращается и становится примерно равным сумме подсчитанной пыльцы. Также в основании слоя торфа выявлено большое количество спор *Gelasinospora* HdV-1 (до 10%), рода грибов-сапротрофов из сем. *Sordariaceae*, являющегося индикатором пожаров [Shumilovskikh et al., 2015]. В приповерхностном слое торфа часто отмечены устьица лиственницы. В небольшом количестве отмечены споры грибов, наиболее часто поселяющихся на разлагающейся древесине и растительных остатках, *Brachysporium* sp. (HdV-359), *Clasterosporium caricinum* (HdV-25), *Glomus* (HdV-1103) и споры *Trigocladium opacum* (HdV-10), паразитирующего на эрикоидных кустарничках [Geel, 1978].

По данным изучения концентрации макрочастиц угля в торфе выделено пять периодов изменения частоты лесных пожаров (рис. 5).

На первом этапе (3600–2700 кал. л. н.) скорости аккумуляции древесного угля изменялись в диапазоне от 8 до 12 частиц на см^2 в год с максимумом, приходящимся на дату ~3100 кал. л. н. Для этой стадии было выделено шесть локальных пожарных эпизодов при частоте лесных пожаров примерно один пожар за 150 лет. Для второй стадии (~2700–1500 кал. л. н.) были характерны относительно низкие значения скоростей аккумуляции частиц угля в торфе (в пределах от трех до восьми частиц на см^2 в год). Выявлено четыре пожарных эпизода, что соответствует продолжительности межпожарного интервала около 300 лет. В течение следующей стадии (1500–700 кал. л. н.) скорость аккумуляции угля немного возрастает, но не превышает 10 частиц на см^2 в год. При этом частота пожаров возрастает примерно до одного пожара в 115 лет (выявлено семь пожарных эпизодов), что указывает, очевидно, на частые пожары с небольшой интенсивностью, тогда как в период между 3600 и 2700 кал. л. н. это были крупные пожары, продуцирующие большое количество угольных частиц. В период 700–170 кал. л. н. скорость аккумуляции угольных частиц понижается. За это время выявлен только один лесной пожар в окрестностях изучаемого разреза. В течение последних 240 лет (170 кал. л. н.) резко возрастают скорости аккумуляции макрочастиц древесного угля до значений ~21 (с максимумом ~38) частиц на см^2 в год. Межпожарный интервал сокращается до 80 лет.

Полученные палеоботанические данные отражают постепенное заболачивание лиственничного леса, произрастающего непосредственно в точке отбора проб. Но поскольку подобные лиственничные редины широко распространены в изучаемом регионе, результаты исследований на топологическом уровне могут служить моделью развития подобных экосистем. Трансформация леса в болото – это во многом саморазвивающийся процесс, однако, согласно результатам реконструкции изменений локальной растительности и периодичности пожаров, климатические условия позднего голоцена и пожары оказывали большое влияние на заболачивание территории.

Преобладание фрагментов древесины и коры лиственницы, березы и ивы, низкое содержание мхов и осок среди макроостатков в отложениях, сформировавшихся в период с 3600 до 1700 кал. л. н., позволяют сделать заключение, что в это время рассматриваемую территорию занимал лиственничный лес с примесью березы в условиях умеренного увлажнения. Кратковременное исчезновение макроостатков лиственницы в образцах, имеющих возраст между 1800 и 1700 кал. л. н., и пик концентрации макрочастиц угля на том же уровне, возможно, являются свидетельством крупного лесного пожара, ставшего причиной уничтожения древостоя и изменения водного баланса экосистемы.

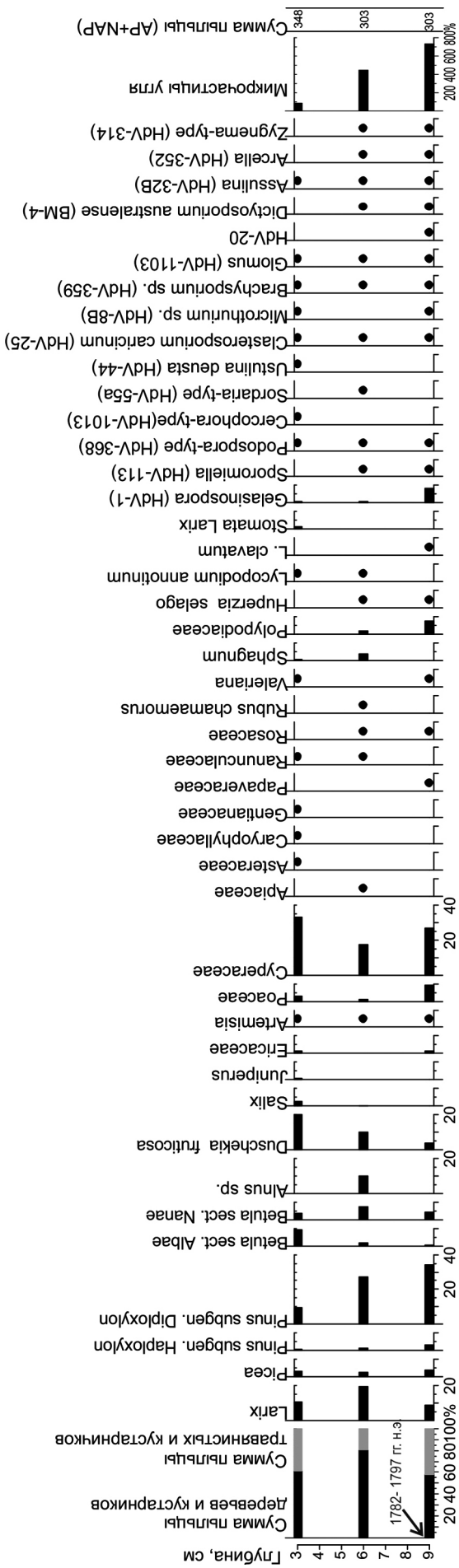


Рис. 4. Споово-пыльцевая диаграмма верхней части разреза «Тура» (AP + NAP = 100%)

Fig. 4. Pollen diagram of the upper part of the "Tura" sediment core (AP + NAP = 100%)

В течение достаточно долгого периода, начиная с 1700 и до 170 кал. л. н., в рассматриваемом местообитании произрастал лиственничный лес. В отложениях этого времени отмечено постепенное увеличение обилия макроостатков осок, среди которых определена *Carex brunnescens,* наиболее часто встречающаяся на болотистых лугах, в заболоченных и сырых лесах, редколесьях и кустарниках, и *C. schmidtii*, типичный вид сырых и болотистых лугов и травяных болот [Флора Красноярского края…, 1983]. Возможно, триггером развития процесса заболачивания лиственничного леса послужило не только увеличение влажности почвы после пожара, но и похолодание климата в период с 1600 по 1200 кал. л. н., прослеженное по дендрохронологическим данным Ямала, а также по обобщенной древесно-кольцевой хронологии севера Евразии [Сидорова и др., 2007] и изменениям изотопно-кислородного состава льдов Гренландии [Johnsen et al., 1992].

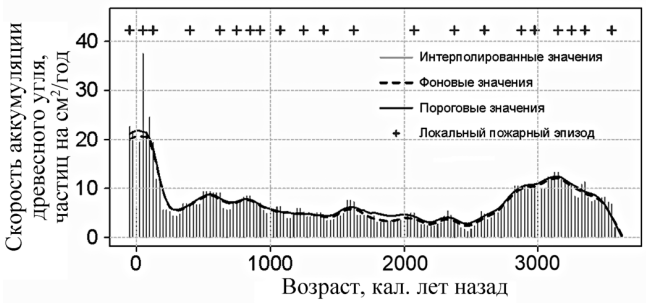


Рис. 5. Скорость аккумуляции частиц угля (CHAR-индекс), фоновые и пороговые значения CHAR и локальные пожарные эпизоды по данным изучения содержания макроскопических частиц угля в разрезе «Тура»

Fig. 5. Charcoal accumulation rate (CHAR index), background and threshold CHAR values and local fire episodes revealed by the study of macroscopic charcoal concentration in the “Tura” sediment core

Следующий «поворотный момент» в развитии лиственничного леса – начало торфонакопления и трансформация сомкнутого леса в лиственничную редину – произошел в 1782–1797 гг. н. э. (датировка 220 ± 20 ^{14}C л. н.). Причиной этих изменений также послужил пожар, на что указывают пик концентрации микро- и макрочастиц угля в основании слоя торфа, находки спор *Gelasinospora,* являющегося индикатором пожаров [Shumilovskikh et al., 2015]. В районе исследований в период с 1790 по 1800 гг. выявлена серия пожаров по дендрохронологическим данным, а в частности по изучению пожарных подсушин [Харук и др., 2005; Прокушкин и др., 2006; Knorre et al., 2019; Kirdyanov et al., 2020]. Один из них, очевидно, затронул описываемый нами участок.

Лесные пожары в области распространения многолетнемерзлых пород существенно меняют тепловой режим почвы за счет увеличения сезонно-талого слоя [Knorre et al., 2019; Kirdyanov et al., 2020]. Согласно исследованиям [Kirdyanov et al., 2020], протаивание почвы в районе исследований увеличивается с 30–50 см до 1,5–1,7 м в первые 30 лет после пожара. Возобновление лиственницы в таких условиях обычно происходит очень активно [Sofronov, Volokitina, 2010]. Относительно высокие значения содержания пыльцы лиственницы (до 19%) в образце из средней части слоя торфа указывают на сомкнутый полог леса, поскольку пыльца лиственницы очень плохо сохраняется в отложениях [Непомилуева, Дурягина, 1990]. Однако увеличение влажности почвы после пожара и возрастание освещенности благоприятно для развития мохового покрова. По наблюдениям А.А. Кнорре с соавт. [Knorre et al., 2019], корневые шейки стволов деревьев в лиственничнике, образовавшемся после опустошительного пожара 1899 г., находятся на глубине 20–45 см под слоем сфагновых мхов. По мере нарастания слоя мха, обладающего высокой теплоизоляционной способностью, температура грунтов понижается. Примерно через 70–80 лет глубина сезонно-талого слоя возвращается к значениям, характерным до пожара [Kirdyanov et al., 2020]. В изучаемом нами лиственничнике интенсивный рост зеленых мхов (*Tomentypnum nitens, Drepanocladus* sp.) привел к формированию торфяного слоя, ухудшению роста лиственницы и изреживанию древостоя.

Результаты анализа концентрации макроскопических частиц угля в разрезе отражают пожары не только в точке исследований, но и на окружающей территории. Полевые наблюдения за выпадением частиц угля из воздуха и модельные расчеты показали, что бóльшая часть частиц угля с линейным размером >125 мкм осаждается на расстоянии от нескольких сотен метров до 20 км в зависимости от типа, площади и интенсивности пожара [Higuera et al., 2007; Conedera et al., 2009].

Полученные данные позволяют выделить четыре этапа изменения режима пожаров на изучаемой территории. Первый этап охватывает временной интервал с 3600 до 2700 кал. л. н. (вторая половина суббореального периода голоцена). Межпожарный интервал составлял 150 лет и был продолжительнее, чем в настоящее время. Оценки частоты лесных пожаров на основе пожарных подсушин дендрохронологическим методом в Центральной Эвенкии на пробных площадях в окрестностях изучаемого нами разреза показали, что межпожарный интервал колебался примерно от 60 до 140 лет, составляя в среднем 82 ± 7 лет [Харук и др., 2005; Kharuk et al., 2011].

Похолодание климата в начале субатлантического периода (около 2700 кал. л. н.) привело к изменению частоты лесных пожаров. Реконструкции летних температур на основе древесно-кольцевых хронологий [Hantemirov, Shiyatov, 2002] и исследования патологических нарушений древесины лиственницы сибирской на Ямале [Хантемиров и др., 2011] указывают на существенное похолодание в Арктике 2700–2500 кал. л. н., что хорошо согласуется с данными по изменению изотопно-кислородного состава льдов Гренландии [Johnsen et al., 1992] и климатическими реконструкциями для Северного полушария [Christiansen, Ljungqvist, 2017]. Как следствие, в период с 2700 по 1500 кал. л. н. межпожарный интервал на рассматриваемой нами территории увеличился до 300 лет. По дендрохронологическим данным подобная частота пожаров характерна для лиственничников на северной границе леса [Kharuk et al., 2011].

Следующий период изменения режима пожаров с 1500 до 700 кал. л. н. включает потепление климата средневекового климатического оптимума (СКО, 800–1300 гг. н. э.) [PAGES 2k Consortium, 2013]. Рост летних температур прослежен по данным древесно-кольцевых хронологий на Ямале, на востоке Таймыра и на плато Путорана [Воронин и др., 2014]. Реконструкция температур и условий увлажнения Северной Евразии в целом свидетельствуют о значительном потеплении в период СКО, а также о чередовании относительно влажных и сухих фаз на территории Сибири [Feurdean et al., 2019] и Центральной Азии [Chen et al., 2010]. Климатические изменения послужили причиной увеличения частоты пожаров на изучаемой территории, межпожарный интервал сократился до 115 лет.

Резкое и глубокое похолодание климата Малого ледникового периода (МЛП), пришедшего на смену СКО, прослеживается повсеместно как на рассматриваемой территории, так и в Сибирском секторе Арктики [Хантемиров и др., 2011; Воронин и др., 2014; Сидорова и др., 2007] и в Северном полушарии в целом [Christiansen, Ljungqvist, 2017; PAGES 2k Consortium, 2013]. Согласно результатам дендрохронологических исследований, число пожаров в лиственничных лесах в криолитозоне Средней Сибири в течение МЛП было существенно ниже, чем в предыдущие и последующие эпохи [Kharuk et al., 2011]. В условиях более короткого и, возможно, более холодного лета в МЛП испарение было снижено, что могло приводить к увеличению грунтовой влажности во многих местообитаниях [Feurdean et al., 2019], что неблагоприятно для возникновения и распространения лесных пожаров. По данным изучения концентрации макрочастиц угля в рассматриваемом нами разрезе, в период с 700 до 150 кал. л. н. на изучаемой территории произошел только один крупный пожар, а межпожарный интервал составил 275 лет.

Концентрация макрочастиц угля в слое торфа, сформировавшемся в течение последних 240 лет, возросла до максимальных значений за весь поздний голоцен (см. рис. 4). Полученные данные свидетельствую, что межпожарный интервал сократился до 80 лет и был близок к среднему его значению, восстановленному по результатам изучения пожарных подсушин в районе исследований за тот же период [Kharuk et al., 2011]. Наиболее крупные пожары в изучаемом районе случались в 1846, 1896–1899 и 1914–1916 гг. [Харук и др., 2005; Knorre et al., 2019; Kirdyanov et al., 2020]. Согласно дендрохронологическим данным опустошительный пожар 1899 г. охватывал территорию около 250 км^2, включая, вероятно, и участок исследований. Возможно, этому пожару соответствует пик концентрации макроскопических частиц угля на глубине 5 см, более чем вдвое превышающий ее средние значения по разрезу. К сожалению, модель роста отложений изученного разреза, основанная на радиоуглеродных датировках, не позволяет так же точно датировать пожарные события, как древесно-кольцевые хронологии. Как показали исследования режима пожаров на севере Сибири, в XX в. количество пожаров росло и межпожарный интервал проявлял тенденцию к сокращению [Харук и др., 2005; Kharuk et al., 2011; Kirdyanov et al., 2020], что обусловлено, очевидно, климатическими изменениями.

ВЫВОДЫ

Результаты комплексного исследования заболоченного лиственничника в Центральной Эвенкии позволяют сделать следующие выводы.

На примере изученного лиственничника полученные данные показали, что пожары – важный фактор эволюции лесных геосистем района исследований и в позднем голоцене являлись триггером развития процесса заболачивания.

Реконструкция пожарных событий на основе анализа концентрации макроскопических частиц угля в отложениях позволила выявить связь между периодичностью лесных пожаров и изменениями климатических условий изучаемой территории. Частота пожаров была выше в теплые интервалы позднего голоцена и понижалась в холодные и влажные.

Установлено, что за 3,5 тыс. лет максимальных значений частота лесных пожаров на изучаемой территории достигла в последние 240 лет. Межпожарный интервал, реконструированный на основе анализа макроскопических частиц угля в отложениях, составил около 80 лет, что близко к его среднему значению для этой территории, восстановленному по дендрохронологическим данным за тот же период [Харук и др., 2005].

Благодарности. Полевые исследования выполнены по проекту Holocene climate and environmental records from the Central Siberian Plateau, финансируемому Швейцарским полярным институтом (Swiss Polar Institute); аналитические исследования, обработка данных и подготовка статьи выполнены при поддержке проекта РНФ № 20-17-00043.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ареалы деревьев и кустарников СССР / под ред. С.Я. Соколова, О.А. Связевой, В.А. Кубли. Т. 1. Л.: Наука, 1977. 164 с.

Валендик Э.Н., Кисиляхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Данилова И.В. Ландшафтные пожары тайги Центральной Сибири // Известия РАН. Серия географическая. 2014. № 3. С. 73–86.

Воронин В.И., Хантемиров Р.М., Наурзбаев М.М. Сверхдлинные сибирские древесно-кольцевые хронологии – надежные архивы для палеоклиматических реконструкций // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. 2014. № 3. С. 409–415.

Карпенко Л.В. Растительный покров и оценка видового разнообразия заболоченных лиственничников и болот Центральной Эвенкии // Хвойные бореальной зоны. 2013. № 5–6. С. 22–28.

Кривобоков Л.В., Зверев А.А. Классификация растительности и особенности ценофлоры лиственничных лесов криолитозоны Средней Сибири (бассейн р. Нижняя Тунгуска) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2015. № 14. С. 99–104.

Непомилуева Н.И., Дурягина Д.А. К истории лиственничников среднего Тимана в голоцене (Коми АССР) // Ботанический журнал. 1990. Т. 75. № 3. С. 326–335.

Прокушкин С.Г., Бугаенко Т.Н., Прокушкин А.С., Шикунов В.Г. Сукцессионная трансформация растительного и почвенного покрова на солифлюкционных площадях в криолитозоне Центральной Эвенкии // Известия РАН. Серия биологическая. 2010. № 1. С. 95–104.

Прокушкин А.С., Кнорре А.А., Кирдянов А.В., Шульце Е.-Д. Продуктивность мхов и накопление органического вещества в подстилке лиственничника сфагнового в криолитозоне // Экология. 2006. № 4. С. 252–260.

Прокушкин А.С., Токарева И.В., Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Гуггенбергер Г. Потоки растворенного органического вещества в лиственничниках криолитозоны Средней Сибири // Экология. 2008. № 3. С. 163–172.

Санников С.Н., Санникова Н.С. Эволюционные аспекты пироэкологии светлохвойных видов // Лесоведение. 2009. № 3. С. 3–10.

Сидорова О.В., Наурзбаев М.М., Ваганов Е.А. Динамика климата позднего голоцена Северной Евразии по данным ледниковых кернов Гренландии и длительных древесно-кольцевых хронологий // Известия РАН. Серия географическая. 2007. № 1. С. 95–106.

Тюремнов С.Н. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. 90 с.

Флора Красноярского края / под ред. А.В. Положий. Вып. 1. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1983. 83 с.

Хантемиров Р.М., Горланова Л.А., Сурков А.Ю., Шиятов С.Г. Экстремальные климатические события на Ямале за последние 4100 лет по дендрохронологическим данным // Известия РАН. Серия географическая. 2011. № 2. С. 89–102.

Харук В.И., Двинская М.Л., Рэнсон К.Дж. Пространственно-временная динамика пожаров в лиственничных лесах северной тайги Средней Сибири // Экология. 2005. № 5. С. 334–343.

Blaauw M. Methods and code for “classical” age-modelling of radiocarbon sequences, *Quaternary Geochronology*, 2010, vol. 5, p. 512–518.

Bobrovsky M.V., Kupriyanov D.A., Khanina L.G. Anthracological and morphological analysis of soils for the reconstruction of the forest ecosystem history (Meshchera lowlands, Russia), *Quaternary International*, 2019, vol. 516, p. 70–82.

Chen F.H., Chen J.H., Holmes J.A., Boomer I., Austin P., Gates J.B., Wang N.L., Brooks S.J., Zhang J.W. Moisture changes over the last millennium in the arid central Asia: a review, synthesis and comparison with monsoon region, *Quaternary Science Reviews*, 2010, vol. 29, p. 1055–1068.

Christiansen B., Ljungqvist F.C. Challenges and perspectives for large-scale temperature reconstructions of the past two millennia, *Reviews of Geophysics*, 2017, vol. 55, no. 1, p. 40–96.

Clear J.L., Molinari C., Bradshaw R.H.W. Holocene fire in Fennoscandia and Denmark, *International Journal of Wildland Fire*, 2014, vol. 23, no. 6, p. 781–789.

Conedera M., Tinner W., Neff C., Meurer M., Dickens A.F., Krebs P. Reconstructing past fire regimes: Methods, applications, and relevance to fire management and conservation, *Quaternary Science Reviews*, 2009, vol. 28, no. 5–6, p. 555–576.

Feurdean A., Gałka M., Florescu G., Diaconu A.-C., Tanţău I., Kirpotin S., Hutchinson S.M. 2000 years of variability in hydroclimate and carbon accumulation in western Siberia and the relationship with large-scale atmospheric circulation: A multi-proxy peat record, *Quaternary Science Reviews*, 2019, vol. 226, p. 105948, DOI: 10.1016/j.quascirev.2019.105948.

Feurdean A., Vannière B., Finsinger W., Warren D., Connor S.C., Forrest M., Liakka J., Panait A., et al. Fire hazard modulation by long-term dynamics in land cover and dominant forest type in eastern and central Europe, *Biogeosciences*, 2020, vol. 17, p. 1213–1230, DOI: 10.5194/bg-17-1213-2020.

Hantemirov R.M., Shiyatov S.G. A continuous multimillennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia, *The Holocene*, 2002, vol. 12, no. 6, p. 717–726.

Higuera P.E., Peters M.E., Brubaker L.B., Gavin D.G. Understanding the origin and analysis of sediment-charcoal records with a simulation model, *Quaternary Science Reviews*, 2007, vol. 26, no. 13–14, p. 1790–1809.

Johnsen S., Clausen H., Dansgaard W., Fuhrer K., Gundestrup N., Hammer C., Iversen P., Jouzel J., Stauffer B., Steffensen J. Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core, *Nature*, 1992, vol. 359, p. 311–313.

Kasin I., Blanck Y., Storaunet K.O., Rolstad J., Ohlson M. The charcoal record in peat and mineral soil across a boreal landscape and possible linkages to climate change

and recent fire history, *The Holocene*, 2013, vol. 23, no. 7, p. 1052–1065.

Kharuk V.I., Ranson K.J., Dvinskaya M.L., Im S.T. Wildfires in northern Siberian larch dominated communities, *Environmental Research Letters*, 2011, vol. 6, p. 045208, DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045208.

Kirdyanov A.V., Saurer M., Siegwolf R., Knorre A.A., Prokushkin A.S., Churakova (Sidorova) O.V., Fonti M.V., Büntgen U. Long-term ecological consequences of forest fires in the continuous permafrost zone of Siberia, *Environmental Research Letters*, 2020, vol. 15, p. 034061, DOI: 10.1088/1748-9326/ab7469.

Knorre A.A., Kirdyanov A.V., Prokushkin A.S., Krusic P.J., Büntgen U. Tree ring-based reconstruction of the long-term influence of wildfires on permafrost active layer dynamics in Central Siberia, *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 652, p. 314–319, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.124.

Molinari C., Lehsten V., Bradshaw R.H.W., Power M.J., Harmand P., Arneth A., Kaplan J.O., Vannière B., Sykes M.T. Exploring potential drivers of European biomass burning over the Holocene: a data-model analysis, *Global Ecology and Biogeography*, 2013, vol. 22, p. 1248–1260.

Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments, *Mires and Peat*, 2011, vol. 7, p. 1–18.

Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. Pollen Analysis, Blackwell, Oxford, 1991, 216 p.

Novenko E., Tsyganov A., Volkova E., Kupriyanov D., Mironenko I., Babeshko K., Utkina A., Popov V., Mazei Yu. Mid- and Late Holocene vegetation dynamics and fire history in the boreal forest of European Russia: A case study from Meshchera Lowlands, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2016, vol. 459, p. 570–584.

PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia, *Nature Geoscience*, 2013, vol. 6, p. 339–346.

Pitänen A., Tolonen K., Jungner H. A basin-based approach to the long-term history of forest fires as determined from peat strata, *The Holocene*, 2001, vol. 11, no. 5, p. 599–605.

Power M.J., Marlon J., Ortiz N. et al. Changes in fire regimes since the last glacial maximum: An assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data, *Climate Dynamics*, 2008, vol. 30, no. 7–8, p. 887–907, DOI: 10.1007/s00382-007-0334-x.

Shumilovskikh L.S., Schlütz F., Achterberg I., Bauerochse A., Leuschner H.H. Nonpollen palynomorphs from mid-Holocene peat of the raised bog Borsteler Moor (Lower Saxony, Germany), *Studia Quaternaria*, 2015, vol. 32(1), p. 5–18, DOI: 10.1515/squa-2015-0001.

Sofronov M.A., Volokitina A.V. Wildfire ecology in continuous permafrost zone, *Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests, Ecological Studies,* Osawa A., Zyryanova O.A., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R.W. (eds.), 2010, vol. 209, p. 59–82.

Geel van B. A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae cormophytes and animals, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1978, vol. 25, p. 1–120.

Whitlock C., Higuera P.E., McWethy D.B., Briles C.E. Paleoecological Perspectives on Fire Ecology: Revisiting the Fire-Regime Concept, *The Open Ecology Journal*, 2010, vol. 3, p. 6–23.

Электронный ресурс

Climate Explorer, URL: http://climexp.knmi.nl/data/t24507.dat (access date 12.10.2020).

Поступила в редакцию 22.11.2020
После доработки 15.02.2021
Принята к публикации 18.03.2021

IMPACT OF FIRES ON THE DYNAMICS OF FOREST ECOSYSTEMS IN CENTRAL EVENKIA DURING THE LAST 3.5 KA

N.G. Mazei[1], A.S. Prokushkin[2], D.A. Kypriyanov[3], E.Yu. Novenko[4]

[1, 3, 4] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science*
[2] *Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center SB RAS"*
[4] *Institute of Geography Russian Academy of Sciences, Department of Quaternary Research, Senior Scientific Researcher*

[1] *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Biology; e-mail: natashamazei@mail.ru*
[2] *Head of the laboratory, Ph.D. in Biology; e-mail: prokushkin@ksc.krasn.ru*
[3] *Ph.D. student; e-mail: dmitriykupriyanov1994@yandex.ru*
[4] *Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: lenanov@mail.ru*

The paper discuss new evidence of vegetation changes and fire frequency over the past 3,5 ka BP in the middle part of the Lower Tunguska River basin (Central Evenkia) based on multy-proxy studies of the sediment core from a swampy larch forest. The sampling plot is located within the area of the Evenki scientific station of the V. N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS. New paleobotanical data, the results of macroscopic charcoal analysis and detailed radiocarbon dating of the sediment core are presented.

The example of the local ecosystem under study proves that fires were an important factor in the evolution of forest ecosystems within the cryolithozone of Central Siberia and triggered the paludification process during the Late Holocene. Five stages of fire frequency changes were identified. During the first stage

(3600–2700 cal. yr. BP), the fire-free interval was 150 years, and during the next stage (2700–1500 cal. yr. BP) it increased up to 300 years. Between 1500 and 700 cal. yr. BP, including the climate warming of the Medieval Climatic Anomaly, the fire-free interval went down to 115 years. The significant cooling during the Little Ice Age (700–200 cal. yr. BP) led to reduction in the number of fires, and the fire-free interval was 275 years. The data obtained showed that during the period under review (3,5 ka), the frequency of forest fires in the study area reached its maximum within the last 200 years. The fire return period was about 80 years, which is close to the average fire-free interval in the study area reconstructed by dendrochronological data for the same period. The reconstruction of the fire regime demonstrated that the frequency of forest fires was higher during warm phases of the Late Holocene and decreased in the cold intervals. We suggest that during the periods of cooling the shorter and possibly colder summers reduced the evaporation and increased the ground moisture in many habitats, which was unfavorable for the initiation and expansion of forest fires.

Keywords: macro-charcoal analysis, paleobotanical data, forest paludification

Acknowledgements. Field research was carried out under the project " Holocene climate and environmental records from the Central Siberian Plateau" funded by the Swiss Polar Institute; analytical work, data processing and preparation of the paper were financially supported by the Russian Science Foundation (project 20-17-00043).

REFERENCES

Arealy dereviev i kustarnikov SSSR [Areals of trees and shrubs of the USSR] Sokolov S.Ya., Svyaseva O.A, Kubli V.A (eds.), vol. 1, Leningrad, Nauka Publ., 1977, 164 p. (In Russian)

Blaauw M. Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences, *Quaternary Geochronology*, 2010, vol. 5, p. 512–518.

Bobrovsky M.V., Kupriyanov D.A., Khanina L.G. Anthracological and morphological analysis of soils for the reconstruction of the forest ecosystem history (Meshchera lowlands, Russia), *Quaternary International*, 2019, vol. 516, p. 70–82.

Chen F.H., Chen J.H., Holmes J.A., Boomer I., Austin P., Gates J.B., Wang N.L., Brooks S.J., Zhang J.W. Moisture changes over the last millennium in the arid central Asia: a review, synthesis and comparison with monsoon region, *Quaternary Science Reviews,* 2010, vol. 29, p. 1055–1068.

Christiansen B., Ljungqvist F.C. Challenges and perspectives for large-scale temperature reconstructions of the past two millennia, *Reviews of Geophysics*, 2017, vol. 55, no. 1, p. 40–96.

Clear J.L., Molinari C., Bradshaw R.H.W. Holocene fire in Fennoscandia and Denmark, *International Journal of Wildland Fire*, 2014, vol. 23, no. 6, p. 781–789.

Conedera M., Tinner W., Neff C., Meurer M., Dickens A. F., Krebs P. Reconstructing past fire regimes: Methods, applications, and relevance to fire management and conservation, *Quaternary Science Reviews*, 2009, vol. 28, no. 5–6, p. 555–576.

Feurdean A., Gałka M., Florescu G., Diaconu A.-C., Tanţău I., Kirpotin S., Hutchinson S.M. 2000 years of variability in hydroclimate and carbon accumulation in western Siberia and the relationship with large-scale atmospheric circulation: A multi-proxy peat record, *Quaternary Science Reviews*, 2019, vol. 226, p. 105948, DOI: 10.1016/j.quascirev.2019.105948.

Feurdean A., Vannière B., Finsinger W., Warren D., Connor S.C., Forrest M., Liakka J., Panait A., et al. Fire hazard modulation by long-term dynamics in land cover and dominant forest type in eastern and central Europe, *Biogeosciences*, 2020, vol. 17, p. 1213–1230, DOI: 10.5194/bg-17-1213-2020.

Flora Krasnojarskogo kraja [Flora of the Krasnoyarsk territory], Polozhij A.V. (ed.), vol. 1, Tomsk, Izd-vo Tomsk. un-ta Publ., 1983, 83 p. (In Russian)

Hantemirov R.M., Gorlanova L.A., Surkov A.Ju., Shijatov S.G. Ekstremal'nye klimaticheskie sobytija na Jamale za poslednie 4100 let po dendrohronologicheskim dannym [Extreme climate events in the Yamal Peninsula during the last 4,100 years according to dendrochronological data], *Izvestija Rossijskoj akademii nauk, Ser. geograficheskaja*, 2011, no. 2, p. 89–102. (In Russian)

Hantemirov R.M., Shiyatov S.G. A continuous multimillennial ring-width chronology in Yamal, northwestern Siberia, *The Holocene*, 2002, vol. 12, no. 6, p. 717–726.

Haruk V.I., Dvinskaja M.L., Rjenson K.Dzh. Prostranstvenno-vremennaja dinamika pozharov v listvennichnyh lesah severnoj tajgi Srednej Sibiri [Spatio-temporal dynamics of fires in larch forests of the northern taiga of Central Siberia], *Ekologija,* 2005, no. 5, p. 334–343. (In Russian)

Higuera P.E., Peters M.E., Brubaker L.B., Gavin D.G. Understanding the origin and analysis of sediment-charcoal records with a simulation model, *Quaternary Science Reviews,* 2007, vol. 26, no. 13–14, p. 1790–1809.

Johnsen S., Clausen H., Dansgaard W., Fuhrer K., Gundestrup N., Hammer C., Iversen P., Jouzel J., Stauffer B., Steffensen J. Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core, *Nature,* 1992, vol. 359, p. 311–313.

Karpenko L.V. Rastitel'nyj pokrov i ocenka vidovogo raznoobrazija zabolochennyh listvennichnikov i bolot Central'noj Jevenkii [Vegetation cover and assessment of species diversity of swampy larch forests and swamps of Central Evenkia], *Hvojnye boreal'noj zony,* 2013, no. 5–6, p. 22–28. (In Russian)

Kasin I., Blanck Y., Storaunet K.O., Rolstad J., Ohlson M. The charcoal record in peat and mineral soil across a boreal landscape and possible linkages to climate change and recent fire history, *The Holocene*, 2013, vol. 23, no. 7, p. 1052–1065.

Kharuk V.I., Ranson K.J., Dvinskaya M.L., Im S.T. Wildfires in northern Siberian larch dominated communities, *Environmental Research Letters,* 2011, vol. 6, p. 045208, DOI: 10.1088/1748-9326/6/4/045208.

Kirdyanov A.V., Saurer M., Siegwolf R., Knorre A.A., Prokushkin A.S., Churakova (Sidorova) O.V., Fonti M.V., Büntgen U. Long-term ecological consequences of forest fires in the continuous permafrost zone of Siberia, *Environmental Research Letters,* 2020, vol. 15, p. 034061, DOI: 10.1088/1748-9326/ab7469.

Knorre A.A., Kirdyanov A.V., Prokushkin A.S., Krusic P.J., Büntgen U. Tree ring-based reconstruction of the long-term influence of wildfires on permafrost active layer dynamics in Central Siberia, *Science of The Total Environment,* 2019, vol. 652, p. 314–319.

Krivobokov L.V., Zverev A.A. Klassifikacija rastitel'nosti i osobennosti cenoflory listvennichnyh lesov kriolitozony Srednej Sibiri (bassejn r. Nizhnjaja Tunguska) [Classification of plant community and traits of coenoflora of larch forests of Middle Siberia permafrost zone (Nizhnyaya Tunguska River basin)], *Problemy botaniki Juzhnoj Sibiri i Mongolii,* 2015, no. 14, p. 99–104. (In Russian)

Molinari C., Lehsten V., Bradshaw R.H.W., Power M.J., Harmand P., Arneth A., Kaplan J.O., Vannière B., Sykes M.T. Exploring potential drivers of European biomass burning over the Holocene: a data-model analysis, *Global Ecology Biogeography*, 2013, vol. 22, p. 1248–1260.

Mooney S., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments, *Mires and Peat,* 2011, vol. 7, p. 1–18.

Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. *Pollen Analysis*, Blackwell, Oxford, 1991, 216 p.

Nepomilueva N.I., Durjagina D.A. K istorii listvennichnikov srednego Timana v golocene (Komi ASSR) [On the history of larch forests of the middle Timan in the Holocene (Komi ASSR)], *Botanicheskij zhurnal,* 1990, no. 3, p. 326–335. (In Russian)

Novenko E., Tsyganov A., Volkova E., Kupriyanov D., Mironenko I., Babeshko K., Utkina A., Popov V., Mazei Yu. Mid- and Late Holocene vegetation dynamics and fire history in the boreal forest of European Russia: A case study from Meshchera Lowlands, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 2016, vol. 459, p. 570–584.

PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia, *Nature Geoscience,* 2013, vol. 6, p. 339–346.

Pitänen A., Tolonen K., Jungner H. A basin-based approach to the long-term history of forest fires as determined from peat strata, *The Holocene,* 2001, vol. 11, no. 5, p. 599–605.

Power M.J., Marlon J., Ortiz N., et al. Changes in fire regimes since the last glacial maximum: An assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data, *Climate Dynamics,* 2008, vol. 30, no. 7–8, p. 887–907.

Prokushkin A.S., Knorre A.A., Kirdyanov A.V., Schulze E.-D. Produktivnost' mhov i nakoplenie organicheskogo veshchestva v podstilke listvennichnika sfagnovogo v kriolitozone [Productivity of mosses and organic matter accumulation in the litter of *Sphagnum* larch forest in the permafrost zone], *Ekologija,* 2006, no. 4, p. 252–260. (In Russian)

Prokushkin A.S., Tokareva I.V., Prokushkin S.G., Abaimov A.P., Guggenberger G. Potoki rastvorennogo organicheskogo veshhestva v listvennichnikah kriolitozony Srednej Sibiri [Flows of dissolved organic matter in larch forests of the cryolithozone of Central Siberia], *Ekologija,* 2008, no. 3, p. 163–172. (In Russian)

Prokushkin S.G., Bugaenko T.N., Prokushkin A.S., Shkikunov V.G. Sukcessionnaja transformacija rastitel'nogo i pochvennogo pokrova na solifljukcionnyh ploshhadjah v kriolitozone Central'noj Jevenkii [Successional transformation of vegetation and soil cover within solifluction areas of the cryolithozone of Central Evenkia], *Izvestija RAN, Ser. biologicheskaja*, 2010, no. 1, p. 95–104. (In Russian)

Sannikov S.N., Sannikova N.S. Evoljucionnye aspekty piroekologii svetlohvojnyh vidov [Evolutionary aspects of pyroekologii of light coniferous species], *Lesovedenie,* 2009, no. 3, p. 3–10. (In Russian)

Shumilovskikh L.S., Schlütz F., Achterberg I. et al. Nonpollen palynomorphs from mid-Holocene peat of the raised bog Borsteler Moor (Lower Saxony, Germany), *Studia Quaternaria*, 2015, vol. 32(1), p. 5–18.

Sidorova O.V., Naurzbaev M.M., Vaganov E.A. Dinamika klimata pozdnego golocena Severnoj Evrazii po dannym lednikovyh kernov Grenlandii i dlitel'nyh drevesnokol'cevyh hronologij [Climate dynamics of the Late Holocene of Northern Eurasia based on Greenland ice cores and long-term tree-ring chronologies], *Izvestija RAN*, *Ser. geograficheskaja*, 2007, no. 1, p. 95–106. (In Russian)

Tjuremnov S.N. *Atlas rastitel'nyh ostatkov, vstrechaemyh v torfe* [Atlas of plant residues found in peat], Moscow, Leningrad, Gosjenergoizdat Publ., 1959, 90 p. (In Russian)

Valendik Je.N., Kisiljahov E.K., Ryzhkova V.A., Ponomarev E.I., Danilova I.V. Landshaftnye pozhary tajgi Central'noj Sibiri [Landscape fires in the taiga of Central Siberia], *Izvestija RAN. Ser. geograficheskaja,* 2014, no. 3, p. 73–86. (In Russian)

van Geel B. A palaeoecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands, based on the analysis of pollen, spores and macro- and microscopic remains of fungi, algae cormophytes and animals, *Review of Palaeobotany and Palynology,* 1978, vol. 25, p. 1–120.

Voronin V.I., Hantemirov R.M., Naurzbaev M.M. Sverhdlinnye sibirskie drevesno-kol'cevye hronologii – nadezhnye arhivy dlja paleoklimaticheskih rekonstrukcij [Ultra-long Siberian tree-ring chronologies as reliable archives for paleoclimatic reconstructions], *Razvitie zhizni v processe abioticheskih izmenenij na Zemle,* 2014, no. 3, p. 409–415. (In Russian)

Whitlock C., Higuera P.E., McWethy D.B., Briles C.E. Paleoecological Perspectives on Fire Ecology: Revisiting the Fire-Regime Concept, *The Open Ecology Journal,* 2010, vol. 3, p. 6–23.

Sofronov M.A., Volokitina A.V. Wildfire ecology in continuous permafrost zone, *Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests, Ecological Studies*, A. Osawa, O.A. Zyryanova, Y. Matsuura, T. Kajimoto, R.. Wein (eds.), 2010, vol. 209, p. 59–82.

Web source

Climate Explorer, URL: http://climexp.knmi.nl/data/t24507.dat (access date 12.10.2020).

Received 22.11.2020
Revised 15.02.2021
Accepted 18.03.2021

УДК 554.453

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВЕСЕННИЙ СТОК В БАССЕЙНЕ ДОНА

Н.А. Варенцова[1], М.Г. Гречушникова[2], Е.С. Повалишникова[3], М.Б. Киреева[4], М.А. Харламов[5], Н.Л. Фролова[6]

[1–6] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши*
[1] *Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, начальник отдела гидрологических прогнозов*
[5] *Институт водных проблем РАН, лаборатория моделирования поверхностных вод, инженер*

[1] *Инженер; e-mail: efrnatalie@gmail.com*
[2] *Канд. геогр. н., вед. науч. с.; e-mail: allavis@mail.ru*
[3] *Канд. геогр. н., ст. науч. с.; e-mail: elenapovalishnikova@gmail.com*
[4] *Канд. геогр. н., доцент; e-mail: kireeva_mb@mail.ru*
[5] *Мл. науч. с.; e-mail: maks-xool@mail.ru*
[6] *Докт. геогр. н., профессор; e-mail: frolova_nl@mail.ru*

В статье рассмотрены современные особенности стока весеннего половодья в бассейне Дона за 1930–2017 гг. Его масштабные изменения за последние полвека приурочены к 1980 и 2006–2010 гг. В эти периоды наблюдались наиболее существенные климатические изменения, усугубленные в XX в. значительно возросшим антропогенным регулированием стока многочисленными водохранилищами. Применение метода интегральных кривых совместно со статистическим анализом слоя весеннего стока по данным 50 гидрологических постов позволило разделить вклад климатических изменений и антропогенной составляющей в формирование современных тенденций сокращения половодного стока на реках бассейна Дона. По результатам проведенных исследований установлено его сокращение за последние 40 лет в среднем на 30–40%: от 10% в верховьях Воронежа, Хопра и Медведицы до более чем 50–60% в бассейнах рек Северский Донец и Оскол. По характеру изменения весеннего стока реки бассейна Дона разделены на три группы: с началом периода сокращения стока после 1980 г., после 2006–2010 гг. и без изменений весеннего стока. По проведенным оценкам величина видимого испарения с поверхности водохранилищ в бассейне Дона выше Цимлянского водохранилища сравнительно невелика и составляет 0,09 км^3 или 0,5% от среднегодового стока Дона в створе города Калач-на-Дону. Однако в маловодные годы на водосборах с интенсивной хозяйственной деятельностью этот фактор может значительно усиливать дефицит водных ресурсов. Подсчитано, что доля суммарного полезного объема водохранилищ в бассейнах крупнейших притоков Дона составляет в среднем 43% от сокращения объема их стока в период половодья, что свидетельствует о значительной возможности сезонного перераспределения стока воды водохранилищами объемом более 0,1 км^3. Проведена оценка техногенного потенциала регулирования (ТПР) водохранилищ бассейна объемом более 0,1 км^3. Отмечено сокращение весеннего стока на реках при росте ТПР водохранилищ в их бассейнах.

Ключевые слова: внутригодовое распределение стока, водохранилище, техногенный потенциал регулирования, половодье, изменение климата

ВВЕДЕНИЕ

Весеннее половодье в бассейне Дона – важнейшая фаза гидрологического режима питающих его рек, формирующаяся под действием прямых и косвенных факторов. К первой группе относятся запасы воды в снежном покрове и ледяной корке, осадки в период снеготаяния, а также запасы грунтовых вод и почвенной влаги. Среди косвенных факторов наиболее существенные – режимы температуры воздуха и выпадения осадков в осенне-зимний период, глубина промерзания почвы, дружность весны. Большое значение имеют типы почв и растительности, рельеф и экспозиция склонов и т. д.

Квазипостоянными среди них являются факторы подстилающей поверхности: размеры и форма речного водосбора, геология, рельеф, растительность и фильтрационные свойства почвогрунтов. В вековом масштабе эти характеристики могут претерпевать некоторые изменения, однако в разрезе десятков лет, которыми обычно оперируют при проведении исследований, они практически не изменяются, но определяют пространственно-временное перераспределение выпадающих осадков, задержание талых вод на поверхности и в толще водосбора, испарение и время добегания склонового и руслового стока.

Отмечаемые на современном этапе изменения водного стока в бассейне Дона состоят в его увеличении в период межени и катастрофическом уменьшении в половодье [Болгов и др., 2002, 2005; Джамалов и др., 2010; 2013; Киреева и др., 2018; Фролова и др., 2010]. Для количественной оценки и прогноза изменений стока в первую очередь необходимо выявить факторы, послужившие триггером к наблюдаемым трендам, а также проанализировать их количественное влияние на сток. Важно отметить, что подобное влияние может быть как в приходной, так и в расходной составляющей в водном балансе речных водосборов. Так, при анализе влияния на весеннее половодье изменений климата, проявляющихся в росте средних зимних температур [Оценочный доклад…, 2008] и уменьшении весеннего стока вследствие оттепелей зимой, необходимо рассматривать и антропогенный фактор. В пределах бассейна Дона он проявляется не только в прямом регулировании стока и промышленном водопотреблении: большую роль играет современная динамика сельскохозяйственного водопользования и инфраструктуры водных объектов, созданной в середине XX в.

Сложность процессов формирования и развития весеннего половодья определяется их нестационарностью и протеканием на обширных территориях в условиях неоднородности физико-географической среды. Именно по этой причине в современных условиях изменения климата столь актуальным становится анализ условий формирования стока половодья, направленный на поиск причин изменения его качественных и количественных характеристик, оценки ожидаемой величины водного стока в ближайшие десятилетия, а также путей изменения сложившейся ситуации с дефицитом водных ресурсов в зоне умеренного и засушливого климата.

В основе широко распространенных методов расчетов и прогнозов стока половодья лежит использование квазистационарных рядов данных. Однако вторая половина XX в. – это бум гидротехнического строительства, интенсивное развитие агропромышленного комплекса в СССР и начало изменения климата.

По данным на 2018 г. общий объем забора воды из природных водных объектов в РФ составил 68,02 км^3, в том числе из поверхностных – 51,15 км^3: 44,90 км^3 для водопользования и 6,25 км^3 для переброски стока; из подземных источников – 11,41 км^3. Из них свежей воды было использовано 53 км^3 [Государственный доклад…, 2019]. Наибольший объем воды забирался в Южном ФО (12,57 км^3), а в нем – в Краснодарском крае (6,28 км^3) и Ростовской области (3,56 км^3), далее в Ленинградской (5,62 км^3) и Тюменской (4,06 км^3) областях, Республике Дагестан (3,41 км^3), Московской (3,37 км^3) и Тверской (2,27 км^3) областях, Карачаево-Черкесской Республике (3,17 км^3) [Ресурсы…, 2019]. По отраслям экономики из использованной свежей воды в РФ в 2018 г. 29 км^3 (55%) пришлось на промышленность, 6,6 км^3 (12,5%) на орошение и 7,6 км^3 (14,3%) на хозяйственно-питьевые цели.

В бассейне Дона общий водозабор после 2011 г. несколько сократился (7,2 км^3) и за 2012–2018 гг. изменялся в диапазоне от 4,1 до 4,9 км^3 [Государственный доклад…, 2019]. Общий объем забора воды в 2018 г. составил 4,90 км^3, из поверхностных водных объектов – 4,08 км^3. Объем сброшенных в бассейн Дона вод достиг 5,03 км^3, в том числе 1,66 км^3 поступили с переброской стока [Ресурсы…, 2019].

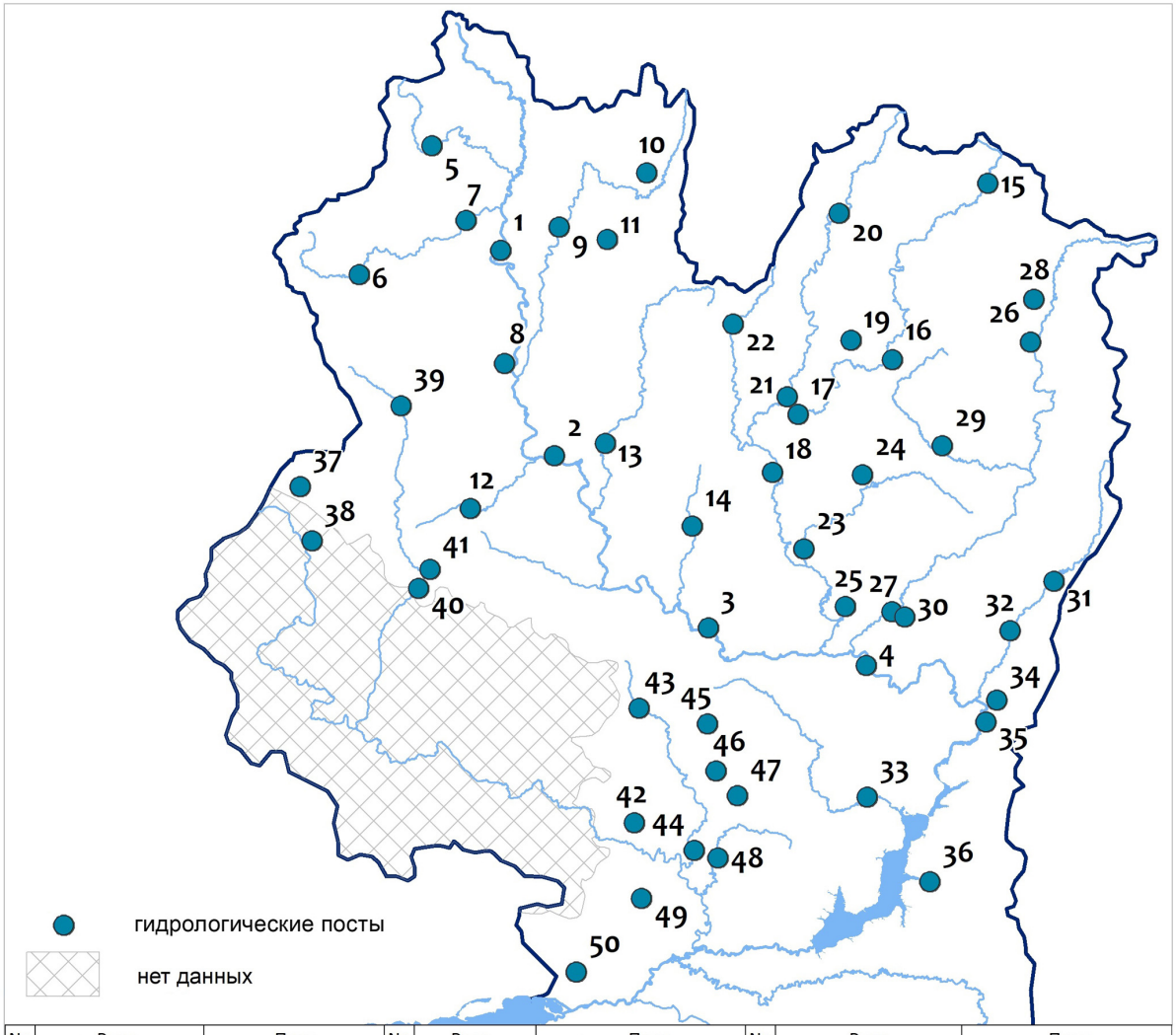
Большую часть всех нужд различных отраслей хозяйства обеспечивают водохранилища, пруды и каналы. На территории РФ находятся в эксплуатации 2650 водохранилищ емкостью более 1 млн м^3, 90% из них имеют емкость более 10 млн м^3. Комплексно используются 230 из них, для нужд энергетики – 30, сельского хозяйства – 1760, водоснабжения – 297 [Государственный доклад…, 2019]. По данным [Вода России…, 2000], в пределах российской части бассейна Дона водохранилищ, прудов и других сооружений различного назначения, регулирующих водный режим рек, насчитывается 8298, из них малых (с полезным объемом менее 1 млн м^3) – 1168 [База данных…, 2020], объемом от 1 до 10 млн м^3 – 570 и 48 водохранилищ объемом более 10 млн м^3. Сток Дона зарегулирован на 50%. Приведенные выше величины указывают на значительную антропогенную нагрузку на водные объекты и необходимость учета ее при анализе факторов формирования стока.

Совместное влияние климатического и антропогенного факторов в последние десятилетия привело к существенной деградации половодья на подавляющем большинстве рек Донского бассейна [Джамалов и др., 2017; Киреева, Фролова, 2013]. По этой причине авторами поставлена задача оценки произошедших изменений весеннего стока, а также сделана попытка разделить влияние на формирование стока климатических и антропогенных факторов. Для ее решения, в частности, проведен анализ количественных характеристик весеннего стока и оценены сроки начала его наиболее значительных изменений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы опубликованные в изданиях Государственного водного кадастра данные о ежедневных расходах воды половодья

в пределах российской части бассейна Дона, а также об объемах водопользования [Ресурсы…, 1982–2008]. Гидрологические посты выбирались с условием их относительно равномерного распределения по водосбору (рис. 1). Анализ проводился по слою стока половодья. В качестве дополнительных сведений привлекались ряды годового стока.



№	Река	Пост	№	Река	Пост	№	Река	Пост
1	Дон	г. Задонск	18	Хопер	х. Бесплемяновский	35	Паньшинка	г. Паньшино
2	Дон	ст. Лиски	19	Карай	с. Подгорное	36	Есауловский Аксай	х. Водянский
3	Дон	ст. Казанская	20	Ворона	с. Чутановка	37	Северский Донец	с. Киселево
4	Дон	х. Беляевский	21	Ворона	г. Борисоглебск	38	Нежеголь	г. Щебекино
5	Красивая Меча	г. Ефремов	22	Савала	ст. Жердевка	39	Оскол	г. Старый Оскол
6	Сосна	ст. Беломестная	23	Бузулук	ст. Преображенская	40	Оскол	р.п. Раздолье
7	Сосна	г. Елец	24	Кардаил	х. Андреевский	41	Валуй	г. Валуйки
8	Девица	с. Девица	25	Кумылга	х. Ярской	42	Глубокая	х. Астаховский
9	Воронеж	г. Липецк-2	26	Медведица	с. Лысые Горы	43	Калитва	х. Кудиновка
10	Лесной Воронеж	сл. Заворонежская	27	Медведица	ст. Арчединская	44	Калитва	х. Погорелов
11	Матыра	с. Крутое	28	Аткара	г. Аткарск	45	Ольховая	с. Кашары
12	Тихая Сосна	г. Алексеевка	29	Терса	с. Елань	46	Большая	свх. "Индустрия"
13	Битюг	г. Бобров	30	Арчеда	х. Нижнянский	47	Березовая	х. Антоновка
14	Подгорная	г. Калач	31	Иловля	с. Александровка	48	Быстрая	х. Апанаскин
15	Хопер	с. Пановка	32	Иловля	с. Боровки	49	Кундрючья	ст. Владимировская
16	Хопер	г. Балашов	33	Чир	ст. Обливская	50	Тузлов	х. Несветай
17	Хопер	ст. Поворино	34	Тишанка	х. Кузнецов			

Рис. 1. Гидрологические посты в бассейне Дона, данные по которым использованы для оценки изменения стока половодья

Fig. 1. Gauging stations in the Don River basin which data were used to estimate spring flood flow changes

Анализ характеристик стока и формирующих его факторов позволяет определить причины его изменения, интенсивность и потенциальную обратимость воздействия. Количественная оценка суммарного воздействия на весенний сток климатических и антропогенных факторов проведена статистическими методами. За основу анализа рядов данных взят графоаналитический метод построения интегральной кривой стока (ИКС) вида

$$\sum_1^n Y = f(t), \quad (1)$$

где Y – слой стока половодья, t – время, n – количество лет [Фролова, 2006]. Изменение угла наклона графика такой зависимости отражает направленную тенденцию изменения стока.

Наряду с базовыми статистическими методами, изменение весеннего стока рек производилось путем анализа суммарного отклонения фактического слоя стока от его условно-естественного значения $W_{изм}$ под влиянием определяющих факторов и его средней величины за период нарушенного режима стока $\Delta Y_{изм}$. Для каждой ИКС за 1981–2017 гг. восстановлена интегральная кривая условно-естественного стока (ИКЕС), за который принят период наблюдений с 1960 по 1980 г. Соответственно, величина изменения слоя стока $W_{изм}$ определялась по формуле:

$$W_{изм} = \sum_1^N Y_{ИКС} - \sum_1^N Y_{ИКЕС}, \quad (2)$$

а $\Delta Y_{изм}$ рассчитывался по формуле

$$\Delta Y_{изм} = \frac{W_{изм}}{N}, \quad (3)$$

где N – число лет с нарушенным режимом. Следует отметить, что под условно-естественным в работе понимается водный режим рек в середине XX в.

Для анализа по графоаналитическому методу выбраны 51 гидрологический пост с непрерывными рядами наблюдений за 1960–2017 гг. (58 лет), из которых 11 постов – с наблюдениями за 1930–2017 гг. Некоторые из них расположены на одном водотоке, что позволило оценить многолетние изменения водного стока с нарастанием площади водосбора.

Получаемая величина изменения слоя стока $W_{изм}$ в явном виде не отображает глубину наблюдаемых изменений. Для наглядности ее допускается сравнивать с иными характеристиками стока, например слоем стока за половодье или за год. Полученная при этом величина показывает кратность превышения произошедших изменений. Однако следует учитывать, что сравнение $W_{изм}$ с периодом N является не совсем корректным в силу наличия тренда в ряде слоя стока половодья. По этой причине в данной работе рассматривалось отношение $W_{изм}$ к годовому стоку W_o (мм):

$$k_i = W_{изм}/W_o, \quad (4)$$

поскольку значимый тренд W_o за период N отсутствует вследствие роста стока в межень [Джамалов и др., 2017].

Выделение масштаба антропогенной составляющей изменений стока произведено на основании данных о полезной емкости водохранилищ с полным объемом более 1 млн м^3 в бассейне Дона с использованием данных из [Каталог…, 1988]. Водохранилища сезонного и многолетнего регулирования стока используются для его перераспределения с целью накопления водных ресурсов в многоводные фазы (половодье) и сработки запасов в маловодные (межень). То есть климатически обусловленное снижение стока воды в половодье дополняется антропогенным снижением за счет аккумуляции части стока в полезных емкостях водохранилищ. Учесть ежегодную аккумуляцию не представляется возможным из-за отсутствия данных об уровне наполнения водоемов (не каждый год происходит сработка до УМО и последующее наполнение до НПУ), поэтому расчет аккумуляции воды по величине суммарной полезной емкости водохранилищ в бассейне реки – это величина максимально возможного сокращения стока половодья. Выбор рек для такой оценки был обусловлен наличием гидрологической информации в близких к устьям створах. Из анализа исключены Воронежское и Краснооскольское водохранилища, поскольку гидропосты Липецк и Купянск расположены выше по течению.

Для оценки эффективности управления водными ресурсами речных систем, гидрологический режим которых регулируется одним или несколькими одиночными водохранилищами или их каскадом, применен показатель техногенного потенциала регулирования (ТПР) речного стока [Эдельштейн, 2005]. Он представляет собой отношение полезного объема водохранилищ при НПУ ($W_П$) к объему стока рек рассматриваемой территории в многоводные фазы ($\Sigma Q_{мф}$) при среднесуточных расходах воды ($Q_{мф}$), превышающих их среднегодовое значение за многолетний период гидрометрических наблюдений ($\overline{Q}$) в створах, соответствующих местоположению гидроузлов – регуляторов речного стока:

$$\Theta = \sum_n \frac{W_П}{\sum_m Q_{мф} \cdot t}, \quad (5)$$

где n – количество водохранилищ, m – число случаев со среднесуточными расходами выше нормы

($Q_{мф} > \overline{Q}$), t = 86 400 с – количество секунд в сутках. Он отражает возможность ограничения катастрофических наводнений в речных долинах путем заблаговременного опорожнения полезной емкости водохранилища в случаях прогноза притока в него объемов воды, соизмеримых с размером этой емкости, равной проектной величине динамических водных ресурсов [Вуглинский, 1991] того или иного водохранилища. Для расчета величины $\Sigma Q_{мф}$ были использованы сведения о стоке до 1970 г., т. е. за период, который можно считать условно естественным.

Для оценки суммарного испарения с искусственных водоемов в бассейне р. Дон выше Цимлянского водохранилища использованы различные методы. Сведения о количестве водоемов, их площади и объеме при НПУ получены из справочника [Каталог..., 1988] и материалов ФГУП «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений». В исследуемом бассейне находится 384 средних и больших водохранилищ объемом более 1 млн м^3 с суммарной площадью 408,4 км^2, а также 938 малых водохранилищ и прудов объемом 0,01–1 млн м^3 и суммарной площадью 111 км^2. Суммарный объем всех искусственных сооружений оценивается в 1,6 км^3.

Первый способ расчета испарения с поверхности водохранилищ заключался в определении характерных значений испаряемости в бассейнах притоков Дона по карте атласа Мирового водного баланса (АМВБ) [Атлас…, 1974]. Полученные характерные значения умножались на площадь поверхности водохранилищ при НПУ. Для 390 крупных водоемов общей площадью 408,4 км^2 объем испаряющейся воды в среднем за многолетний период (до 1975 г. по материалам, послужившим основой атласа) был оценен в 0,27 км^3. При этом средний слой испаряемости составил 665 мм. Для небольших водоемов эта величина равнялась 0,07 км^3. Суммарная величина испарения с искусственных водоемов по данному методу оказалась равной 0,35 км^3.

Второй способ – определение испарения с поверхности водохранилищ по формуле Б.Д. Зайкова [Зайков, 1949]

$$E = 0{,}14\left(e_{\text{о}} - e_{200}\right)\left(1 + 0{,}72\, w_{200}\right), \qquad (6)$$

где $e_{\text{о}}$ – максимальная упругость водяного пара при температуре поверхности воды (мб), e_{200}, w_{200} – влажность воздуха (мб) и скорость ветра (м/с) на высоте 2 м над поверхностью воды.

Основной проблемой для возможности применения данного метода является отсутствие открытых данных или измерений температуры воды водохранилищ. Для оценки использованы среднедекадные данные температуры поверхности воды Воронежского и Матырского водохранилищ за 2016–2017 гг., а также данные Воронежской метеостанции (архив по метеостанции Липецк для 2016–2017 гг. отсутствует) [Архив погоды…, 2019]. В 2016–2017 гг. среднегодовая температура воздуха в Воронеже составила соответственно 7,5 и 6,5°С, а за наиболее энергоактивный период с апреля по октябрь – 15,1 и 11,9°С соответственно. Оценка суммарной величины испарения в 2016–2017 гг. при использовании данных о температуре воды Воронежского водохранилища составила 0,58 и 0,41 км^3, а по данным Матырского водохранилища – 0,45 и 0,4 км^3 соответственно.

Испаряемость для водоемов степной зоны также рассчитывалась по среднемесячной температуре и относительной влажности воздуха [Константинов, 1968] как

$$E = 0{,}0018\left(T + 25\right)^2\left(100 - r\right), \qquad (7)$$

где T и r – среднемесячная температура и относительная влажность воздуха.

Использование этого метода дало величину суммарного испарения с поверхности водохранилищ в 2016 и 2017 гг. 0,37 и 0,34 км^3 соответственно.

При расчетах вторым и третьим способами необходимо учитывать трансформацию метеоэлементов при переходе воздушной массы с суши на акваторию водоема путем внесения поправки в исходные данные через коэффициент трансформации [Руководство…, 1983]. Однако, при средней площади водохранилищ порядка 1 км^2 данной поправкой авторы сочли возможным пренебречь.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Водный режим рек бассейна Дона, в соответствии с классическими представлениями, характеризуется высоким весенним половодьем. В среднем на юге бассейна оно начинается во второй половине февраля, на реках северной части – в третьей декаде марта и продолжается от 10 дней на малых реках до 1,5–2 месяцев – на крупных. За этот небольшой отрезок времени по ним проходит от 35 до 100% годового стока [Кислов и др., 2008]. На реках Верхнего и Среднего Дона, как правило, половодье проходит одной волной, однако из-за частого возврата холодов их может быть несколько, что особенно характерно для низовья Дона и в годы с растянутой весной.

За последние 40 лет водный сток в период половодья сократился на реках бассейна Дона в среднем на 30–40%: от 10% в верховьях Воронежа, Хопра и Медведицы до более чем 50–60% в бассейнах рек Северский Донец и Оскол [Джамалов и др., 2017].

Построение ИКС и их анализ совместно с рассчитанными стандартными критериями оценки од-

нородности рядов (критерии Фишера и Стьюдента) подтвердили наличие значимых изменений стока половодья (рис. 2).

За год начала изменения стока принималась дата, с которой наблюдалось его устойчивое отклонение от условно-естественных значений (разница между ИКС весеннего половодья и условно-естественного стока, см. рис. 2). Также проведена оценка величины этих изменений.

В результате начавшегося в бассейне Дона маловодья на 21 гидрологическом посту переломным стал 1972 г., по 6–7 случаев пришлись на 1971

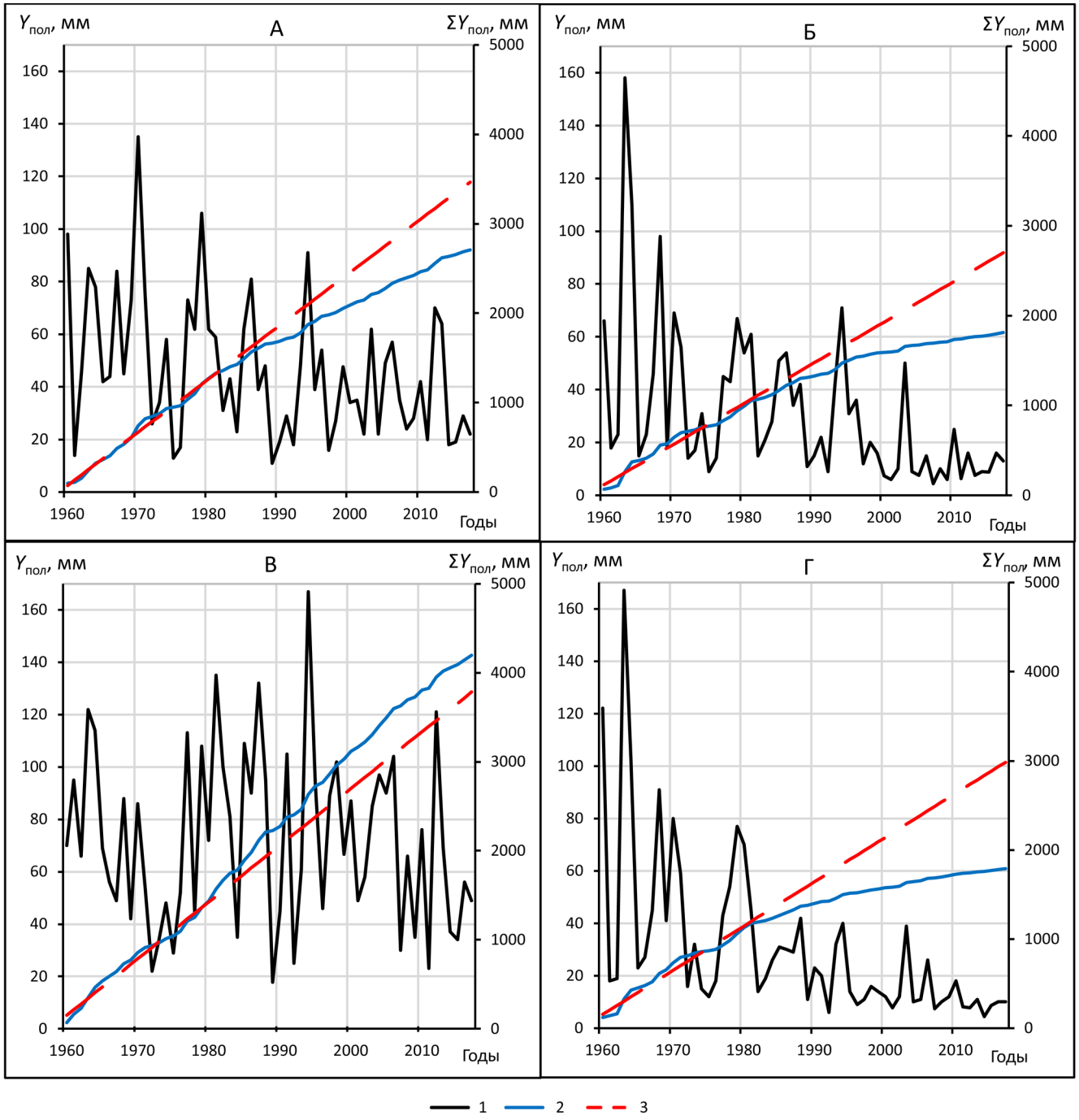


Рис. 2. Динамика слоя стока и ИКС весеннего половодья в бассейне Дона за 1960–2017 гг.:
А – р. Дон – г. Задонск; Б – р. Тихая Сосна – г. Алексеевка; В – р. Хопер – с. Пановка; Г – р. Нежеголь – г. Щебекино; 1 – слой стока половодья (мм); 2 – ИКС весеннего половодья (мм); 3 – ИКС условно-естественного стока за 1930–1970 гг. (мм)

Fig. 2. Dynamics of runoff depth and the integral flow curves (IFC) of spring floods in the Don River basin during 1960–2017:
А – the Don River – Zadonsk; Б – the Tikhaya Sosna River – Alekseevka; В – the Khoper River – Panovka;
Г – the Nezhegol' River – Schebekino; 1 –flood runoff depth (mm); 2 – IFC of spring floods (mm);
3 – IFC of conditionally unmodified river flow during 1930–1970 (mm)

и 1973 гг. Так, слой стока весеннего половодья в 1972 г. составил в среднем 19% от нормы того периода, варьируя от менее чем 10% в бассейнах малых рек Нижнего Дона до 15–30% от нормы в бассейнах Хопра и Медведицы и 40–47% от нормы в бассейнах Красивой Мечи, Сосны и Иловли. Последовавшие за ним половодья четырех лет характеризовались бóльшим стоком, но в среднем составили лишь 42, 71, 30 и 44% от нормы соответственно. За рассматриваемый период близкая к норме водность наблюдалась лишь в бассейнах Хопра, Медведицы и Иловли в 1974 г.

Хотя весеннее маловодье 1972–1976 гг. отразилось на всех ИКС, для подавляющего большинства рек условно-естественный режим формирования стока можно продлить до 1980 г., поскольку в 1977–1980 гг. устойчивость линейного тренда ИКС сохранилась (см. рис. 2). Последовавшие за этим два периода сокращения стока в 2006–2010 гг. и 2012–2017 гг. имели чисто климатические причины: в результате роста зимней температуры воздуха, формировавшийся снежный покров оказывался недостаточным для развития полноценного половодья [Киреева и др., 2017].

На общем фоне выделяется многолетняя динамика слоя весеннего стока в бассейне Хопра. По рядам многолетних данных за 1959–2017 гг. диагностируются признаки циклических колебаний: однородных в верховьях р. Хопер (с. Пановка) (см. рис. 2В) и с уменьшающейся дисперсией вниз по течению (участок Балашов – Бесплемяновский). На графиках ИКС подобные изменения проявляются в виде локальных неровностей на фоне небольшого увеличения угла ИКС в верховьях после 1980 г. и уменьшения угла наклона ИКС – на участке Балашов – Бесплемяновский. Установленное отличие в динамике, вероятно, определяется ростом антропогенной нагрузки по мере увеличения площади водосбора, а также различиями в изменении климата по направлению к южным степям (рис. 3).

Аналогичные особенности выявлены и для половодного стока в верховьях р. Медведицы.

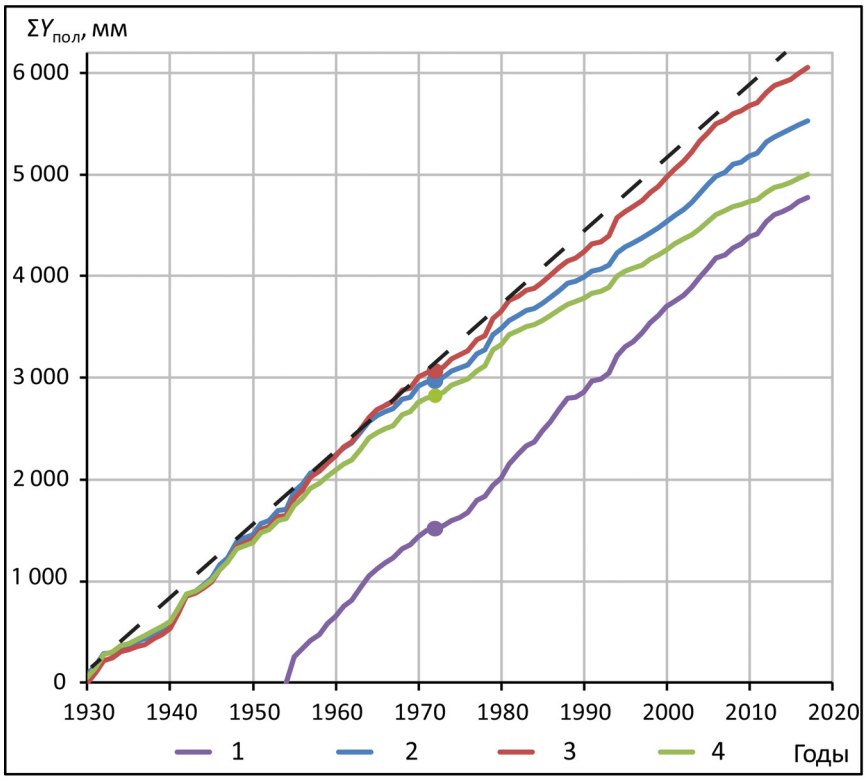


Рис. 3. Интегральные кривые стока реки Хопер:
1 – Пановка (898 км от устья); 2 – Балашов (595 км); 3 – Поворино (437 км); 4 – Бесплемяновский (244 км).
Точка – начало изменения режима весеннего половодья; пунктирная прямая – тренд условно-естественного стока

Fig. 3. Integral flow curves of the Khoper River:
1 – Panovka (898 km from the mouth); 2 – Balashov (595 km); 3 – Povorino (437 km); 4 – Besplemyanovskiy (244 km).
Point – start of the drift in spring flood regime; dotted line – trend of conditionally unmodified flow

Гораздо позже начались изменения стока весеннего половодья на ряде малых рек Среднего и Нижнего Дона: на Елани (1989), Кундрючьей (1991), Тузлове (1996), Матыре (1997), Березовой (2001). Определить причины столь позднего начала изменений стока половодья довольно сложно. В рассматриваемые сроки также отмечались маловодные периоды, обусловленные климатическими изменениями, однако и антропогенная нагрузка на малые водосборы менялась значительно в зависимости от экономической ситуации.

По результатам проведенного анализа многолетних изменений стока половодья все реки бассейна Дона могут быть разделены на три группы. К *первой* относятся реки, на которых сокращение стока весеннего половодья наблюдалось после 1980 г., например р. Дон на участке Задонск – Лиски и его притоки (Красивая Меча, Сосна, Девица), Савала, Иловля у с. Александровка, Северский Донец и его притоки (Нежеголь, Оскол, Валуй, Калитва у хут. Погорелов, Ольховая), а также р. Кундрючья (рис. 4А). Частными случаями этой группы стали реки Лесной Воронеж, Кардаил и Тузлов, на которых

заметное сокращение весеннего стока началось только в 1990-х гг. после череды многоводных лет. Поскольку начало изменений пришлось на участок превышения фактическими значениями ИКЕС, то суммарные изменения $W_{изм}$, наблюдаемые в настоящий момент, представляются незначительными (см. рис. 4Б).

На реках *второй* группы существенных изменений в многолетней динамике весеннего стока не наблюдалось вплоть до начала засушливого периода 2006–2010 гг. На ИКС это могло выражаться как практически полным соответствием ИКЕС до указанного периода, так и формированием параллельной кривой после засушливого периода 1980–1990 гг. В нее попали реки Дон (ст. Казанская и хут. Беляевский), Воронеж (г. Липецк-2), Матыра (с. Крутое), Хопер (хут. Бесплемяновский), Ворона (с. Чутановка и г. Борисоглебск), Бузулук (ст. Преображенская), Аткара (г. Аткарск), Терса (с. Елань), Арчеда (хут. Нижнянский), Иловля (с. Боровки), Есауловский Аксай (хут. Водянский), Чир (ст. Обливская), Глубокая (хут. Астаховский), Калитва (хут. Кудиновка) (см. рис. 4В).

К *третьей* группе были отнесены реки, на которых значительных изменений многолетней динамики стока не диагностировано: Хопер на участке Пановка – Поворино, Карай (с. Подгорное), Кумылга (хут. Ярской), Медведица (с. Лысые Горы) (см. рис. 4Г).

Примечательно, что пространственное распределение типов многолетних изменений весеннего половодья, соответствующих характерным рисункам ИКС относительно ИКЕС, достаточно тесно связано с расположением водохранилищ и прудов в пределах бассейна Дона (рис. 5). Так, в области наибольшей плотности малых и средних водохранилищ в бассейнах Верхнего Дона (в т. ч. рек Сосна и Битюг), Северского Донца в верховьях и низовьях в пределах РФ практически повсеместно на реках сокращение весеннего стока наблюдалось после 1980 г. В бассейне р. Хопер, где плотность искусственных водоемов на порядок ниже, сокращение стока началось позже

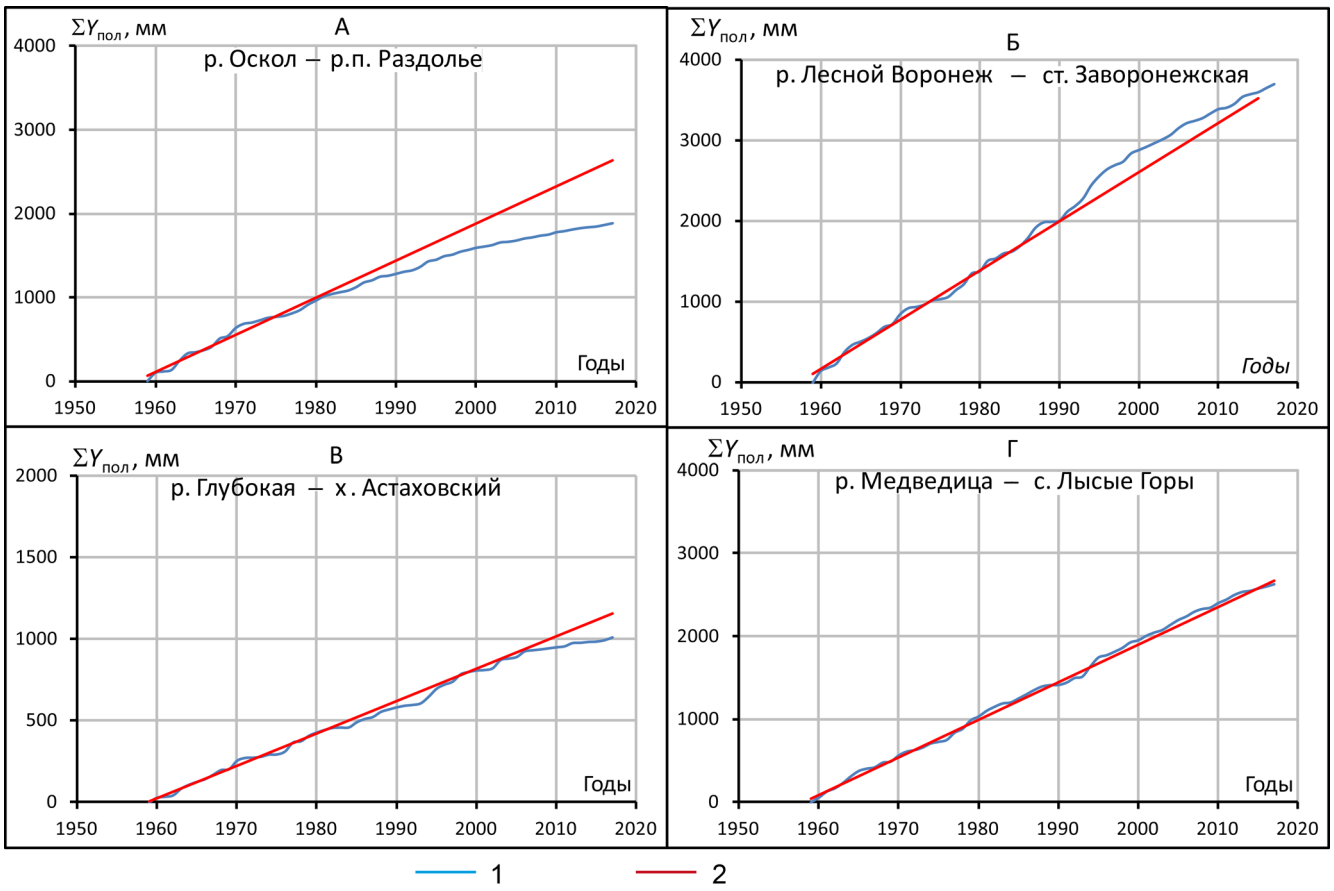


Рис. 4. Характерные ИКС весеннего половодья в бассейне Дона.
А – сокращение стока после 1980 г.; Б – изменение стока после 1990 г.; В – сокращение стока после 2006 г.; Г – без изменений многолетней динамики стока; 1 – интегральная кривая стока; 2 – кривая условно-естественного стока

Fig. 4. Typical IFC of spring floods in the Don River basin.
А – flow decrease after 1980; Б – flow change after 1990; В – flow decrease after 2006; Г – no changes in the long-term flow dynamics; 1 – Integral flow curve; 2 – conditionally unmodified flow trend

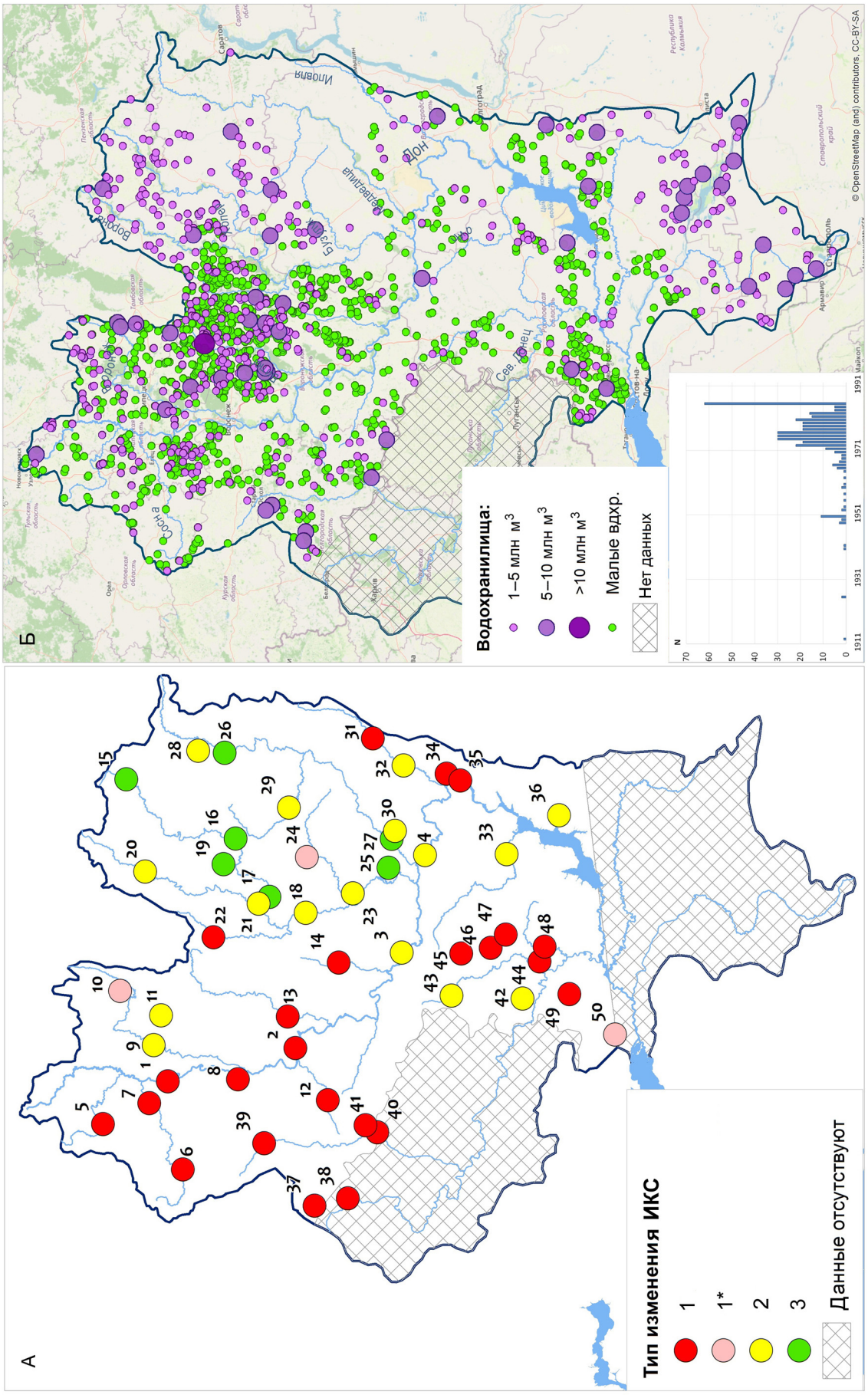


Рис. 5. Сопоставление характера изменения весеннего стока рек (А) и расположения водохранилищ в бассейне Дона (Б).
Сокращение весеннего стока: 1 – после 1980 г.; 1* – после 1990 г.; 2 – после 2006 г.; 3 – без изменений стока

Fig. 5. Comparison of spring river flow changes (A) depending on the location of reservoirs within the Don River basin (Б).
Spring flow decrease: 1 – after 1980; 1* – after 1990; 2 – after 2006; 3 – no changes in river flow

(после 2006 г.) или не наблюдалось совсем (реки второй и третьей групп). При этом на самом Хопре вниз по течению отмечена нарастающая деградация весеннего стока с переходом ИКС от третьего ко второму типу, наиболее заметная ниже впадения рек Вороны и Савалы со значительным антропогенным воздействием в пределах их водосборов. По мнению авторов, подобная смена группы определенно связана с нарастанием суммарной полезной емкости водохранилищ выше анализируемого поста. Так, выше г. Балашова она составляет 48,8 млн м^3, увеличиваясь к г. Поворино незначительно – до 53,9 млн м^3. Ниже впадения р. Вороны суммарная полезная емкость водохранилищ (к г. Новохоперск) возрастает практически вдвое – до 98,4 млн м^3, а ниже впадения некрупной р. Савалы – до 126,8 млн м^3.

Обратная тенденция (некоторого уменьшения деградации весеннего стока) наблюдается на самом Дону. Если в его верхнем течении при значительной антропогенной нагрузке малыми и средними водохранилищами сокращение весеннего стока значительно и характеризуется первым типом ИКС, то ниже по течению с увеличением водности и постепенным снижением нагрузки дефицит весеннего стока уменьшается, а после впадения Хопра тип ИКС меняется с первого на второй (см. рис. 5).

Для бассейна Дона в целом характерно сокращение слоя стока половодья на 20–40%, что составляет около 50 мм, но наиболее ярко оно прослеживается в юго-восточном направлении. Самый высокий слой стока, близкий к условно-естественному, формируется в бассейне Хопра (г. Поворино, более 60 мм), относительно пониженный (30–40 мм) – в бассейне Медведицы, а наиболее низкий (20–30 мм) – в бассейнах рек Бузулука, Иловли и притоков Нижнего Дона. Статистический анализ рядов слоя стока в современных климатических условиях свидетельствует о существенной деградации половодья рек как фазы водного режима: на 60% постов зафиксировано статистически значимое уменьшение математического ожидания, на 50% – статистически значимое увеличение дисперсии, т. е. слой стока за половодье отличается большой изменчивостью. Таким образом, сток половодья, близкий к условно-естественному, сохранился лишь в бассейнах рек Хопер, Медведица и в верховьях Воронежа.

Анализ изменений стока половодья с использованием ИКС подтверждает полученные выводы о сокращении половодья. В то же время, метод позволяет с несколько другого ракурса взглянуть на проблему его деградации в бассейне Дона. Так, наблюдаемое суммарное изменение стока $W_{изм}$ для участка Задонск – Лиски за период 1981–2017 гг. составило 759–847 мм (рис. 6А), что эквивалентно суммарному слою стока за 6–8 лет, а $\Sigma Y_{ИКС}$ для фактически наблюдаемого стока оказался на 21–22% ниже, чем $\Sigma Y_{ИКЕС}$.

Среди донских притоков наиболее значительные изменения стока весеннего половодья наблюдаются на реках Нежеголь, Тишанка и Паньшинка, Валуй, Савала, Тихая Сосна, Оскол, Девица, Ольховая и Быстрая. Примечательно, что все реки имеют площадь водосбора, не превышающую 2–4 тыс. км^2. Сокращение стока весеннего половодья после 1980 г. на 30–40% для выделенных рек эквивалентно стоку 8–17 лет, а для рек Тишанка и Паньшинка – до 26 лет.

Для бассейна Северского Донца (Нежеголь, Оскол и Валуй), Девицы и Тихой Сосны (Верхний Дон) и Савалы (бассейн Хопра) отклонение интегральной кривой фактического стока ($\Sigma Y_{ИКС}$) от $\Sigma Y_{ИКЕС}$ составляет 30–39%, что эквивалентно суммарному слою стока за 9–10 лет (см. рис. 6А) и согласуется с [Джамалов и др., 2017].

Области относительного сокращения стока половодья на 30–50% [Джамалов и др., 2017] соответствует уменьшение $\Sigma Y_{ИКС}$ в сравнении с $\Sigma Y_{ИКЕС}$ на 20–29% для верхней части бассейна Северского Донца, большинства рек Верхнего Дона, а также Большой, Калитвы, Подгорной и Иловли в верховьях. Реки, на которых отмечены изменения этого диапазона, имеют площадь водосбора от 1,5 до 69,5 тыс. км^2. Так, для рек лесостепной зоны (Дон, Красивая Меча, Сосна, Битюг) сокращение стока половодья к 2017 г. составило 759–949 мм, что эквивалентно стоку этих рек за 6–12,4 лет. Для рек севера и юга степной зоны наблюдаемое сокращение стока относительно условно-естественного периода составило порядка 700–750 и 220–500 мм соответственно, что в силу большей аридности климата эквивалентно стоку этих рек за 9–13 лет.

Умеренное сокращение стока весеннего половодья на 10–20% наиболее характерно для рек средней части бассейна Дона. Среднее изменение стока за 1981–2017 гг. здесь составило от 3 до 18 мм, что суммарно за весь период эквивалентно стоку за 2,8–6,6 лет. В то же время на ряде рек этой группы последние 10–20 лет наблюдается продолжение сокращения весеннего стока, усугубляемое маловодьем последнего десятилетия [Киреева и др., 2017]. Лишь для рек Хопер у с. Пановка и Медведица у ст. Арчединская диагностировано некоторое увеличение стока половодья на 2–11 мм, несмотря на маловодье XXI в., которое не подтверждается стандартными статистическими методами.

Среднее изменение стока за период нарушенного режима ($\Delta Y_{изм}$) составило 11,6 мм. Наибольшая интенсивность изменений наблюдалась в бассейне Верхнего Дона и в верхней части бассейна Северского Донца, где $\Delta Y_{изм}$ составил 20–33 мм/год (см. рис. 6Б). Для оценки репрезентативности получен-

ных результатов для 11 рядов аналогичные ИКС были построены по данным за период 1930–2017 гг. Полученные по ним оценки $\Delta Y_{изм}$, $W_{изм}$ и k_i согласуются с результатами расчетов на коротких рядах (1960–2017), а относительная ошибка определения величин не превышает 5%.

Изменение весеннего стока и деградация половодья в бассейне ярко проявляются и в динамике максимальных расходов воды. В верховьях Дона (г. Задонск) с начала 1930-х по 2000-е гг. максимальный модуль стока сократился со 100 до 40 л/(с·км^2), для р. Сосны – со 140 до 40 л/(с·км^2), для р. Вороны (г. Борисоглебск) – с 60 до 20 л/(с·км^2). В среднем его сокращение для всего бассейна составило 40–60%. В связи с изменением формы половодья заметно поменялась величина коэффициента его дружности. На всех постах зафиксировано его значимое снижение, причем для многих рек до 1,5–2,0 раз.

Изменение стока $W_{изм}$ половодья практически полностью компенсируется его ростом в другие фазы гидрологического режима в верховьях Дона (в бассейнах Сосны и Битюга), и не компенсируется в более сухих южных районах нижнего течения Дона и в бассейне Северского Донца (см. рис. 6В), что подтверждается отсутствием значимых трендов годового стока [Джамалов и др., 2017].

Деградация многоводной весенней фазы как таковой ведет к серьезным необратимым последствиям, в числе которых снижение плодородия почв в пределах поймы вследствие прекращения их регулярного удобрения плодородным речным илом, повышенные потери стока на испарение и инфильтрацию для искусственных водоемов, а также ухудшение экологической ситуации на фоне дефицита водных ресурсов в весенний период. Подобные последствия наблюдаемых изме-

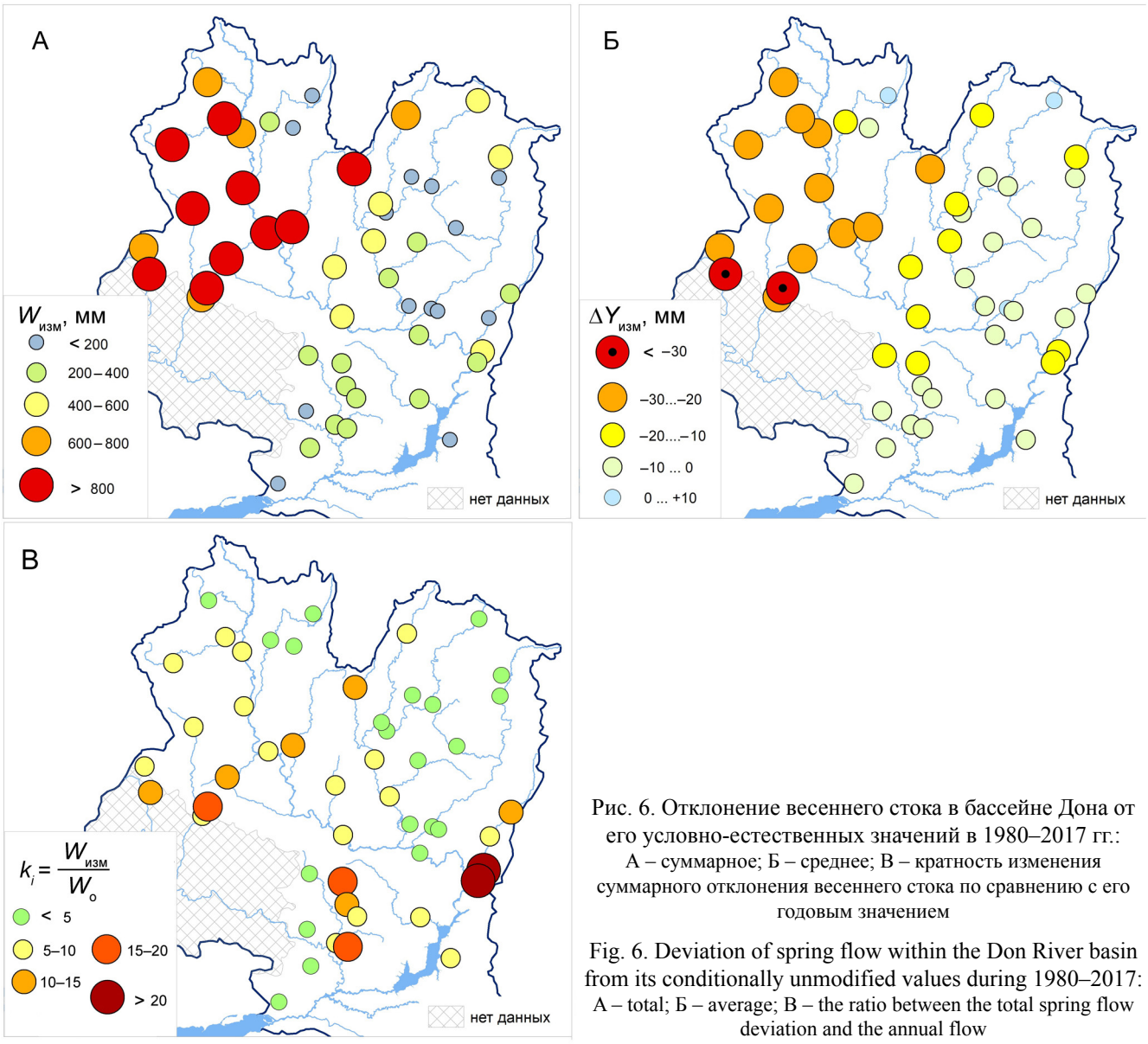


Рис. 6. Отклонение весеннего стока в бассейне Дона от его условно-естественных значений в 1980–2017 гг.:
А – суммарное; Б – среднее; В – кратность изменения суммарного отклонения весеннего стока по сравнению с его годовым значением

Fig. 6. Deviation of spring flow within the Don River basin from its conditionally unmodified values during 1980–2017:
А – total; Б – average; В – the ratio between the total spring flow deviation and the annual flow

нений уже сейчас требуют пересмотра основных подходов в водопользовании как поверхностными, так и подземными водоисточниками.

Поскольку до настоящего времени на реках бассейна Дона не начался цикл многоводных лет, говорить о возможном восстановлении стока преждевременно. Однако следует отметить, что подобная продолжительная серия маловодных весен на реках Донского бассейна отмечается впервые за период наблюдений с 1891 г. [Kharlamov et al., 2020].

Для проверки гипотезы о значимом вкладе водохранилищ в изменение характеристик стока половодья на реках Донского бассейна привлечены сведения о времени создания водохранилищ, проведена оценка создаваемого ими дополнительного испарения с водосбора и возможный эффект внутригодового перераспределения стока.

В среднем за многолетний период суммарные потери воды на испарение с поверхности водохранилищ в бассейне р. Дон выше Цимлянского водохранилища (включая водосбор р. Чир), оцененные различными приведенными выше способами, с суммарной площади искусственных водоемов 519,4 км^2 составляют около 0,4 км^3, что соответствует среднему слою испаряемости 770 мм. По данным Атласа мирового водного баланса, слой осадков на исследуемой территории составляет в среднем 600 мм. Тогда видимое испарение составляет 170 мм, что с учетом суммарной площади водоемов дает оценку величины безвозвратных потерь около 0,09 км^3 в год, или 0,5% от среднегодового стока Дона, в створе Калач-на-Дону. В маловодные годы эта доля может возрастать до 1,2%.

Наиболее активно строительство водохранилищ происходило в период 1970–1985 гг. (см. рис. 5Б). За этот период на заполнение объема новых водохранилищ (выше Цимлянского) в бассейнах крупнейших притоков Дона, включая бассейн р. Чир, без учета потерь воды на инфильтрацию в береговую зону было затрачено порядка 0,75 км^3 речного стока [Каталог…, 1988]. Сведения о дате строительства малых водохранилищ и прудов зачастую отсутствуют, поэтому учесть объем стока на их заполнение не представляется возможным.

Учет малых водоемов с отсутствием гидротехнических сооружений и неизвестной полезной емкостью невозможен, поэтому далее приведены сведения об искусственных водоемах и анализ изменений стока крупнейших притоков Дона первого и второго порядков. Выбор рек обусловлен наличием гидрологической информации в близких к устьям створах. Для анализа использован каталог водохранилищ объемом более 0,1 млн м^3, которые оказывают наибольшее влияние на межгодовое и сезонное перераспределение стока воды (таблица) [Каталог…, 1988]. Из анализа исключено Воронежское водохранилище, поскольку пост Липецк расположен выше по течению.

Наибольшее количество водохранилищ рассматриваемой категории находится в бассейнах Хопра, Медведицы и Воронежа (см. табл.). Для большинства бассейнов характерно преобладание водохранилищ сезонного регулирования стока, за исключением Хопра и Медведицы. Наибольший суммарный полезный объем в бассейнах рек Воронеж (за счет крупного Матырского водохранилища, 120 млн м^3) и Хопер (за счет небольших, но многочисленных водохранилищ с полезной емкостью не более 6,3 млн м^3).

Для выбранных водосборов показатель ТПР изменялся от 3 до 28,5%. Для указанных в таблице постов выполнена оценка изменения стока за многоводные (выделенные по среднемесячным расходам, превышающим их среднегодовые значения) и маловодные (при среднемесячных расходах меньше среднегодовых) фазы для периодов до и после 1970 г. (см. табл.). 1970 год был выбран граничным, поскольку именно после него отмечается наиболее активное возведение плотин. Очевидно, что в среднем за многолетний период регулирующая емкость водохранилищ не использовалась на 100%. Следует заметить, что некоторые гидроузлы малых водохранилищ находятся в аварийном состоянии и не производят регулирование. Тем не менее средняя доля полезного объема водохранилищ в сокращении объема стока в многоводные фазы составила в среднем 43%.

Уменьшение стока в многоводные фазы увеличивалось с ростом площади водосбора и зависело от количества водохранилищ в бассейне (рис. 7А, Б), а относительная доля его уменьшения соответствовала ТПР бассейнов (за исключением р. Чир). Сокращение стока в многоводную фазу в результате регулирования водохранилищами в бассейне Чира имеет меньшее значение, нежели иные факторы его изменения.

Доля прироста стока за маловодные фазы составила 6–11,2% за исключением р. Чир, где не превысила 2,9%. Возможно, это связано с более интенсивным изъятием стока на орошение в южной части бассейна Дона. Увеличение объема стока в маловодные фазы прямо пропорционально площади водосбора и количеству водохранилищ, а его связь с величиной ТПР отсутствует (см. рис. 7). Практически для всех створов характерно более значительное сокращение стока за многоводные фазы, чем прирост за маловодные. Этот факт можно объяснить потерями воды на орошение и водоснабжение в меженный период. Полученные результаты указывают на значительный вклад во-

Таблица

Основные параметры водохранилищ [Каталог…, 1988] и гидрологические характеристики изменения стока в бассейнах наиболее крупных притоков Дона

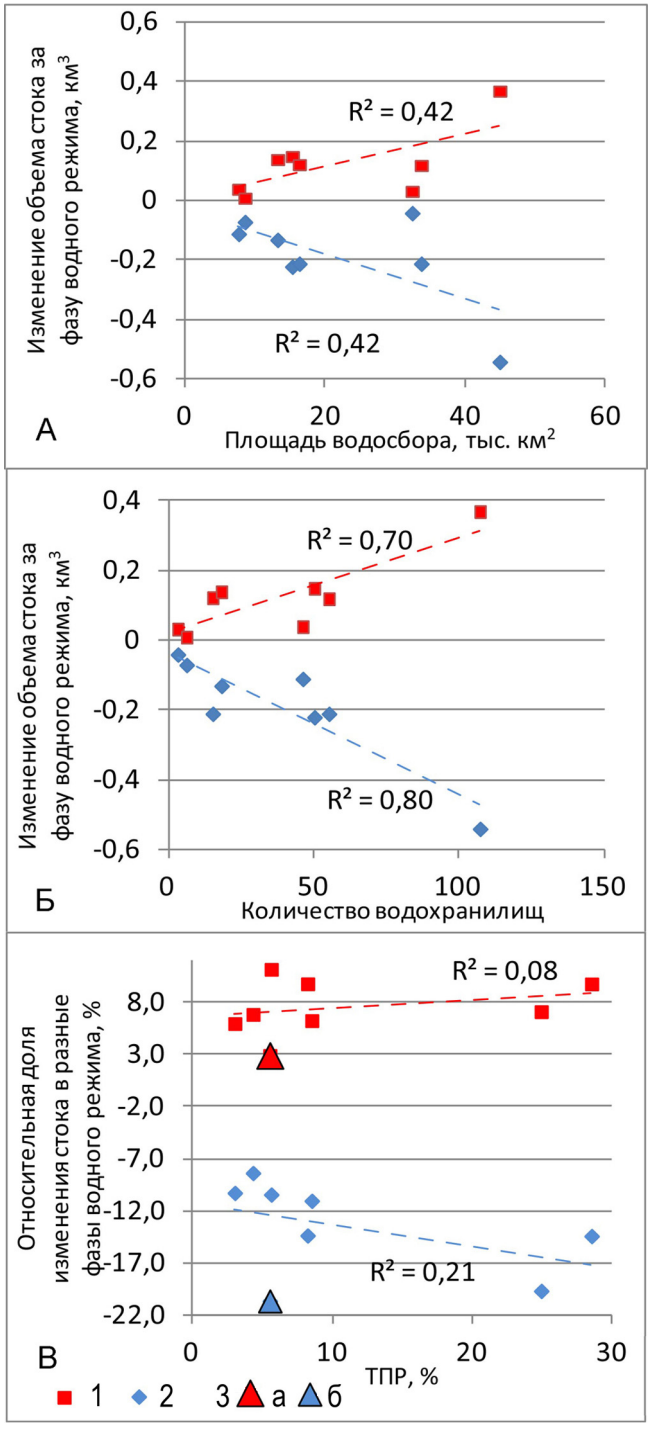
Река	Красивая Меча	Битюг	Чир	Воронеж	Быстрая Сосна	Медведица	Хопер	Ворона (приток Хопра)
Пост	Ефремов	Бобров	Обливская	Липецк	Елец	Арчединская	Бесплемяновский	Борисоглебск
Площадь водосбора, км^2	3240	7650	8540	15300	16300	33700	44900	13200
Водохранилища объемом более 0,1 млн м^3, шт.	3	46	6	50	15	55	107	18
Водохранилища сезонного регулирования стока, шт.	2	24	2	41	14	27	47	14
Водохранилища многолетнего регулирования стока, шт.	1	21	4	9	1	27	60	5
Период строительства	1974–1977	1955–1985	1953–1979	1965–1985	1962–1982	1925–1985	1949–1985	1950–1983
Площадь водохранилищ, км^2	1,3	32,6	7,4	162	8,4	43,2	57,6	11,4
Полный объем водохранилищ, млн м^3	0,0069	0,099	0,02	0,269	0,0231	0,121	0,209	0,047
Доля полного объема водохранилищ, построенных после 1970 г.	100	99	90	95	87	74	92	91
Полезный объем водохранилищ, млн м^3	0,0066	0,092	0,012	0,24	0,0205	0,097	0,18	0,036
Техногенный потенциал регулирования, %	4,3	24,9	5,5	28,5	3	8,5	8,2	5,6
Изменение стока реки за многоводную фазу в 1970–2005 гг. по сравнению с 1936–1969 гг., км^3	–0,04	–0,11	–0,07	–0,22	–0,21	–0,21	–0,54	–0,13
Доля полезного объема от изменения стока за многоводные фазы, %*	18	84	17	109	11	46	33	28
Изменение стока реки за маловодную фазу в 1970–2005 гг. по сравнению с 1936–1969 гг., км^3	0,033	0,04	0,01	0,15	0,123	0,12	0,37	0,14
Средний годовой сток за 1970–2005 гг., км^3	0,48	0,56	0,34	1,53	2,05	1,91	3,77	1,25
Относительная доля** сокращения стока в многоводную фазу, %	–8,3	–19,6	–20,6	–14,4	–10,2	–11,0	–14,3	–10,4
Относительная доля** увеличения стока в маловодную фазу, %	6,9	7,1	2,9	9,8	6,0	6,3	9,8	11,2
Изменение годового стока в 1970–2005 гг. по сравнению с 1936–1969 гг., км^3	–0,004	–0,06	–0,05	–0,07	–0,086	–0,09	–0,17	0,01

Примечание. *Полностью полезный объем водохранилищ используется не ежегодно, поэтому следует понимать это отношение как максимальную оценку роли искусственных водоемов в перераспределения стока по сезонам.

**Определена как отношение объема стока в соответствующую фазу водного режима к объему годового стока, выраженное в процентах, за 1936–1969 и 1970–2005 гг.

дохранилищ в изменение характеристик стока при его регулировании.

Для большинства рек доля сокращения стока за многоводную фазу от его годовой величины составила более 10%, наиболее значительны изменения в бассейнах рек Битюг и Чир, где ТПР достиг 24,9 и 5,5% соответственно (см. рис. 7В). Это говорит о том, что для водосбора р. Чир, расположенного южнее, большее значение в уменьшении стока за половодье имеют природные факторы, а не удержание стока в полезных емкостях водохранилищ.



ВЫВОДЫ

Масштабные изменения стока половодья на реках бассейна Дона за последние полвека были приурочены к концу 1970-х гг. В эти периоды наблюдались наиболее существенные климатические изменения, оказывающие прямое и косвенное влияние на факторы формирования весеннего стока.

За последние 40 лет водный сток в период половодья сократился на реках бассейна Дона в среднем на 30–40%: от 10% в верховьях Воронежа, Хопра и Медведицы до более чем 50–60% в бассейнах рек Северский Донец и Оскол. Среднее суммарное уменьшение стока половодья в бассейне Дона $W_{изм}$ по данным 50 постов за 1980–2017 гг. составило 415 мм, а средняя величина его изменения за год $\Delta Y_{изм}$ – 11,6 мм. Наиболее существенное сокращение весеннего стока отмечено на реках Тишанка, Паньшинка и Нежеголь. На реках Хопер, Медведица и Воронеж, наоборот, отмечено незначительное увеличение весеннего стока. В бассейнах этих же рек отмечено наибольшее количество водохранилищ объемом более 0,1 млн м^3, оказывающих наибольшее влияние на внутригодовое регулирование стока.

По характеру изменения весеннего стока в бассейне Дона выделены три группы рек: в первую вошли реки с сокращением стока после 1980 г. (Дон на участке Задонск – Лиски с притоками, Северский Донец с притоками, Савала, Курдючья); во вторую – с сокращением стока после маловодного периода 2006–2010 гг. (Ворона, Бузулук, Терса, Арчеда, Глубокая, отдельные участки Хопра и Дона и др.); в третью – без значительных изменений в многолетней динамике весеннего стока (Карай, Кумылга, Медведица, Дон и частично Хопер).

Оценено влияние искусственных водоемов на возможное изменение весеннего стока рек бассейна. Величина видимого испарения с поверхности водохранилищ и малых прудов в бассейне Дона выше Цимлянского водохранилища сравнительно

Рис. 7. Влияние водохранилищ на внутригодовое изменение стока рек в бассейне Дона в зависимости от: А – площадей их водосборов; Б – количества водохранилищ; В – их техногенно-потенциального регулирования.
Фазы гидрологического режима: 1 – маловодная; 2 – многоводная; 3 – бассейн р. Чир: а – маловодная; б – многоводная

Fig. 7. Influence of reservoirs on the intra-annual river flow distribution within the Don River basin depending on: A – the catchments' area; Б – the number of reservoirs; B – the potential of technogenic regulation.
Phases of the hydrological regime: 1 – low water; 2 – high water; 3 – the Chir River basin: a – low water; б – high water

невелика и составляет 0,09 км^3, или 0,5% от среднегодового стока Дона, в створе Калач-на-Дону. Однако в маловодные годы на наиболее антропогенно нагруженных водосборах этот фактор может значительно усиливать дефицит водных ресурсов. Так, например, для Хопра он может достигать 3,1% от годового стока в маловодный год, хотя в средний по водности год составляет около 1%.

Средняя доля суммарного полезного объема водохранилищ в бассейнах крупнейших притоков Дона составляет в среднем 43% от сокращения объема их стока в период половодья, что свидетельствует о значительной возможности сезонного перераспределения стока воды водохранилищами объемом более 0,1 км^3.

С увеличением значения ТПР для бассейнов наблюдается увеличение относительного сокращения стока воды в половодье, что указывает на существенный вклад искусственных водоемов в сокращении стока в весенний период.

Изменения стока в многоводные и маловодные фазы в замыкающем створе притоков имеют прямую связь с количеством водохранилищ в их бассейне.

Применение метода ИКС в совокупности с другими характеристиками стока дает возможность сопоставить влияние природных и антропогенных факторов формирования стока в его внутригодовом распределении. Наилучшие результаты метод ИКС дает при анализе рядов стока по наблюдениям на серии гидропостов, расположенных по длине реки. Для более точного разделения нужны подробные данные о режиме работы водохранилищ.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке грантов РНФ № 19-77-10032 (оценка вклада водохранилищ в изменение характеристик стока половодья) и РНФ №21-47-00008 (статистический анализ и оценка изменения стока половодья), а также в рамках госзадания АААА-А16-116032810054-3 «Гидрологический режим водных объектов суши в условиях изменения климата и антропогенного воздействия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас мирового водного баланса. М.; Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 65 с.

Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова И.И. Бассейн Верхнего Дона: гидрография, гидрология и водные ресурсы // Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 23. 2005. 138 с.

Болгов М.В., Мишон В.М., Сенцова Н.И. Современное состояние и перспективы использования водных ресурсов бассейна Верхнего Дона // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: География. Геоэкология. 2002. № 1. С. 112–123.

Вода России. Речные бассейны / под ред. А.М. Черняева. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2000. 536 с.

Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 223 с.

Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.

Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 2017. 204 с.

Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 6. С. 544–556.

Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б., Сафронова Т.И. Динамика подземного стока бассейна Дона под влиянием изменений климата // Недропользование XXI век. 2010. № 4. С. 78–81.

Зайков Б.Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР // Труды ГГИ. 1949. Вып. 21(75). 54 с.

Каталог. Водохранилища СССР. М.: Союзводпроект, 1988. 276 с.

Киреева М.Б., Илич В.П., Гончаров А.В., Богачев А.Н., Фролова Н.Л., Пахомова О.М., Соловьева В.В. Влияние маловодья 2007–2015 гг. в бассейне р. Дон на состояние водных экосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 5. С. 3–13.

Киреева М.Б., Илич В.П., Фролова Н.Л., Харламов М.А., Сазонов А.А., Михайлюкова П.Г. Вклад климатических и антропогенных факторов в формирование маловодного периода в бассейне р. Дон 2007–2015 гг. // Гориск. 2017. № 4. С. 10–21.

Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 1. С. 60–76.

Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М., Соколихина Н.Н., Суркова Г.В., Торопов П.А., Чернышев А.В., Чумаченко А.Н. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. М.: МАКС Пресс, 2008. 292 с.

Константинов А.Р. Испарение в природе. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 532 с.

Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеоиздат, 1952. 392 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II: Последствия изменений климата. М.: Росгидромет, 2008. 289 с.

Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. 1982–2008 гг. / Государственный водный кадастр: справочное издание.

Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. 2018 г. / Водный кадастр Российской Федерации: справочное издание. СПб.: Победа, 2019. 153 с.

Руководство по гидрологическим расчетам при проектировании водохранилищ. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 368 с.

Справочник водохранилищ СССР. Ч. I. Водохранилища объемом 10 млн м^3 и более. М.: Союзводпроект, 1988. 323 с.

Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 83 с.

Фролова Н.Л. Гидрология рек (антропогенные изменения речного стока): учеб. пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2006. 112 с.

Фролова Н.Л., Нестеренко Д.П., Шенберг Н.В. Внутригодовое распределение стока рек России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2010. № 6. С. 8–16.

Эдельштейн К.К. Структурная гидрология суши. М.: ГЕОС, 2005. 316 с.

Kharlamov M., Kireeva M. Drought dynamics in the East European Plain for the period 1980–2018. *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 163, p. 02004, DOI: 10.1051/e3sconf/202016302004.

Электронные ресурсы

Архив погоды. Метеостанция Воронеж. URL: https://rp5.ru (дата обращения 15.06.2019).

База данных ФГБУ «Центр Российского регистра гидротехнических сооружений». URL: http://www.waterinfo.ru/ (дата обращения 10.12.2020).

Поступила в редакцию 21.01.2021
После доработки 15.02.2021
Принята к публикации 18.03.2021

ASSESSMENT OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC IMPACT ON SPRING RUNOFF IN THE DON RIVER BASIN

N.A. Varentsova[1], M.G. Grechushnikova[2], E.S. Povalishnikova[3], M.B. Kireeva[4], M.A. Kharlamov[5], N.L. Frolova[6]

[1–6] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology*
[1] *Central Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Head of the Department of Hydrological Forecasts*
[5] *Water Problems Institute of RAS, Laboratory for Surface Water Modeling, Junior Researcher*

[1] *Engineer; e-mail: efrnatalie@gmail.ru*
[2] *Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: allavis@mail.ru*
[3] *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: elenapovalishnikova@gmail.com*
[4] *Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: kireeva_mb@mail.ru*
[5] *Engineer, Ph.D. in Geography; e-mail: maks-xool@mail.ru*
[6] *Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: frolova_nl@mail.ru*

The article examines the flow features of the spring flood in the Don River basin during 1930–2017. Its large-scale changes over the past half century took place in 1980 and 2006–2010. During these periods the most significant climatic changes were observed, aggravated in the 20th century by significantly increased anthropogenic runoff regulation by numerous reservoirs. The application of the method of integral curves in combination with statistical analysis of the spring runoff by the data of 50 stream gauges made it possible to separate the contribution of climatic changes and anthropogenic impacts to the formation of modern decrease of flood runoff on the rivers of the Don River basin. According to our results over the past 40 years the flood runoff has decreased by an average of 30–40%, i.e. from 10% in the upper reaches of the Voronezh, Khoper and Medveditsa rivers to more than 50–60% in the basins of the Seversky Donets and Oskol rivers. In terms of the changes in spring runoff, the rivers of the Don River basin are divided into three groups: with the runoff decrease after 1980, after 2006–2010 and with no changes in spring runoff. According to calculations, the amount of visible evaporation from the surface of reservoirs in the Don River basin upstream the Tsimlyansk reservoir is relatively small and equals to 0.09 km^3 or 0.5% of the Don River's average annual flow for the Kalach-on-Don section. However, in dry years this factor can significantly increase the deficit of water resources for most watersheds with intensive economic activity. It is estimated that the total usable volume of reservoirs in the basins of the largest Don River tributaries averages 43% of the decrease in their runoff during the flood period, thus indicating highly possible seasonal redistribution of water runoff by reservoirs with a volume of more than 0.1 km^3. The potential of technogenic regulation (PTR) of reservoirs with a volume of more than 0.1 km^3 was evaluated. A decrease of the spring river flow with increasing PTR of reservoirs in their basins was noted.

Keywords: annual distribution of runoff, reservoir, technogenic potential of regulation, seasonal flood, climate change

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (projects No 19-77-10032 (assessment of the contribution of reservoirs to changes of the characteristics of flood runoff) and No. 21-47-00008 (statistical analysis and assessment of changes in flood runoff), and carried out under the framework of the state assignment AAAA-A16-116032810054-3 "Hydrological regime of terrestrial water bodies under climate change and anthropogenic impact".

REFERENCES

Atlas mirovogo vodnogo balansa [World Water Balance Atlas], Moscow, Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1974, 65 p. (In Russian)

Bolgov M.V., Mishon V.M., Sentsova I.I. Bassein Verkhnego Dona: Gidrografiya, gidrologiya i vodnye resursy [The Upper Don River basin: hydrography, hydrology and water resources], *Tr. NII geologii VGU*, iss. 23, 2005, 138 p. (In Russian)

Bolgov M.V., Mishon V.M., Sentsova N.I. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya vodnykh resursov basseina Verkhnego Dona [Current state and prospects for the use of water resources in the Upper Don River basin], *Vestn. Voronezh. gos. un-ta*, Seriya: Geografiya. Geoekologiya, 2002, no. 1, p. 112–123. (In Russian)

Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Sovremennye izmeneniya vodnogo rezhima rek v basseine Dona [Modern changes in the water regime of rivers in the Don River basin], *Vodnye resursy*, 2013, vol. 40, no. 6, p. 544–556. (In Russian)

Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I. Dinamika podzemnogo stoka basseina Dona pod vliyaniem izmenenii klimata [Dynamics of underground runoff in the Don River basin under the influence of climate change], *Nedropol'zovanie XXI*, 2010, no. 4, p. 78–81. (In Russian)

Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. *Vodnye resursy basseina Dona i ikh ekologicheskoe sostoyanie* [Water resources of the Don River basin and their ecological state], Moscow, GEOS Publ., 2017, 204 p. (In Russian)

Edel'shtein K.K. *Strukturnaya gidrologiya sushi* [Structural land hydrology], Moscow, GEOS Publ., 2005, 316 p. (In Russian)

Frolova N.L. *Gidrologiya rek (antropogennye izmeneniya rechnogo stoka)* [River hydrology (anthropogenic changes of river flow)], tutorial, Moscow, Faculty of Geography MSU, 2006, 112 p. (In Russian)

Frolova N.L., Nesterenko D.P., Shenberg N.V. Vnutrigodovoe raspredelenie stoka rek Rossii [Intra-annual flow regime of rivers in Russia], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr*., 2010, no. 6, p. 8–16. (In Russian)

Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2018 godu" [State report "On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2018"], Moscow, NIA-Priroda Publ., 2019, 290 p. (In Russian)

Katalog. Vodokhranilishcha SSSR [Catalog. Reservoirs of the USSR], Moscow, Soyuzvodproekt Publ., 1988, 276 p. (In Russian)

Kharlamov M., Kireeva M. *Drought dynamics in the East European Plain for the period 1980–2018*, E3S Web of Conferences, 2020, vol. 163, p. 02004, DOI: 10.1051/e3sconf/202016302004.

Kireeva M.B., Frolova N.L. Sovremennye osobennosti vesennego polovod'ya rek basseina Dona [Modern features of the spring flood of rivers in the Don River basin], *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2013, no. 1, p. 60–76. (In Russian)

Kireeva M.B., Ilich V.P., Frolova N.L. Kharlamov M.A., Sazonov A.A., Mikhailyukova P.G. Vklad klimaticheskikh i antropogennykh faktorov v formirovanie malovodnogo perioda v basseine r. Don 2007–2015 gg. [The contribution of climatic and anthropogenic factors to the formation of low-water period in the basin of the Don River during 2007–2015], *Georisk*, 2017, no. 4, p. 10–21. (In Russian)

Kireeva M.B., Ilich V.P., Goncharov A.V., Bogachev A.N., Frolova N.L., Pakhomova O.M., Solov'eva V.V. Vliyanie malovod'ya 2007–2015 gg. v basseine r. Don na sostoyanie vodnykh ekosistem [Influence of 2007–2015 extreme low flow period in the Don River basin on water ecosystems], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr*., 2018, no. 5, p. 3–13. (In Russian)

Kislov A.V., Evstigneev V.M., Malkhazova S.M., Sokolikhina N.N., Surkova G.V., Toropov P.A., Chernyshev A.V., Chumachenko A.N. *Prognoz klimaticheskoi resursoobespechennosti Vostochno-evropeiskoi ravniny v usloviyakh potepleniya XXI veka* [Forecast of climatic resource availability within the East European Plain under the warming of the XXI century], Moscow, MAKS Press Publ., 2008, 292 p. (In Russian)

Konstantinov A.R. *Isparenie v prirode* [Evaporation in nature], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1968, 532 p. (In Russian)

Kritskii S.N., Menkel' M.F. *Vodokhozyaistvennye raschety* [Water management calculations], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1952, 392 p. (In Russian)

Otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii, T. II, Posledstviya izmenenii klimata [Assessment report on climate changes and their consequences within the territory of the Russian Federation, vol. II, Consequences of climate change], Moscow, Rosgidromet Publ., 2008, 289 p. (In Russian)

Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol'zovanie i kachestvo. Ezhegodnoe izdanie. 1982–2008 gg. [Surface and groundwater resources, their use and quality. Annual edition. 1982–2008], Gosudarstvennyi vodnyi kadastr, spravochnoe izdanie. (In Russian)

Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol'zovanie i kachestvo. Ezhegodnoe izdanie. 2018 god [Surface and groundwater resources, their use and quality. Annual edition. 2018], Vodnyi kadastr Rossiiskoi Federatsii, spravochnoe izdanie, St. Peterburg, Pobeda Ltd. Publ., 2019, 153 p. (In Russian)

Rukovodstvo po gidrologicheskim raschetam pri proektirovanii vodokhranilishch [Guidance on hydrological calculations for reservoir design], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1983, 368 p. (In Russian)

Spravochnik vodokhranilishch SSSR, Ch. I, Vodokhranilishcha ob"emom 10 mln m^3 i bolee [Reference book of reservoirs of the USSR, pt. I, Reservoirs with a volume

of 10 million m^3 and more], Moscow, Soyuzvodproekt Publ., 1988, 323 p. (In Russian)

Ukazaniya po raschetu ispareniya s poverkhnosti vodoemov [Guidelines for calculation of evaporation from the surface of water bodies], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969, 83 p. (In Russian)

Voda Rossii. Rechnye basseiny [Water of Russia. River basins], Chernyaev A.M. (ed.), Ekaterinburg, "AKVA-PRESS" Publ., 2000, 536 p. (In Russian)

Vuglinskii V.S. *Vodnye resursy i vodnyi balans krupnykh vodokhranilishch SSSR* [Water resources and water balance of large reservoirs in the USSR], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1991, 223 p. (In Russian)

Zaikov B.D. Isparenie s vodnoi poverkhnosti prudov i malykh vodokhranilishch na territorii SSSR [Evaporation from the water surface of ponds and small reservoirs in the USSR], *Trudy GGI*, 1949, iss. 21(75), 54 p. (In Russian)

Web sources

Arkhiv pogody. Meteostantsiya Voronezh [Weather archive. Voronezh Weather Station], URL: https://rp5.ru (access date 15.06.2019).

Baza dannykh FGBU "Tsentr Rossiiskogo registra gidrotekhnicheskikh sooruzhenii" [Database of FSBI "Center for the Russian Register of Hydraulic Structures"], URL: http://www.waterinfo.ru/ (access date 10.12.2020).

Received 21.01.2021
Revised 15.02.2021
Accepted 18.03.2021

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.435.84; 551.89

СТРОЕНИЕ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПЕЩЕРЫ ПОДМОСКОВНОЙ

В.А. Неходцев[1], Д.И. Гаршин[2], А.М. Пожидаев[3]

[1] *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, кафедра геоморфологии и палеогеографии*
[2] *Русское географическое общество, Московское городское отделение*
[2, 3] *Спелеоклуб «Тетис» (г. Ступино)*

[1] *Соискатель; e-mail: baban.n@mail.ru*
[2] *Руководитель спелеоклуба; e-mail: sso.tetis@gmail.com*
[3] *e-mail: andr.pozhidaeff@yandex.ru*

В феврале 2020 г. под д. Новленское (юг Ближнего Подмосковья) была открыта карстовая пещера Подмосковная, к настоящему времени признанная самой протяженной природной пещерой Московской области и одной из самых длинных в Центральной России. Однако, особая ценность открытия заключается в уникальности проведенного авторами исследования: пещера относится к редкому и малоизученному русскому (закрытому) типу карста. Полость коррозионно-карстового происхождения сформировалась на глубине около 18 м в среднекаменноугольных известняках, перекрытых бронирующим горизонтом верхнеюрских глин. Представлены результаты обследования Подмосковной, многие ходы которой приходилось расширять вручную: описание пещеры и ее отложений, топографический план, пространственная (точность ±5 м) и высотная (точность ±1 м) привязка к поверхности. Подмосковная относится к паводковым лабиринтам (иррегулярна в плане), состоит из двух ярко выраженных пещерных этажей, соединенных карстовыми 2,5–3-метровыми колодцами. Длина картографированных ходов к моменту публикации статьи превысила 190 м. Настоящее исследование подробно реконструирует историю развития пещеры: гидрогеологические и палеогеографические условия, механизмы образования пещерных отложений. Показано, что карстовый процесс протекал сингенетично с эрозионно-аккумулятивной ритмикой ближайшей реки Пахры. Методом геоморфологической корреляции установлено, что формирование основных объемов пещеры произошло 130–115 тыс. л. н. (МИС 5e; микулинское межледниковье). Выявлено, что через Подмосковную проходил сток из реки Пахра вглубь скального массива с типичными скоростями 1–5 см/с. В интервале 115–40 тыс. л. н. (МИС 5d – сер. МИС 3; первая половина валдайского времени) скорости пещерного потока были существенно ниже (не более 0,1–0,2 см/с); отложилась пачка скрытослоистых алевритистых глин, сносимых преимущественно из вышележащих слоев. Вода покинула пещеру около 40 тыс. л. н., притом по геологическим меркам мгновенно.

Ключевые слова: геоморфология, карст, Московская область, палеогеография плейстоцена, субрельеф

ВВЕДЕНИЕ И ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА

Карст Москвы и Подмосковья исследуется уже более 100 лет, но до сих пор нельзя констатировать высокую степень его изученности. Особенно это касается подземных полостей, которые практически недоступны для прямого изучения и фиксировались в основном по буровым скважинам. К настоящему времени убедительно доказано [Кочев и др., 1991; Аникеев, 2017], что современные карстовые процессы находятся на стадии затухания, либо вообще неактивны, а причиной деформаций дневной поверхности является суффозионный снос тонкодисперсного вещества в раскарстованные полости прошлых эпох. При этом к концу XX в. для территории Москвы и Московской области были установлены гидрогеологические, геоморфологические условия и ведущая роль антропогенного фактора в едином карстово-суффозионном процессе.

Изучение эволюции карста Московского региона осложняется тем, что он относится к закрытому, или русскому, типу. На фоне идущей последние десятилетия смены «главной парадигмы карстологии с преимущественно геоморфологической на гидрогеологическую» [Климчук, Андрейчук, 2010, с. 24] дальше всех в вопросах освещения и классификации карста закрытого типа ушел А.Б. Климчук [Klimchouk, 2005], наработки которого при этом почти не учитывают особенности подмосковного карста. Изученность же субрельефа, или рельефа подземных полостей [Болысов, Неходцев, 2020], и вовсе фрагментарная: подземные карстовые полости Москвы и окрестностей вскрывались несколько

раз при проходке метрополитена [Котлов, 1962; Москва…, 1997]. Отдельные каверны и пещеры протяженностью до 40 м вскрыты в XVII – начале XX в. подземными каменоломнями по бортам долины р. Пахры и ее притоков. Также в Московской области известны несколько пещерок, открывающихся в борта речных долин, крупнейшая из которых – Полушкинская (близ пос. Тучково) – не превышает 30 м в длину [Пещеры…, 2020].

Первые отрывистые сведения о карсте Москвы и Подмосковья стали появляться в работах С.Н. Никитина [1890], А.П. Иванова [1916] и его учеников – А.Н. Сокольского и Б.М. Даньшина [1947]. Интересно описание, сделанное в бассейне р. Битцы: «…на этом участке вследствие сравнительно неглубокого залегания известняков наблюдаются по оврагам и долинам следы провальных ям и характерное поглощение ручьев. Единственным пока случаем (описания пещеры естественного происхождения – *Примеч. авт.*) является открытая О.И. Тихвинским карстовая пещера в известняках близ Красной Пахры» [Даньшин, 1947, с. 78–79].

Начало систематического изучения карста Москвы можно связать с работами Ф.В. Котлова [1962], а центральной части Восточно-Европейской равнины – с широко известными работами Н.А. Гвоздецкого [1954], Г.А. Максимовича [1963], А.Г. Чикишева [1975] и др. Разумеется, этот список нельзя считать исчерпывающим. Особо отметим сравнительно давнюю монографию «Движение земной коры и геологическое прошлое Подмосковья» [Апродов, Апродова, 1963], в которой приведены одни из первых палеореконструкций развития карста в регионе (для долины р. Пахры). Дальнейшее изучение карста Москвы в связи с активизацией провально-просадочных процессов в начале 1960-х гг. приняло яркий инженерно-геологический оттенок и широкий охват, объединило геологов, гидрохимиков, гидрогеологов, геоморфологов из академической среды и многих проектно-изыскательских организаций. Вместе с тем по уже означенной причине это едва ли поспособствовало непосредственному изучению подземных полостей карстового генезиса.

Настоящее исследование посвящено крупнейшей доступной карстовой пещере Московской области (и одной из крупнейших в Центральной России) – Подмосковной, обнаруженной в начале 2020 г. [Гаршин и др., 2020].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пещера Подмосковная вскрыта под д. Новленское (в 3–4 км к северо-востоку от подмосковного города Домодедово) дальним от входа забоем выработки из группы подземных Съяновских каменоломен (рис. 1). Съяновские каменоломни (известные в 1890-х гг. как Новлинские) образовались в результате крестьянского промысла по добыче белого камня. Разработка известняка близ д. Новленское велась с XVII в. по конец XIX в. и завершилась по экономическим причинам [Гаршин и др., 2021]. Общая длина Съяновских каменоломен превышает 20 км [Гаршин, Гаршина, 2016, с. 141], что делает их крупнейшими в Московской области. В морфологическом плане Съяновские каменоломни представляют собой относительно хаотичный лабиринт подземных субгоризонтальных горных выработок (штолен и штреков), преимущественно древовидного рисунка. Обрушений кровли в системе каменоломен относительно немного. Высота кровли в забойных частях достигает 3,5–3,8 м. В настоящее время каменоломня является одним из самых популярных объектов спелеотуризма в Центральной России [Гаршин, Гаршина, 2016].

Съяновскими каменоломнями вскрыт ряд достаточно крупных карстовых полостей. Одна из них, известная также как Лаз Шиза, находится в нижней части монолитной стены забойной камеры в восточной части каменоломен. Этот узкий (30–50 см) труднопроходимый извилистый лаз давно известен туристам и спелестологам (спелестология – раздел спелеологии, изучающий антропогенные подземные макрополости [Гаршин, Гаршина, 2016, с. 137]), периодически проползавшим по нему несколько метров до первого расширения. Однако попыток проникнуть дальше никем не предпринималось: по сообщениям ряда спелеотуристов (И.А. Дымовой, М.Н. Плахова, И.В. Каменева) из-за замытости полости глиной лаз считался тупиковым. По мнению А.М. Пожидаева до начала раскопок продолжение пещеры в ту или иную сторону не было очевидным.

В феврале 2020 г. А.М. Пожидаев прошел Лаз Шизу и, раскопав рыхлые отложения, обнаружил продолжение пещеры, а в 35 м от входа – вертикальный колодец вниз (на тот момент также неизвестный). Первичное исследование и описание пещеры весной 2020 г. проводили члены Ступинского спелеологического общества «Тетис»[1]. Основные работы по раскопке ходов пещеры выполнили А.М. Пожидаев, В.А. Ласкин и Г.В. Творун; топографическую съемку прилегающих к пещере частей Съяновской каменоломни провели Д.И. Гаршин и Ю.В. Гаршина. На этом этапе пещера получила рабочее название «Пожидаевский карст». По заложенным В.А. Неходцевым микрошурфам описаны заполняющие пещеру рыхлые отложения, а по подземным провалам штолен – известняки и залегающие над ними юрские глины и пески, четвертичные аллювиальные пески и суглинки.

[1] С 14.09.2020 г. – спелеоклуб «Тетис».

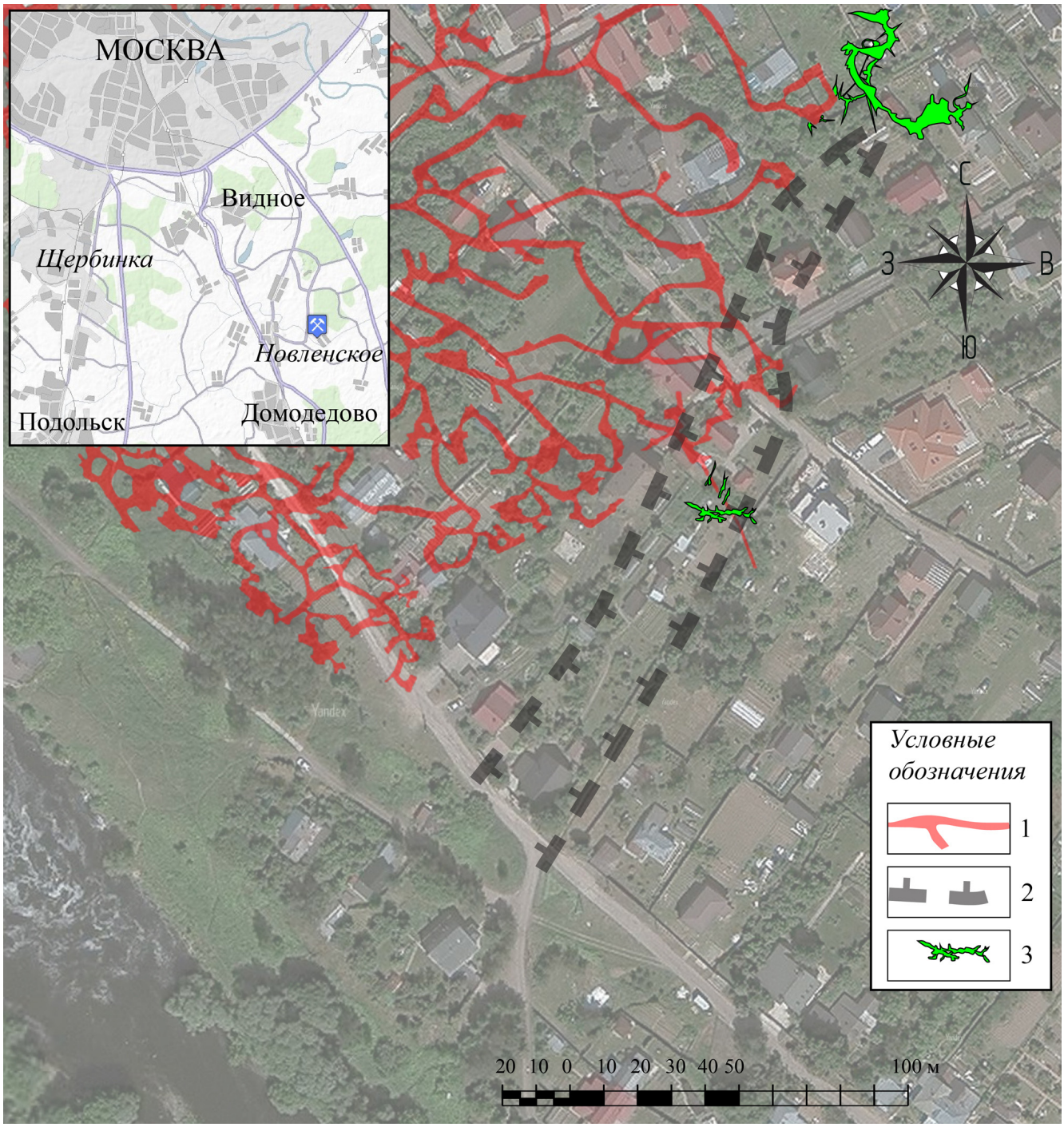


Рис. 1. Местоположение крупнейших картографированных карстовых полостей, вскрытых восточным флангом Сыяновской системы каменоломен.

Полуинструментальная съемка Сыяновской системы каменоломен проведена А.А. Парфеновым и уточнена авторами; съемка пещеры Подмосковной с помощью DistoX2 – А.М. Пожидаевым; съемка прочих карстовых полостей с помощью DistoX2 – В.С. Булатовым. Условные обозначения: 1 – подземные галереи Сыяновских каменоломен; 2 – ложбина стока; 3 – карстовые пещеры

Fig. 1. The location of the largest mapped karst cavities known in the eastern part of the Syanovskaya quarry.

The Syanovskaya quarry topographic survey was conducted by A.A. Parfyonov and improved by the authors; the Podmoskovnaya Cave was surveyed with a DistoX2 device by A.M. Pozhidaev; other cavities were surveyed with a DistoX2 device by V.S. Bulatov. Legend: 1 – underground galleries of the Syanovskaya quarry; 2 – narrow gully; 3 – karst cavities

Параллельно раскопкам А.М. Пожидаев провел первоначальную 3D-съемку пещеры. В основу современной полуавтоматизированной методики топографической съемки подземных полостей заложен комплекс Paperless Caving, который состоит из смартфона с установленным приложением TopoDroid (версия 3.4) и прибора DistoX2. Этот прибор разработан на базе лазерного дальномера фирмы Leica. В него дополнительно установлены акселерометр, модуль беспроводной связи (Bluetooth), датчик Холла, модуль памяти и микропроцессор. Подробное описание применяемой методики подземной топографической съемки и способы уменьшения погрешностей приведены в публикации одного из авторов [Гаршин, 2018]. Для морфометрических измерений также использовался лазерный дальномер Bosch DLE 50 Professional. Погрешность линейных измерений в перечисленных приборах не превышает ±1,5 мм, угловых измерений – 0,5°. В проведении уточняющей топосъемки в мае–июне 2020 г. принимал участие Д.В. Альбов, материалы которого, однако, в настоящей работе не использованы. Информационную поддержку и помощь в обработке материалов перманентно оказывал В.С. Булатов (спелестологическая группа «Летучая мышь»).

В течение лета–осени 2020 г. А.М. Пожидаевым, В.А. Ласкиным и Г.В. Творуном периодически производились работы по поиску продолжения ходов нижнего этажа пещеры. Наиболее перспективным оказалось ее развитие в восточном и юго-восточном направлениях (в сторону реки). Здесь при раскопках завала нижнего этажа А.М. Пожидаеву и Г.В. Творуну осенью 2020 г. удалось проникнуть ниже его пола. Однако на момент подготовки статьи уверенно говорить об обнаружении полноценного третьего этажа преждевременно, поскольку весь восточный фланг пещеры представлен обширным обвальным массивом.

В октябре–ноябре 2020 г. было проведено нивелирное сопоставление и частичная топосъемка карстовых полостей, вскрытых на восточном фланге каменоломни (проводили Д.И. Гаршин, И.А. Дымова, В.А. Неходцев, Г.В. Творун); описаны пещерные отложения с дальнейшей корреляцией с таковыми в Подмосковной. Высотные отметки карстовых полостей были определены единовременно в течение 40 минут с помощью электронного барометра в приборе Garmin GPSMAP 64s и дополнительно уточнены в ходе топографической съемки прибором DistoX2. Погодные условия были выбраны таким образом, что три предшествующих дня на фоне антициклональных условий атмосферное давление не менялось. Кроме того, методом DistoX2 была проведена точная привязка пещеры к поверхности через пройденный в 2010-х гг. штрек в соседнюю Новленскую каменоломню. Сама Новленская каменоломня привязана к геодезическому пункту в д. Новленское через засыпанный вход и горную выработку, выводящую на один из дачных участков. Точность определения местоположения пещеры Подмосковной нами оценивается в ±5 м, высотное положение – ±1 м. Уточненные географические координаты входа в пещеру (из подземной каменоломни): 55,48400695; 37,79511895.

Всеми участниками суммарно совершено более 25 однодневных выездов; проведено две наземные геоморфологические съемки. Для подготовки статьи использованы геологические фондовые материалы, полученные в ФГБУ «Росгеолфонд» (см. список литературы). На момент подготовки статьи раскопки пещеры Подмосковной продолжаются по нескольким направлениям. К ноябрю 2020 г. суммарная протяженность картографированных основных ходов пещеры превысила 190 м (рис. 2), в связи с чем пещера однозначно интерпретирована как крупнейшая известная естественная пещера Московской области и одна из крупнейших – в Центральной России. Консолидированным решением членов исследовательской группы ей присвоено название «Подмосковная», под которым она внесена в Информационно-поисковую систему «Пещеры» (кад. № 5529/3747-2). Для ограничения нежелательного доступа в пещеру вход был законсервирован исследовательской группой.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Описание пещеры. Пещера находится под тыловой частью левобережной третьей надпойменной террасы р. Пахры на абсолютных высотах 118–121 м. Глубина пещеры относительно поверхности составляет около 18 м. Подмосковная является карстовой пещерой коррозионно-эрозионного генезиса. По условию образования (карстующиеся породы перекрыты бронирующими отложениями), пещера относится к закрытому (русскому) типу карста. Пещеры такого типа в зарубежной литературе, видимо, практически не освещались. Проблемно и однозначное отнесение Подмосковной к одному из эволюционных типов карста, поскольку она одновременно несет черты закрытого (гипогенного), приоткрытого и взрезанного типов [Klimchouk, 2005]. Похоже, что это первая из пещер такого типа, непосредственно посещенная и исследованная в Московском регионе (не считая данных колонкового бурения). Отметим, что на существование аналогичных ей субгоризонтальных пещерных систем, приуроченных к долинам рек, прежде указывали некоторые исследователи [Апродов, Апродова, 1963; Максимович, 1963].

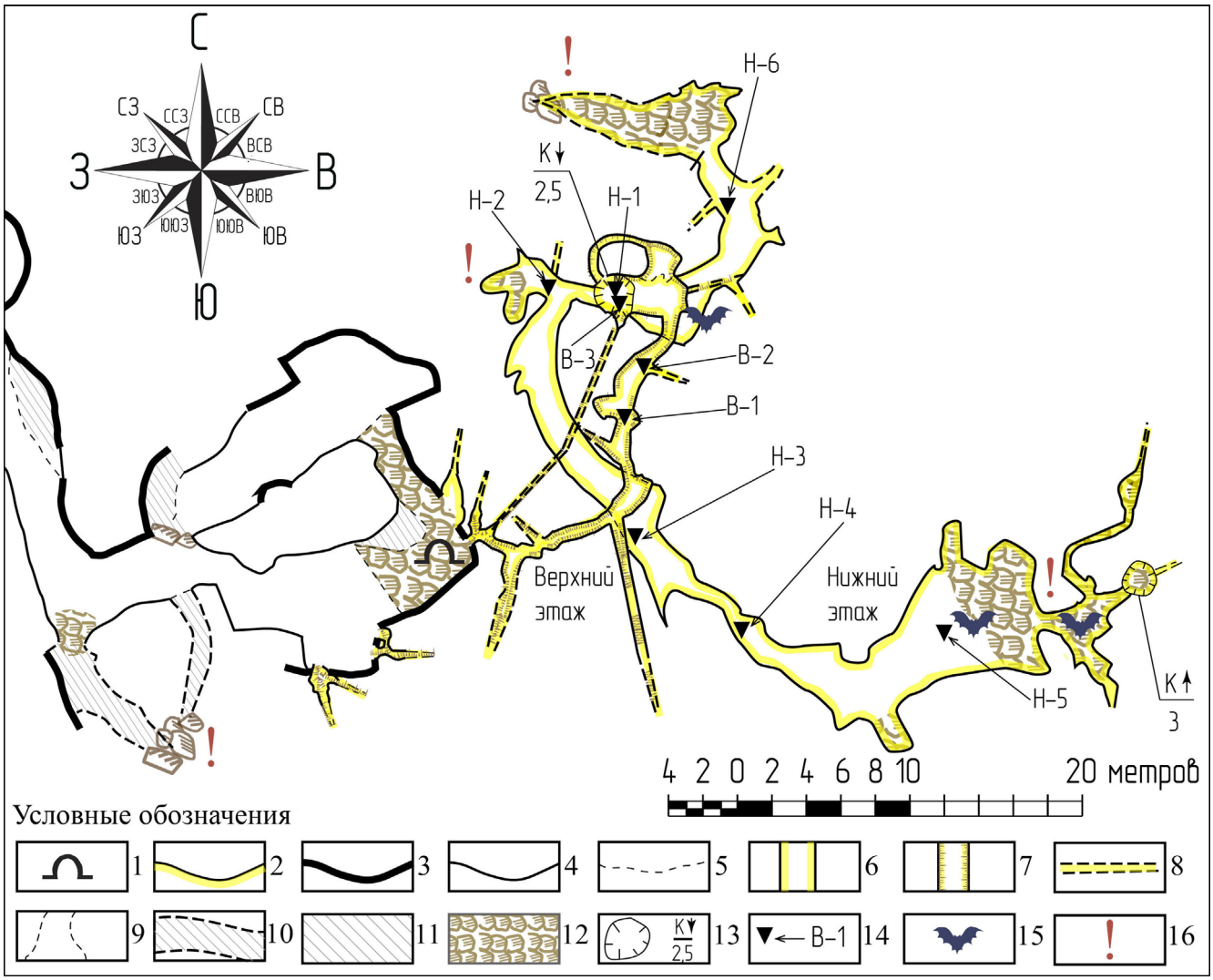


Рис. 2. План пещеры Подмосковной и прилегающих к ней выработок Съяновской системы каменоломен (по состоянию на конец октября 2020 г.).

Съемка инструментальная (DistoX2), абрис глазомерный: А.М. Пожидаев, Д.И. Гаршин, Ю.В. Гаршина, И.А. Дымова; обработка: Д.И. Гаршин. Север географический. Условные обозначения: 1 – вход в пещеру; 2 – границы карстовых полостей; 3 – монолитная стена забоя; 4 – бутовая кладка стен; 5 – границы ниш, перепад уровня пола; 6 – ходы нижнего пещерного этажа; 7 – ходы верхнего пещерного этажа; 8 – трещины, непроходимые лазы; 9 – границы ходов низшего уровня; 10 – лазы в бутовой кладке; 11 – узкие ходы; 12 – завалы и отдельные глыбы; 13 – карстовые колодцы, глубина в метрах; 14 – стратиграфические микрошурфы; 15 – скопление останков летучих мышей; 16 – опасность обвалов

Fig. 2. The plan of the Podmoskovnaya Cave and nearby mine workings of the Syanovskaya quarry (as of late October, 2020).

Topographic survey with a DistoX2 device and field sketching performed by A.M. Pozhidaev, D.I. Garshin, Yu.V. Garshina, I.A. Dymova; processed by D.I. Garshin. North is the geographical direction. Legend: 1 – the cave entrance; 2 – karst cavities; 3 – quarry face; 4 – quarry stone along the quarry faces; 5 – niches in the quarry floor; 6 – the lower cave level; 7 – the upper cave level; 8 – fissures and impassable narrow crevices; 9 – unseen objects; 10, 11 – narrow tunnel in quarry stone; 12 – obstruction and heap of boulders; 13 – shafts, depth in meters; 14 – exploring pits; 15 – bats remains (bones); 16 – danger of collapse

Почти все ходы пещеры наклонены (неравномерно; средние уклоны порядка 3–5%) к северу в соответствии с общим падением пластов и направлением межпластовых трещин, по которым они и заложены. Морфологически пещера является паводковым лабиринтом [Климчук, Андрейчук, 2010]: в плане ее ходы иррегулярны, извилисты, имеется множество узких непролазных ответвлений, иногда ограниченных обвалами. При этом пещерная система линейно вытянута вкрест долине Пахры.

В явном виде выделяются два пещерных этажа, расположенные почти в 3 м один над другим и соединенные воронковидным колодцем диаметром от 50 см в нижней части до 200 см в верхней (рис. 3). Еще один карстовый колодец аналогичных размеров обнаружен в восточной части нижнего этажа, но пройти его пока не удалось, т. к. он полностью

завален обломками известняка, к разбору которых коллектив еще не приступал. Также этажи соединены не до конца сформировавшимся псевдоколодцем в средней части картографированного участка и рядом вертикальных прокарстованных трещин с раскрытием до нескольких сантиметров.

Еще одна более чем 30-метровая пещера обнаружена в 110 м южнее Подмосковной в середине 2010-х гг. при проходке сбойки в соседнюю каменоломню Новленская. Морфология ходов, гипсометрическое положение и субтерральные отложения дают основание полагать, что обе пещеры являются частями единой пещерной системы, заложенной вдоль зоны повышенной трещиноватости известняков. На поверхности над обеими пещерами проходит ложбина стока (шириной до 20 м; глубиной менее 3 м), верховья которой находятся почти над пещерой Подмосковной (см. рис. 1), что указывает на единый литолого-структурный контроль спелеогенеза и рельефообразования на поверхности. В случае вероятного соединения двух пещер ходами малого диаметра суммарная протяженность обнаруженной пещерной системы может достигать 450–500 м. Кроме того, Съяновскими каменоломнями вскрыто еще несколько карстовых полостей различной протяженности и гипсометрически соответствующих двум этажам Подмосковной [Гаршин и др., 2020].

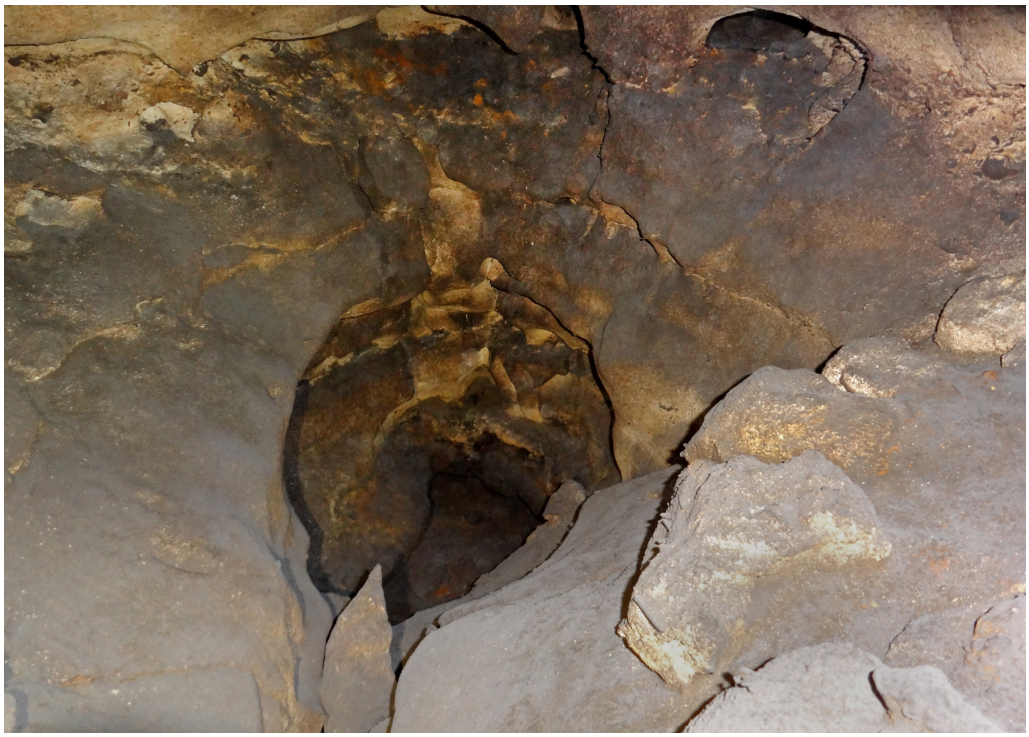


Рис. 3. Карстовый колодец между этажами пещеры. Фотография А.М. Пожидаева

Fig. 3. A karst shaft between the cave levels. Photo by A.M. Pozhidaev

Ширина основных ходов пещеры почти нигде не превышает 1 м; исключения составляют только северная часть Подмосковной с ходами шириной 2–3 м и юго-восточная обрушенная часть (более 6 м). Множественные ответвления и параллельные каналы преимущественно не шире 20–30 см, потому недоступны для прямого изучения. Высота раскарстованных ходов почти повсеместно близка к половине их ширины, однако они замыты рыхлыми отложениями (рис. 4). Заложенные микрошурфы показали, что ложе ходов в основном в 2–3 раза у́же их сводовой части. Мощность пачки рыхлых отложений в основном не превышает 20 см, кроме нескольких конусов выноса на нижнем этаже пещеры (в горловине колодца и под вертикальными карстовыми каналами), что указывает на частичный снос материала с верхнего этажа. Это же подтверждается инвертированностью слоев на нижнем этаже в шурфах Н-1, Н-2, Н-3 (рис. 5 и 6). Случайно обнаруженные переуглубления ложа нижнего этажа также заполнены осадками. В целом рыхлые отложения сформированы *in situ*: они состоят преимущественно из выпавших из свода обломков известняка, останков морских организмов и зерен кварца, сверху перекрытых своего рода маркирующим горизонтом – рыхлыми неплотными алевритистыми глинами, снесенными из вышележащих слоев (подробнее – ниже).

Рис. 4. Замытый основной ход верхнего этажа пещеры. Диаметр транспортного мешка – 22 см.
Фотография В.А. Неходцева

Fig. 4. The main passage of the upper cave level, partially filled with clay. The caving bag diameter is 22 cm.
Photo by V.A. Nekhodtsev

Рис. 5. Шурф В-3. Слоистая пачка водно-механических отложений – преимущественно песчано-дресвяные, оглиненые, состоящие в основном из останков морских организмов. Длина лопатки – 20 см.
Фотография В.А. Неходцева

Fig. 5. The B-3 exploring pit. Laminate stream sediments (coarse sand with clay and remains of marine organisms). The trowel length is 20 cm.
Photo by V.A. Nekhodtsev

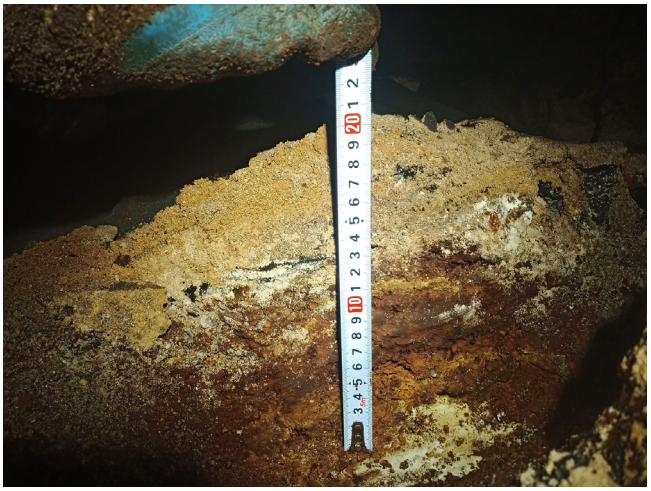


Рис. 6. Шурф Н-3. Поверх ярко-коричневых глин в инвертированном виде переотложен известняково-кварцевый песок с останками морских организмов. Под глинами находятся обвальные отложения ранней стадии формирования пещеры – глыбы с заполнителем.
Фотография А.М. Пожидаева

Fig. 6. The H-3 exploring pit. Limestone-quartz sand with the remains of marine organisms is re-deposited in reverse order over the bright brown clay. Gravity deposits (angular blocks) of the early stage of cave formation are under the clay.
Photo by A.M. Pozhidaev

Отметим наиболее крупные (и широкие) залы нижнего этажа пещеры в северной и восточной частях. Заложенные микрошурфы (Н-5 и Н-6) показали, что мощность пещерных отложений в них достигает 2–2,5 м, но в таких местах они представлены в основном нагромождением глыб известняка, замытого материалом песчано-глинистой и дресвяной размерности. Очевидно, что крупнейшие

залы пещеры являются обвалившейся зоной расконцентрации каналовых структур (вместо одного главного массив прорезали десятки мелких). Соответственно, глыбы известняков – это монолиты нерастворенного между каналами скального массива. Расконцентрация каналов объясняется литолого-структурным контролем: известняки-ракушечники в северной и восточной частях пещеры наиболее высокопористы и выветрелы. Более того, на востоке пещеры в нижней части обвального массива вскрываются ярко-желтые рыхлые известняки подольского горизонта, которые в настоящее время выходят на поверхность в днище долины Пахры, чуть выше ее уреза в нижнем бьефе плотины.

Своды пещеры осложнены множественными карстовыми куполами, количество и размер которых увеличиваются в узлах пересечения трещин в известняковом массиве. Самые крупные купола достигают размеров 50×50 см, а в местах пересечения разнонаправленных трещин уходят вверх на 1,5–3 м.

Геолого-геоморфологические и гидрогеологические условия. Рассматриваемая территория находится в среднем течении р. Пахры (правый приток Москва-реки), урез которой с абсолютной отметкой 116 м в нижнем бьефе плотины у д. Новленское является низшей точкой местности (в верхнем бьефе – 120 м). К северу от д. Новленское на междуречной поверхности находится наивысшая точка – 167 м.

В тектоническом отношении территория расположена в пределах южного крыла Московской синеклизы, на Подольско-Егорьевском выступе (западный склон Токмовского свода), ограниченном с севера Подмосковным, а с юго-запада – Пачелмским авлакогенами (неактивными рифтогенными структурами довендского возраста). Длительное и многоэтапное развитие Московской синеклизы с начала венда привело к накоплению мощного (около 1500 м) чехла различных осадочных пород на исследуемой территорий [Астафьев и др., 2000].

Самые древние из выходящих здесь отложений представлены в основном известняками, доломитами и глинами московского яруса среднего карбона (мячковский и подольский горизонты). Для Южного Подмосковья характерно общее падение коренных пород на северо-восток (1,6 м/км), однако оно осложнено куполообразным Домодедовским поднятием северо-восточного простирания, имеющим овальную форму и размеры 8×3 км. Выражается поднятие в более близком залегании известняков к поверхности. Изучаемая территория находится на восточной оконечности структуры, падение слоев на ее крыльях достигает 6–6,5 м/км [Шик и др., 1964, с. 181]. Верхнюю часть мячковского горизонта прорезают штольни подземных Съяновских каменоломен и вскрытые ею карстовые каверны и пещеры. Мячковские отложения (домодедовской и коробчеевской свит) представлены преимущественно белыми чистыми органогенными (фузулинидово-криноидными) известняками, местами переполненными иглами морских ежей, раковинами хористит (брахиоподы) и останками другой фауны. Собственно пещера Подмосковная в явном виде фациально приурочена к переполненным фауной известнякам-ракушечникам: в ближайших выработках Съяновской каменоломни наблюдается значительно меньшее количество ископаемых останков, а известняк значительно плотнее.

Кровля известняков крайне неровная в связи с развитием преимущественно флювиального и карстового доюрского рельефа [Иксанова, 2005]. Окрестности д. Новленское расположены в пределах субгоризонтального доюрского междуречья, перекрытого на севере плотными юрскими глинами (келловейский и оксфордский ярусы), песками (волжский ярус) и четвертичными моренными отложениями (днепровского и московского возраста) [Шик и др., 1964]. Обследование обвалившихся сводов галерей каменоломни (с вывалами вышележащих рыхлых пород) показало, что в 1 м над верхним этажом пещеры Подмосковной находится 1,5–2-метровая толща выветрелых сильно кавернозных известняков со следами ожелезнения и новообразований – предположительно слабо развитая кора выветривания (до)батского возраста. Выше залегают нерасчлененные келловей-оксфордские черные юрские глины. Вскрытые каменоломней в 150 м западнее карстовые полости, гипсометрически соответствующие верхнему этажу пещеры Подмосковной, показали, что источником сноса заполняющих пещеры ярко-коричневых глин является 2-метровый слой кровли известняков (кора выветривания). Там же встречены мощные (до 60 см) шлейфы сноса перемытых черных юрских глин, которые в Подмосковной наблюдаются фрагментарно.

В рельефе территории четко выражен долинный зандр (fQ_2^{ms}) (полого наклонная площадка с абсолютными высотами 139–146 м), к югу и юго-востоку переходящий через уступ в субгоризонтальную поверхность третьей надпойменной террасы р. Пахры.

Современный левобережный долинный комплекс Пахры у д. Новленское представлен двумя цокольными террасами и фрагментом низкой поймы (рис. 7). Ввиду выхода к поверхности среднекаменноугольных скальных пород первая надпойменная терраса и высокая пойма на левобережье не сформированы (в отличие от правобережья); фрагментарно распространен бечевник. Борт долины осложнен оползнями глубокого заложения и суще-

ственно преобразован карьерными разработками, припортальными выемками и провалами подземных Съяновских каменоломен.

В настоящее время в пределах толщи коренных пород от уреза реки до кровли юрских глин, соответственно, и в пещере, и в Съяновских каменоломнях не развит горизонт подземных вод. Колодцами вскрыты надъюрские и надморенные горизонты грунтовых вод, из которых местами вода фильтруется в каменоломни. Фрагментарно развита верховодка.

Реконструкция истории развития пещеры. При изучении карста большое значение имеет определение его возраста, однако универсальных прямых методов определения возраста пещер до сих пор не существует [Дублянский, Дублянская, 1993, с. 100]. Более того, до сих пор в карстологии нет общепринятой трактовки понятия «возраст пещеры». Авторы, вслед за Г.А. Максимовичем, под возрастом пещеры понимают возраст наиболее значительных ходов (хотя отдельные участки могут находиться на разных стадиях развития и иметь неодинаковый возраст). Казалось бы, отсутствие спелеотем и формирование рыхлых пещерных отложений *in situ* лишают возможности датирования методами склерохронологии [Spötl, Boch, 2019] или по наземным космогенным нуклидам [Häuselmann et al., 2020]. С другой стороны, это прямо говорит об относительной молодости пещеры: отсутствует заполнение каверн халцедоном, в рыхлых пещерных отложениях нет следов замещений, окремнения, цементации, стилолитизации и иных вторичных изменений. В многочисленных же описаниях доюрского и доплейстоценового карста окрестностей Москвы обязательно указывается на вторичную проработку каверн и/или скального массива карбонатов [Апродов, Апродова, 1963; Шик и др., 1964; Кабанов, 2000; Иксанова, 2005]. Поэтому в первом приближении пещеру Подмосковную следует датировать как четвертичную.

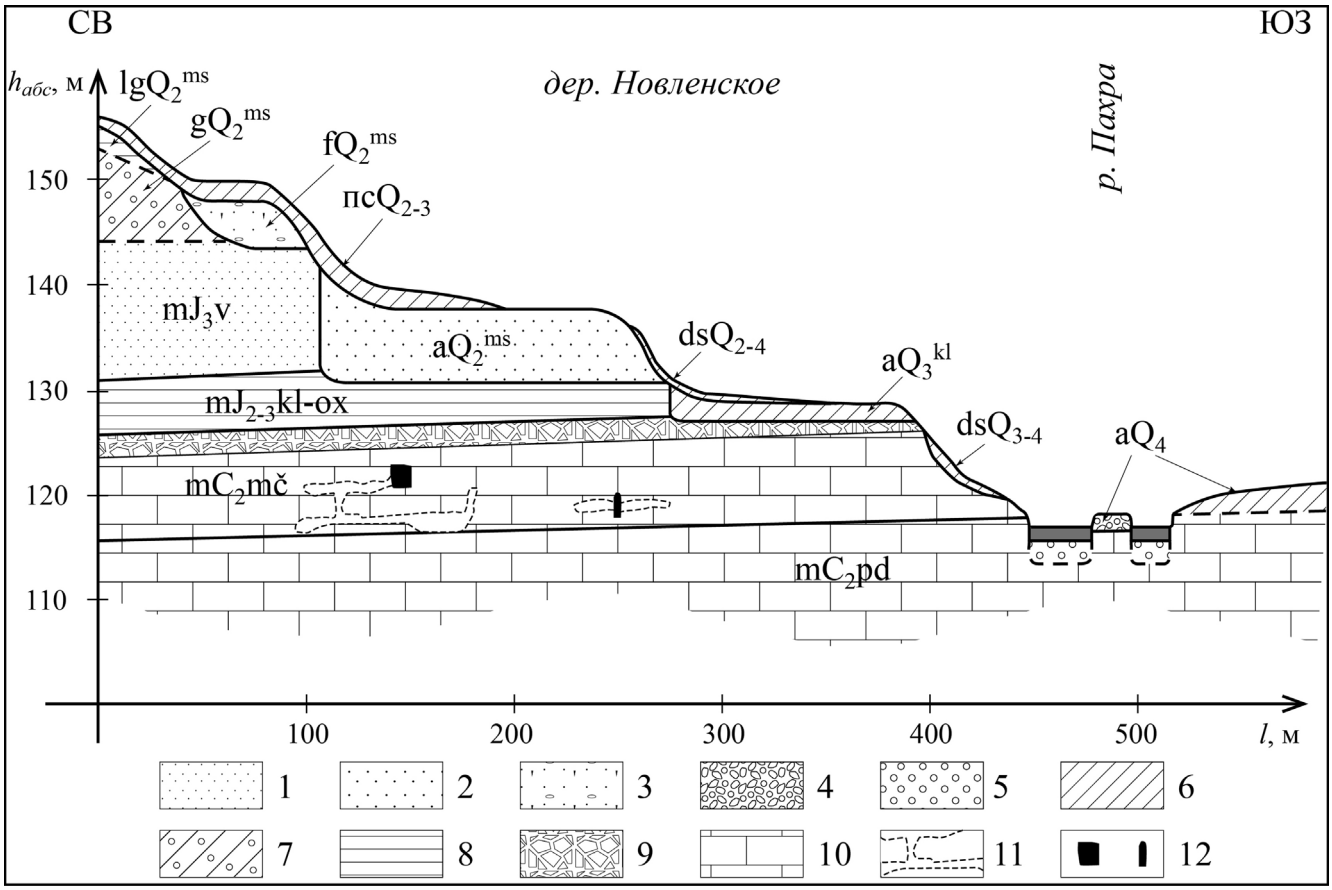


Рис. 7. Строение левого борта долины р. Пахры в створе пещеры Подмосковной.
Условные обозначения: 1 – песок мелкий; 2 – песок средний; 3 – песок крупный с гравием; 4 – валуны с гравием; 5 – валуны с галькой; 6 – суглинок; 7 – суглинок валунный (морена); 8 – глина; 9 – известняк кавернозный, выветрелый до глины (кора выветривания); 10 – известняки с прослоями доломитов; 11 – карстовые пещеры; 12 – подземные галереи Съяновских каменоломен

Fig. 7. The cross-section of the left slope of the Pakhra River valley.
Legend: 1 – fine sand; 2 – medium sand; 3 – coarse sand with gravel; 4 – boulders with gravel; 5 – boulders with pebble; 6 – loam; 7 – boulder clay and loam (moraine); 8 – clay; 9 – cavernous limestone with brown clay (weathering crust); 10 – limestone with dolomite interlayers; 11 – karst caves; 12 – mine workings of the Syanovskaya quarry

Наиболее вероятные рубежи эволюции пещеры Подмосковной установлены косвенными методами: по анализу палеогеографической обстановки и с помощью приемов геоморфологической корреляции (особенно – по сопоставлению сингенетичных форм). К настоящему времени устоялась идея о синхронности образования горизонтальных карстовых пещер и речных террас того же гипсометрического уровня, зародившаяся в конце XIX – начале XX в. с работами Ф. Пошепного, И. Цвийича, Э.А. Мартеля и, особенно, А.Е. Ферсмана. В дальнейшем корреляция горизонтальных карстовых систем и речных террас была окончательно оформлена как методический прием Н.А. Гвоздецким [1954], Г.А. Максимовичем [1963], Н.Ш. Ширинovым [1966] и др. В работе В.А. Апродова и А.А. Апродовой [1963] также указано на синхронность образования карстовых горизонтов и террас в долине р. Пахры, однако без подробностей.

Основное необходимое условие образования при- или внутридолинной горизонтальной карстовой пещеры – сравнительно стабильное высотное положение реки (в нашем случае – Пахры), с которой гидравлической связью обладал горизонт трещинно-карстовых подземных вод [Audra et al., 2006]. При этом, исходя из типичных скоростей растворения известняка и размеров ходов пещеры Подмосковной, продолжительность стабильного гипсометрического положения Пахры должна была составлять порядка $n \times 10^4$ лет. Несмотря на наличие двух этажей в пещере Подмосковной, мы признаем их одновозрастность, поскольку разница между ними по высоте составляет всего 2,5 м, а соединены они хорошо разработанными карстовыми колодцами. Этажное строение пещеры в данном случае обусловлено близким положением межпластовых трещин, по которым шло растворение известняка, и литологическими особенностями массива известняков, но не связано с вертикальными тектоническими движениями или циклами врезания рек, как это обычно бывает при формировании более крупных многоэтажных пещерных систем.

Подмосковная сформирована во фреатических условиях, но не под руслом реки, т. к. пещера в явном виде ориентирована перпендикулярно реке и перекрыта заведомо более древними отложениями 3 НПТ. Основные ходы пещеры расположены на абсолютных отметках около 118–121 м, что гипсометрически соответствует (см. рис. 7) подошве аллювия 2 НПТ (так называемая зона горизонтальной циркуляции). Напомним также, что отложения каменноугольного периода и сама пещера характеризуются падением от русла реки на север. Если мысленно экстраполировать на юг этажи Подмосковной в соответствии с их наклоном, то они бы находились в осевой части долины на абсолютных высотах 119,5–122,5 м. Отметим, что на рассматриваемом участке Пахры мощность аллювия цокольных террас существенно снижена. Например, выше г. Домодедово (9 км к западу от д. Новленское) установленная по скважинам мощность аллювия аккумулятивной 2 НПТ Пахры составляет 13–18 м [Шик и др., 1961]. Учитывая сказанное, образование пещеры Подмосковной хроностратиграфически связано с формированием 2 НПТ р. Пахры.

Поскольку датировать основные этапы эволюции пещеры Подмосковной методами четвертичной геохронологии не представляется возможным, авторы провели их корреляцию с выделенными А.В. Панины эрозионно-аккумулятивными, или флювиальными, макро- и мезоритмами [Панин, 2015]. Также (в отсутствие надежных абсолютных дат по террасовому комплексу Пахры) мы предполагаем синхронное развитие долин Пахры и расположенной на 30 км южнее Протвы (в районе г. Боровск) ввиду их предельного подобия (морфометрические и гидрологические характеристики, направление течения, геолого-тектонические условия, расположение вдоль краевой части московского оледенения). Возраст формирования врезов и террас долины Протвы установлен методами оптически стимулированной люминесценции, радиотермолюминесценции и радиоуглеродным [Панин, 2015; Антонов и др., 2019].

Нами выделены следующие этапы эволюции пещеры Подмосковной.

Этап I. Зарождение карстовых протоканалов могло начаться во время инстративной фазы [врезания] позднемосковско-раннесредневалдайского макроритма (здесь и далее названия ритмов и их абсолютный возраст по [Панин, 2015]) в московское позднеледниковье в интервале от 150 до 130 тыс. л. н. (конец МИС 6). Переуглубление долинного вреза этого времени связано одновременно и с гляциоизостатическим поднятием в краевой части московского оледенения, и с эпохой мощного стока [Антонов и др., 2019]. Врезание Пахры в створе д. Новленское из-за наклона толщ известняков шло преимущественно от правого борта к левому [Апродов, Апродова, 1963]. Тогда же, видимо, были заложены вертикальные трещины бортового отпора, которые во множестве вскрыты Съяновскими каменоломнями; многие из них раскарстованы.

Этап II. Наиболее активное растворение известняков и формирование основного объема пещеры с образованием крупнообломочных отложений в ней имели место в перстративную фазу [стабилизации] развития долины Пахры в интервале 130–115 тыс. л. н. (МИС 5e; микулинское межледниковье). При этом через Подмосковную проходил сток непосредственно из реки, о чем свидетельствует

и наклон ходов пещеры, и характер расположения в ней слоев рыхлых отложений. Заметим, что подобное гидрогеологическое явление скорее не характерно для пределов Московской синеклизы, хотя и описывалось прежде [Чикишев, 1978; Антроповский, Петров, 2002]. В основных ходах пещеры нижняя толща дресвяно-песчаных пещерных отложений с обильным количеством выпавших из свода раковин и игл ежей указывает на сравнительно высокую скорость проходящего карстового потока (1–5 см/с и более). Выше отмечено, что растворение известняка по нескольким параллельным каналам привело уже на этой стадии к образованию 1,5–2-метровой обвальной толщи в северной и восточной частях пещеры. Ускорению карстового процесса способствовало повышенное содержание растворенных в речных водах органических кислот.

Этап III. Конструктивная фаза [аккумуляция] развития долины Пахры продолжалась в раннем и первой половине среднего валдая в интервале от 115 до 40 тыс. л. н. (МИС 5d – сер. МИС 3) и завершала формирование поверхности современной второй надпойменной террасы. По мере заполнения долинного вреза аллювием река, видимо, уходила все дальше от левого борта [Апродов, Апродова, 1963]. Это (или тампонирование аллювием входной зоны пещерного горизонта) привело к затуханию гидравлической связи с руслом Пахры и падению скорости пещерного потока до минимальных (не более 0,1–0,2 см/с) или нулевых значений. При таком застойном режиме в Подмосковной накопились коричневые и алевритистые глины, сносимые из вышележащей батской коры выветривания. Аналогичные следы сноса морских юрских глин обнаружены в других карстовых полостях, вскрытых Съяновскими каменоломнями. Коричневые глины в разрезе Н-5 проявляют неявную (вплоть до скрытой) слоистость, которая пока не анализировалась.

На данном этапе Подмосковная продолжала находиться в пределах фреатической зоны (т. е. ниже постоянного уровня карстовых вод, которые заполняли пещеру целиком и под давлением). На это указывают встреченные на нижнем этаже следы фреатических вихрей – округлые замкнутые углубления на поверхности слоя коричневых глин, расположенные под вертикальными трещинами и заведомо не связанные с дальнейшим размывом.

Этап IV. На последней стадии активной «жизни» пещеры вода покидала полость, притом стекала она также от реки (на север), что подтверждается стратиграфическими разрезами, заложенными в нескольких точках пещеры (см. рис. 2). Мощность отложений нижнего этажа увеличивается в нижних частях карстовых колодцев с юга на север. Верхний горизонт отложений – ярко коричневые глины – на обоих этажах смыт в том же направлении, в южной части размыт по бокам, хотя подошва глин ровная и горизонтальная (разрез В-1), а в северной, наоборот, отсутствует по бокам на поверхности, заполняя по центру углубление в разрезе В-3 (см. рис. 5).

Разрезы Н-1 и Н-2 и ряд ответвлений от основных ходов показывают, что на нижнем этаже находились основные точки ухода стока из пещеры; рыхлые отложения здесь образуют зеркально отраженные явно перемытые пачки отложений верхнего этажа. Уход воды из пещеры связан с самым началом нового – текущего – эрозионно-аккумулятивного макроритма, инстративная фаза которого пришлась на вторую половину среднего валдая (~40–28 тыс. л. н., конец МИС 3). Судя по частичному размыву пещерных отложений, уход воды из пещеры был явно стремительным, а следов существования вадозных условий в пещере почти не наблюдается. Более того, в разрезах нижнего этажа выделяется лишь один цикл инвертированного осадконакопления, что указывает на разовый уход воды из пещеры около 40 тыс. л. н., больше она не возвращалась.

Этап V (современный). В настоящее время пещера не затапливается. Из динамичных процессов внутри Подмосковной можно отметить сравнительно свежие гравитационные процессы – выпадения блоков известняка из потолка пещеры и образование небольших завалов в восточной части нижнего этажа. Видимо, основной причиной этих процессов является дачное строительство в д. Новленское и повышение общей вибрационной нагрузки на толщу известняков. Пещера сравнительно хорошо проветривается за счет естественного движения воздуха, направление которого, по нашим наблюдениям, регулярно меняется. С конца XIX в. вся поверхность полости (кроме свода) была покрыта, как и галереи Съяновских каменоломен, сажей и пылью.

В нескольких местах в Подмосковной обнаружены скопления останков («кладбища») летучих мышей (черепа и множество костей), идентифицированные по краинологическим параметрам как *Plecotus auritus* (бурый ушан). Учитывая глубокое заложение пещеры, отсутствие естественных входов в нее и крайне высокую скорость разложения костных останков летучих мышей [Росина, 2004], можно датировать находку не ранее конца XIX в. Видимо, пещера Подмосковная за счет воздухообмена стала своего рода природной ловушкой, в которой рукокрылые «заблудились», стремясь выбраться из каменоломен на поверхность. В настоящее время рукокрылые здесь встречаются крайне редко, места их ночевок (зимовок) неизвестны.

ВЫВОДЫ

Пещера Подмосковная, открытая в феврале 2020 г. А.М. Пожидаевым, является самой протяженной (более 190 м) естественной пещерой Московской области. Она также является частью вскрытой подземными Съяновскими каменоломнями крупной системы карстовых полостей, которые формируют единый горизонт карстования на левобережье р. Пахры.

Пещера относится к сравнительно редкому и малоизученному карсту закрытого (русского) типа: карстующиеся известняки перекрыты преимущественно водоупорными юрскими глинами.

В основном своем объеме пещера Подмосковная сформирована в интервале 130–115 тыс. л. н., а часть субтерральных отложений – слоистые глины – были отложены 115–40 тыс. л. н. При этом через пещеру все время ее активного существования проходил сток из р. Пахры. Карстовый процесс прекратился около 40 тыс. л. н., и с тех пор пещера не затапливается.

Благодарности. Авторы выражают признательность В.С. Булатову за помощь в обработке полевых материалов и консультации при подготовке рукописи. Авторы подчеркивают особый вклад В.А. Ласкина и Г.В. Творуна в раскопки и исследование пещеры Подмосковной. Исследование проводится в рамках темы госзадания № 121040100323-5 «Эволюция природной среды в кайнозое, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска. М.: РУДН, 2017. 328 с.

Антонов С.И., Гунова В.С., Рычагов Г.И., Судакова Н.Г. Развитие долины р. Протвы в позднем неоплейстоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2019. № 4. С. 88–99.

Антроповский В.И., Петров О.А. Морфология и русловые процессы рек в районах распространения карста // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2002. Т. 2. № 4. С. 145–152.

Апродов В.А., Апродова А.А. Движения земной коры и геологическое прошлое Подмосковья. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1963. 267 с.

Астафьев Д.А., Шеин В.С., Алипова Н.Ю., Чагаев А.Я. Вопросы дальнейшего изучения Московской синеклизы // Геология нефти и газа. 2000. № 6. С. 51–57.

Болысов С.И., Неходцев В.А. Концепция субрельефа – рельефа подземных полостей // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 2. С. 13–22.

Гаршин Д.И. Прибор DistoX и современная методика топографической съемки подземных полостей // Оки связующая нить: сб. материалов XI региональной научно-практической конференции (Ступино, 19 января 2018 г.). Ступино, 2018. С. 36–52.

Гаршин Д.И., Гаршина Ю.В. Стихийный спелеотуризм в Подмосковье // Туризм в глубине России: сб. трудов IV Всероссийского научного семинара (24–28 июля 2016 г.). Пермь: ПГНИУ, 2016. С. 135–150.

Гаршин Д.И., Гаршина Ю.В., Долотов Ю.А., Неходцев В.А. Подземные Съяновские каменоломни (Московская область) // Вестник Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина. 2021. № 1. С. 145–162. DOI: 10.37724/RSU.2021.70.1.015.

Гаршин Д.И., Гаршина Ю.В., Неходцев В.А., Пожидаев А.М. Пещера Подмосковная, вскрытая Съяновской системой каменоломен // Пещеры. Вып. 43. Пермь: ПГНИУ; ГИ УрО РАН. 2020. С. 17–26.

Гвоздецкий Н.А. Карст: Вопросы общего и регионального карстоведения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Географгиз, 1954. 352 с.

Даньшин Б.М. Геологическое строение и полезные ископаемые Москвы и окрестностей. М.: Изд-во МОИП, 1947. 305 с.

Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Пещеры Крыма // Пещеры. 1993. Вып. 23–24. С. 93–101.

Иванов А.П. Артезианские воды г. Москвы. М.: Гор. тип., 1916. 32 с.

Иксанова Е.А. Вклад докайнозойского карбонатного карста в развитие современных просадочных процессов в г. Москве: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2005. 155 с.

Кабанов П.Б. Событийная стратиграфия пограничного интервала среднего и верхнего карбона Подмосковья: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2000. 266 с.

Климчук А.Б., Андрейчук В.Н. О сущности карста // Спелеология и карстология. 2010. № 5. С. 22–47.

Котлов Ф.В. Изменение природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека и их инженерно-геологическое значение. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 263 с.

Кочев А.Д., Зайянц И.Л., Мамонтов В.В. Отчет по изучению инженерно-геологических условий на участках возможного проявления карстово-суффозионных процессов в западной части Москвы (зона А). М.: Гидроспецгеология, 1991. 499 с. (Инв. № 459287 «Росгеолфонд»).

Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т. 1: Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Пермское кн. изд., 1963. 444 с.

Москва. Геология и город / под ред. В.И. Осипова и О.П. Медведева, РАН, Институт геоэкологии; Мосгоргеотрест. М.: Московские учебники и Картолитография, 1997. 398 с.

Никитин С.Н. Каменноугольные отложения Подмосковного края и артезианские воды под Москвою // Тр. Геол. ком. 1890. Т. 5. № 5. С. 1–182.

Панин А.В. Флювиальное рельефообразование на равнинах умеренного пояса Евразии в позднем плейстоцене – голоцене: дис. … док-ра геогр. наук. М., 2015. 457 с.

Росина В.В. Голоценовые рукокрылые (Chiroptera, Mammalia) и особенности их тафономии в услови-

ях пещер Северо-Западного Алтая // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: ПИН РАН, 2004. Вып. 6. С. 110–118.

Чикишев А.Г. Географические условия развития карста. М.: Изд-во МГУ, 1975. 114 с.

Чикишев А.Г. Карст Русской равнины. М.: Наука, 1978. 192 с.

Шик Е.М., Васькова С.С., Концова В.К. Отчет о геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1:50 000, проведенной Михневской партией на территории листов: N-37-16-Г; N-37-28-Б; N-37-28-Г (Московская область) в 1962–1964 гг. М.: ГУЦР ГСЭ, 1964. 1286 с. (Инв. № 259208 «Росгеолфонд»).

Шик Е.М., Концова В.К., Васькова С.С., Пирогова Е.М., Рождественская К.К. Отчет о геологической съемке масштаба 1:50 000, проведенной Подольской геолого-гидрологической партией на территории листов N-37-15-Г; N-37-16-В; N-37-27-Б; N-37-28-А. М.: ГУЦР ГСЭ, 1961. 2170 с. (Инв. № 234481 «Росгеолфонд»).

Ширинов Н.Ш. Геоморфологическая датировка возраста Азыхской пещерной стоянки палеолитического человека // Известия АН АССР. Серия наук о Земле. 1966. № 5. С. 67–73.

Audra Ph., Bini A., Gabrovšek F., Häuselmann P., Hobléa F., Jeannin P.-Y., Kunaver J., Monbaron M., Šušteršič F., Tognini P., Trimmel H., Wildberger A. Cave genesis in the Alps between the Miocene and today: a review, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 2006, no. 50(2), p. 153–176.

Häuselmann P., Plan L., Pointner P., Fiebig M. Cosmogenic nuclide dating of cave sediments in the Eastern Alps and implications for erosion rates, *International Journal of Speleology*, 2020, no. 49, p. 107–118, DOI: 10.5038/1827-806X.49.2.2303.

Klimchouk A. Subsidence hazards in different types of karst: evolutionary and speleogenetic approach, *Environmental Geology*, 2005, no. 48, p. 287–295, DOI: 10.1007/s00254-005-1275-5.

Spötl C., Boch R. Uranium series dating of speleothems, *Encyclopedia of Caves*, W. White, D. Culver, T. Pipan (eds.), Elsevier, 2019, p. 1096–1102.

Электронный ресурс

Пещеры. Информационно-поисковая система. URL: https://speleoatlas.ru (дата обращения 12.11.2020).

Поступила в редакцию 04.12.2020
После доработки 20.02.2021
Принята к публикации 18.03.2021

THE STRUCTURE AND THE EVOLUTION OF THE PODMOSKOVNAYA CAVE

V.A. Nekhodtsev[1], D.I. Garshin[2], A.M. Pozhidaev[3]

[1] *Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography*
[2] *The Moscow City Department of the Russian Geographical Society*
[2, 3] *Tethys Caving Club, Stupino*

[1] *Ph.D. candidate; e-mail: baban.n@mail.ru*
[2] *Head of the Club; e-mail: sso.tetis@gmail.com*
[3] *e-mail: andr.pozhidaeff@yandex.ru*

In February 2020 a new Podmoskovnaya karst cave was discovered near the Novlenskoe village to the south from Moscow. The cave is considered to be the longest natural cave in the Moscow Region and among the longest ones in Central Russia. The specific value of the cave is its type and origin, i.e. rare and insufficiently explored Russian karst type (also known as closed, deep-seated, or confined karst). The laying depth of the cavity is 18 m; it lies in the Middle Carboniferous limestones, covered by Jurassic clay. The results of the cave examination performed with the manual widening of underground passages, are presented, namely the description of the cave and its sediments, its topographic plan and surface reference with accuracy about 5 m spatially and 1 m vertically. The Podmoskovnaya cave is a typical "flood labyrinth" (irregular in the plan) and consists of two cave levels connected by karst wells 2,5–3 m high. The length of already mapped passages is more than 190 m. Our investigation also reviews the detailed history of cave formation, i.e. hydrological and paleogeographic conditions, and specific features of cave sedimentation. Karst processes in the Podmoskovnaya cave were syngenetic with incision/aggradation rhythms. The cave age was determined using the geomorphologic correlation; the main cavities were formed about 115–130 ka BP (MIS 5e; the Eemian). The Pakhra River discharged through the Podmoskovnaya Cave into the depths of a rock massif with typical velocity of 1–5 cm per second. About 40–115 ka BP (MIS 5d – middle of MIS 3; the first half of the Last Glacial Period) the velocity of underground flow was significantly lower (about 0.1–0.2 cm per sec). This resulted in the deposition of laminated silty clay, which was mostly taken from the upper layers. The water left the cave about 40 ka BP, almost instantly in geological terms.

Keywords: geomorphology, karst, Moscow oblast, Pleistocene paleogeography, subrelief

Acknowledgments. The authors are grateful to V.S. Bulatov for his assistance in processing field materials and preparing the manuscript. The authors particularly appreciate the contribution of V.A. Laskin and G.V. Tvorun

to excavations and research of the Podmoskovnaya Cave. The work was carried out under the State Research Task 121040100323-5 “Cenozoic evolution of the natural environment, the relief dynamics, geomorphologic hazards and risks of nature management”.

REFERENCES

Anikeev A.V. *Provaly i voronki osedaniya v karstovykh raionakh: mekhanizmy obrazovaniya, prognoz i otsenka riska* [Sinkholes and subsidences in karst areas: mechanics, prediction, and risk evaluation], Moscow, Peoples' Friendship University of Russia Publ., 2017, 328 p. (In Russian)

Antonov S.I., Gunova V.S., Rychagov G.I., Sudakova N.G. Razvitie doliny r. Protvy v pozdnem neopleistotsene [The Protva river valley evolution in the Late Neopleistocene], *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5, Geogr.*, 2019, no. 4, p. 88–99. (In Russian)

Antropovskii V.I., Petrov O.A. Morfologiya i ruslovye protsessy rek v raionakh rasprostraneniya karsta [Morphology and river-bed formation processes of rivers in areas of karst spread], *Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*, 2002, no. 4, p. 145–152. (In Russian)

Aprodov V.A., Aprodova A.A. *Dvizheniya zemnoi kory i geologicheskoe proshloe Podmoskovya* [Movements of the Earth's crust and the geological past of the Moscow region], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1963, 267 p. (In Russian)

Astafiev D.A., Shein V.S., Alipova N.Yu., Chagaev A.Ya. Voprosy dal'neishego izucheniya Moskovskoi sineklizy [Questions of further study of the Moscow syneclise], *Geologiya nefti i gaza*, 2000, no. 6, p. 51–57. (In Russian)

Audra Ph., Bini A., Gabrovšek F., Häuselmann P., Hobléa F., Jeannin P.-Y., Kunaver J., Monbaron M., Šušteršič F., Tognini P., Trimmel H., Wildberger A. Cave genesis in the Alps between the Miocene and today: a review. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 2006, no. 50(2), p. 153–176.

Bolysov S.I., Nekhodtsev V.A. Kontseptsiya subreliefa – rel'efa podzemnykh polostei [Concept of subrelief – relief of the underground cavities], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 2, p. 13–22. (In Russian)

Chikishev A.G. *Geograficheskie usloviya razvitiya karsta* [Geographical Conditions of Karst Evolution], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1975, 114 p. (in Russian)

Chikishev A.G. *Karst Russkoi ravniny* [Karst of the Russian Plain], Moscow, Nauka Publ., 1978, 192 p. (in Russian)

Danshin B.M. *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Moskvy i okrestnostei* [Geology and mineral resources of Moscow and its vicinity], Moscow, Moscow Society of Naturalists Publ., 1947, 305 p. (in Russian)

Dublyanskij V.N., Dublyanskaya G.N. Crimea caves, *Peshchery* [Caves], 1993, vol. 23–24, p. 93–101. (In Russian)

Garshin D.I. [The DistoX device and modern methods for the topographic surveying of underground cavities], *Oki svyazuyushchaya nit': sb. materialov XI regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Stupino, 19 yanvarya 2018 g.)* [The Oka River binding thread: Proceedings of the XI regional scientific and practical conference (Stupino, January 19, 2018)], Stupino, 2018, p. 36–52. (In Russian)

Garshin D.I., Garshina Yu.V. [Unofficial speleotourism in Moscow region], *Turizm v glubine Rossii: sbornik trudov IV Vserossiiskogo nauchnogo seminara (24–28 iyulya 2016 g.)* [Tourism in the upcountry of Russia: Proceedings of the IV all-Russian scientific seminar (July 24–28, 2016)], Perm, Perm State University 2016, p. 135–150. (In Russian)

Garshin D.I., Garshina Yu.V., Dolotov Yu.A., Nekhodtsev V.A. Podzemnye Syanovskie kamenolomni (Moskovskaya oblast) [Syanovskaya underground quarry (Moscow region)], *The Bulletin of Ryazan State University named for S.A. Yesenin*, 2021, no. 1 (70), p. 145–162, DOI: 10.37724/RSU.2021.70.1.015. (In Russian)

Garshin D.I., Garshina Yu.V., Nekhodtsev V.A., Pozhidaev A.M. Peshchera Podmoskovnaya, vskrytaya S"yanovskoi sistemoi kamenolomen [Podmoskovnaya cave, discovered in Syanovskaya quarry], *Peshchery* [Caves], 2020, vol. 43, p. 17–26. (In Russian)

Gvozdetsky N.A. *Karst: Voprosy obshchego i regional'nogo karstovedeniya* [Karst: Issues of general and regional karst studies], Moscow, Geografgiz Publ., 1954, 352 p. (In Russian)

Häuselmann P., Plan L., Pointner P., Fiebig M. Cosmogenic nuclide dating of cave sediments in the Eastern Alps and implications for erosion rates, *International Journal of Speleology*, 2020, no. 49, p. 107–118, DOI: 10.5038/1827-806X.49.2.2303.

Iksanova E.A. *Vklad dokajnozojskogo karbonatnogo karsta v razvitie sovremennyh prosadochnyh processov v g. Moskve* [Influence of Pre-Cenozoic carbonate karst on the evolution of modern subsidence processes in Moscow], Thesis Ph.D. in Geography, Moscow, 2005. 155 p. (In Russian)

Ivanov A.P. *Artezianskie vody g. Moskvy* [Moscow artesian aquifers], Moscow, Gorodskaya tipografiya Publ., 1916, 32 p. (In Russian)

Kabanov P.B. *Sobytiinaya stratigrafiya pogranichnogo intervala srednego i verkhnego karbona Podmoskov'ya* [Event stratigraphy of the boundary interval of Middle and Upper Carboniferous in the Moscow region], Thesis PhD in Geography, Moscow, 2000, 266 p. (In Russian)

Klimchouk A. Subsidence hazards in different types of karst: evolutionary and speleogenetic approach, *Environmental Geology*, 2005, no. 48, p. 287–295, DOI: 10.1007/s00254-005-1275-5.

Klimchouk A.B., Andrejchuk V.N. O sushchnosti karsta [To the essence of karst], *Speleology and Karstology*, 2010, no. 5, p. 22–47. (In Russian)

Kochev A.D., Zajyanc I.L., Mamontov V.V. *Otchet po izucheniyu inzhenerno-geologicheskih uslovij na uchastkah vozmozhnogo proyavleniya karstovo-suffozionnyh processov v zapadnoj chasti Moskvy (zona A)* [Research report of geo-engineering conditions of possible karst-suffusion sites in the western part of Moscow (zone A)], Moscow, Gidrospecgeologiya Publ., 1991, 499 p. (In Russian)

Kotlov F.V. *Izmenenie prirodnyh uslovij territorii Moskvy pod vliyaniem dejatel'nosti cheloveka i ikh inzhenerno-geologicheskoe znachenie* [Changes of natural conditions

of Moscow area under the anthropogenic influence and their engineering significance], Moscow, Academy of Sciences of the Soviet Union Publ., 1962, 263 p. (In Russian)

Maksimovich G.A. *Osnovy karstovedeniya, t. 1, Voprosy morfologii karsta, speleologii i gidrogeologii karsta* [The foundations of karst science, vol. 1, Issues of karst morphology, speleology and karst hydrogeology], Perm, Perm book publishing, 1963, 444 p. (In Russian)

Moskva. Geologija i gorod [Moscow. Geology and the city], V.I. Osipov, O.P. Medvedev (eds.), Moscow, Moskovskie uchebniki i kartolitografija Publ., 1997, 398 p. (In Russian)

Nikitin S.N. Carboniferous deposits of Moscow region and artesian aquifers near Moscow, *Trudy Geologicheskogo komiteta* [Proceedings of the Geological Committee], 1890, vol. 5, no. 5, p. 1–182. (In Russian)

Panin A.V. *Flyuvial'noe rel'efoobrazovanie na ravninakh umerennogo poyasa Evrazii v pozdnem pleistotsene – golotsene* [Fluvial processes in the plains of Eurasia temperate zone during the Late Pleistocene and the Holocene], Thesis D.Sc. in Geography, Moscow, 2015, 457 p. (In Russian)

Rosina V.V. Holocene bats (Chiroptera, Mammalia) and their taphonomic peculiarities in the caves of North-Western Altai, *Ekosistemnye perestroiki i evolyutsiya biosfery* [Ecosystem restructuring and the evolution of biosphere], Moscow, Borissiak Paleontological Institute Publ., 2004, vol. 6, p. 110–118. (In Russian)

Shik E.M., Kontsova V.K., Vaskova S.S., Pirogova E.M., Rozhdestvenskaya K.K. *Otchet o geologicheskoi s'emke masshtaba 1:50 000, provedennoi Podol'skoi geologo-gidrologicheskoi partiei na territorii listov N-37-15-Г; N-37-16-В; N-37-27-Б; N-37-28-А* [Research report on 1:50,000 scale geological survey carried out by the Podolsk expedition for the topographic sheets N-37-15-Г; N-37-16-В; N-37-27-Б; N-37-28-А], Moscow, Geological Survey of the Central Region, 1961, 2170 p. (In Russian)

Shik E.M., Vaskova S.S., Kontsova V.K. *Otchet o geologo-gidrogeologicheskoi s'emke masshtaba 1:50 000, provedennoi Mikhnevskoi partiej na territorii listov: N-37-16-G; N-37-28-B; N-37-28-G (Moskovskaya oblast) v 1962–1964 gg.* [Research report on 1:50,000 scale geological and hydrogeological survey carried out by the Mikhnevo expedition for the topographic sheets N-37-16-Г; N-37-28-Б; N-37-28-Г (Moscow region) in 1962–1964], Moscow, Geological Survey of the Central Region, 1964, 1286 p. (In Russian)

Shirinov N.Sh. Geomorfologicheskaya datirovka vozrasta Azykhskoi peshchernoi stoyanki paleoliticheskogo cheloveka [Geomorphologic dating of Paleolithic man site in the Azykh cave], *Proceedings of the Azerbaijan SSR Academy of Sciences. Earth Sciences series*, 1966, no. 5, p. 67–73. (In Russian)

Spötl C., Boch R. Uranium series dating of speleothems. *Encyclopedia of Caves*, W. White, D. Culver, T. Pipan (eds.), 2019, p. 1096–1102.

Web source

Informatsionno-poiskovaya sistema "Peshchery" [Search and information engine "Caves"], URL: https://speleoatlas.ru (access date: 12.11.2020).

Received 04.12.2020
Revised 20.02.2021
Accepted 18.03.2021

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 124–130

УДК 556.551

ВЛИЯНИЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА КАЧЕСТВО ВОЛЖСКОГО ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. МОСКВЫ

Ю.С. Даценко

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: yuri0548@mail.ru

Анализируются результаты регулярного многолетнего (1958–2004) мониторинга качества воды Иваньковского водохранилища – базового водоема Волжской системы водоснабжения г. Москвы. С использованием данных о расходах воды в основных притоках водохранилища (реках Волга и Тверца) рассчитаны годовые балансы аммонийного иона, нитратов, фосфатов, общего железа, марганца и органического вещества по показателю перманганатной окисляемости за период наблюдений. Анализируются многолетние колебания относительных балансов химических веществ в водохранилищах, которые рассчитываются по отношению разницы их притока и стока в водохранилище. Расчетами показано, что в результате внутриводоемных процессов в условиях замедления речного стока в Иваньковском водохранилище ниже створа р. Волги у Твери происходит уменьшение концентраций рассмотренных показателей и стока химических веществ. Установлены значимые статистические зависимости относительных балансов химических веществ в водохранилище с коэффициентом его водообмена по притоку, характеризующиеся высокими коэффициентами корреляции: 0,67 для аммонийного иона, 0,69 для нитратов и железа, 0,71 для марганца, 0,75 для органического вещества и 0,78 для фосфатов (при 5%-м уровне значимости). При небольшом периоде водообмена Иваньковского водохранилища увеличение нитратной формы азота за счет окисления аммонийной формы не компенсирует приток нитратов, в результате в большинстве расчетных лет наблюдается положительная разница притока и стока нитратов в водохранилище. Сравнительно небольшое снижение концентраций аммонийного азота связано с наличием его внутренних источников, а также сточных вод Твери, Конаково и других населенных пунктов. Выявлены особенности трансформации органического вещества в Иваньковском водохранилище, состоящие в том, что приток высокоцветных вод рек Орша и Созь, дренирующих крупное торфоместорождение Васильевский Мох, заметно нивелирует снижение содержания органического вещества в водохранилище под влиянием внутриводоемных процессов, и среднемноголетние значения перманганатной окисляемости в створе Городни на входе водохранилища и в створе первой паромной переправы различаются незначительно. Влияние сточных вод г. Твери оценивалась сопоставлением концентраций загрязняющих веществ выше и ниже пункта сброса сточных вод города. Показано, что степень этого влияния зависит от водности года и заметно усиливается в годы с низким стоком в результате снижения интенсивности разбавления загрязнений речными водами.

Ключевые слова: баланс химических веществ, коэффициент водообмена, сточные воды, водность года, внутриводоемные процессы

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения качественной водой для питья и хозяйственно-бытовых нужд является одним из ключевых моментов водохозяйственной и в целом экологической политики Российской Федерации. В отличие от проблем количества воды для обеспечения водоснабжения, которые обычно решаются на далекую перспективу, проблема качества воды никогда не теряет своей актуальности. Во-первых, несмотря на широкие возможности современной технологии водоподготовки, качество воды, подаваемой потребителю, в значительной степени зависит от состава исходной для водопроводной станции воды, т. е. от качества воды природных водных объектов – источников водоснабжения. Во-вторых, от нее зависит стоимость водоподготовки, что всегда актуально [Порядин, 2013].

Водоснабжение большинства крупных городов мира базируется на использовании водных ресурсов поверхностных источников, как правило, это речные воды со свойственными им сильными внутри- и межгодовыми колебаниями характеристик стока, а также качества воды. Обеспечение гарантированных расходов воды на водоснабжение в этом случае достигается путем регулирования стока и создания водохранилищ, в которых качество воды, поступающей с водосбора, претерпевает существенные изменения [Данилов-Данильян, Лосев, 2006; Даценко, Эдельштейн, 1999].

В настоящее время регулирование стока рек – источников водоснабжения г. Москвы – обеспечивается сложным водохозяйственным комплексом, состоящим из трех поочередно создававшихся гидротехнических систем – Волжской, Москворецкой и Вазузской [От истока…, 1999].

История Волжского источника водоснабжения г. Москвы начинается с создания самого верхнего водохранилища Волжского каскада – Иваньковского.

Это водохранилище относится к котловинно-долинному типу, полный объем которого при НПГ составляет 1120 млн м^3, площадь поверхности – 327 км^2, средняя глубина – 3,4 м [Гидрометеорологический…, 1975]. Иваньковское водохранилище осуществляет сезонное регулирование стока и обеспечивает водой канал им. Москвы, питающий водохранилища водораздельного бьефа.

Основная составляющая приходной части водного баланса Иваньковского водохранилища – поверхностный сток (97%). На долю р. Волги приходится 59% общего притока, р. Тверцы – 24%, р. Шоши и других притоков Иваньковского водохранилища – 17% [Иваньковское…, 1978]. В расходной части баланса доминирует сброс воды в нижний бьеф гидроузла и водозабор в канал им. Москвы. Значительное превышение объема годового притока воды над объемом водохранилища определяет его высокую проточность и большие величины коэффициента водообмена.

Иваньковское водохранилище играет важнейшую роль в формировании качества воды Волжского источника водоснабжения г. Москвы. Основные его особенности, влияющие на формирование качества воды, – наличие крупного источника загрязнений в виде сточных вод Твери в верхней части водохранилища и обширного, заросшего макрофитами мелководного Шошинского плеса [Иваньковское…, 2000]. Кроме того, водосбор Верхней Волги характеризуется высоким содержанием органического вещества в реках, что является основным недостатком качества воды этого источника водоснабжения [Даценко, 2009].

Данные мониторинга режима качества воды водохранилища позволяют провести обобщенную статистическую оценку роли водохранилища в процессах формирования качества волжской воды. Цель настоящей работы – балансовыми расчетами получить количественные оценки степени влияния Иваньковского водохранилища на изменение стока химических веществ Волги и Тверцы и проанализировать основные факторы, определяющие интенсивность этого влияния.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В методологии гидрохимических исследований для оценки влияния водохранилищ на химический сток и формирование качества воды наиболее распространен принцип вещественных балансов, состоящий в сопоставлении (по возможности) приходных и расходных статей баланса химических веществ в годы разной водности [Эдельштейн, 1998]. Этот способ оценки весьма трудоемок, т. к. требует проведения регулярных комплексных наблюдений за составляющими водного и вещественного балансов в течение всего внутригодового гидрологического цикла.

Относительно высокая степень гидрометрической изученности водосбора Иваньковского водохранилища (около 75% общей площади) позволяет достаточно надежно рассчитывать основную приходную составляющую водного баланса водохранилища – речной приток. Это, в свою очередь, повышает достоверность балансов химических и взвешенных веществ. Информационной основой для их составления послужили:

– данные многолетних наблюдений за качеством воды в основных притоках водохранилища – реках Волга и Тверца (створы наблюдений в Твери выше узла слияния этих рек и выше пункта сброса сточных вод города) и в приплотинном участке водохранилища (створ – первая паромная переправа), полученные лабораториями Мосводоканала по единым методикам с частотой два раза в месяц за период с 1958 по 2004 г. Помимо перечисленных пунктов, наблюдения велись также у п. Городня в 20 км ниже Твери (рис. 1). После 2004 г. программа мониторинга в Мосводоканале была изменена, частота контроля уменьшилась и ряды наблюдений при этом стали неоднородными, поэтому при анализе многолетних балансов нами не использовались;

– результаты гидрологических наблюдений на сети постов Госкомгидромета (р. Волга – д. Старица, р. Тверца – д. Медное, Иваньковское водохранилище – ГЭС) за этот же период.

По данным мониторинга качества воды во входных створах и в сбросе из Иваньковского водохранилища анализировались многолетние величины следующих показателей: содержание органического вещества по перманганатной окисляемости, концентрации аммонийного иона, нитратов, железа общего, марганца и фосфатов.

Влияние водохранилища на трансформацию химического стока оценивалось по результатам анализа расчетов баланса химических веществ в водохранилище за многолетний период. Приходная часть баланса рассчитывалась путем произведения концентраций показателей качества в реках Волга и Тверца на расход воды этих рек. Приток воды с неосвещенной гидрометрическими наблюдениями площади водосбора водохранилища рассчитывался по модулю стока, определенному по расходам воды в створе р. Волга (г. Старица). Концентрации рассматриваемых показателей в боковых притоках водохранилища при отсутствии мониторинга качества воды на них принимались равными средней концентрации в Волге и Тверце. Сток химических веществ из водохранилища определялся произведением расхода сброса воды через Иваньковскую плотину (с учетом

водозабора в канал им. Москвы) на концентрацию веществ в приплотинном участке водохранилища, измеренную у первой паромной переправы канала им. Москвы. Результирующая величина баланса представляет собой разницу между суммарным притоком веществ в водохранилище и их сбросом из него. Поскольку целью нашей работы была оценка влияния водохранилища на сток рек Волги и Тверцы, то все источники химического притока ниже этих створов относились нами к внутренним источникам, т. е. рассматривалось влияние водохранилища на трансформацию качества воды путем изменения концентраций как под влиянием процессов трансформации веществ в водной массе водохранилища, так и в результате поступления веществ из источников (речных притоков, сбросов сточных вод, обменных процессов на границе вода – дно) ниже створов Волги и Тверцы в г. Твери. Если концентрации показателей качества воды в поверхностных источниках оказывались выше учтенной нами в расчетах средней величины, то нагрузка на водохранилище увеличивалась, если меньше, то в водохранилище проявлялся эффект разбавления.

Рис. 1. Схема Иваньковского водохранилища (треугольниками показаны пункты отбора проб воды)

Fig. 1. Schematic map of the Ivankovo reservoir (triangles show water sampling points)

Таким образом, рассчитанные балансы характеризуют суммарное влияние Иваньковского водохранилища на сток химических веществ рек Волги и Тверцы. Для количественной оценки этого влияния нами использовалась величина относительного баланса (удерживающая способность водохранилища), представляющая собой отношение результирующей баланса к величине притока.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные расчеты баланса веществ за многолетний период дают полное представление о характере изменений качества воды и величины химического стока под влиянием водохранилища.

Таблица

Среднемноголетние (1958–2004) значения составляющих годовых балансов химических веществ в Иваньковском водохранилище

Составляющая баланса	Аммонийный азот	Нитраты	Фосфаты	Железо общее	Марганец	Органическое вещество (по ПО)
Поступление, т	3317	11453	1047	3065	920	112548
Сброс, т	2829	8744	879	2002	881	88639
Баланс, т	487	2710	168	1062	39	23810
Относительный баланс, %	15	24	16	35	4	21

Результаты расчета среднемноголетних составляющих баланса химических веществ (показателей качества воды) представлены в таблице.

Анализ баланса химических веществ показывает, что в результате внутриводоемных процессов в условиях замедления речного стока в Иваньковском водохранилище ниже створа р. Волги у Твери происходит уменьшение концентраций рассмотренных показателей и стока химических веществ. Большинство расчетных лет характеризуется положительной разницей притока и стока веществ. Учитывая, что боковые притоки водохранилища (все притоки, кроме Волги и Тверцы) дают не более 20% приходной составляющей водного баланса, можно предположить, что на химический сток Волги и Тверцы в условиях замедления водообмена заметное влияние оказывают внутриводоемные процессы трансформации химических веществ. Полученное нами сни-

жение величины химического стока согласуется с результатами расчетов баланса химических веществ в других водохранилищах Волжского каскада [Авакян и др., 1994; Даценко, 2002; Зиминова, Законнов, 1982; Разгулин и др., 1982]. Относительно велико влияние водохранилища на концентрацию типично неконсервативного показателя – величины содержания общего железа. Его накопление в донных отложениях (в условиях замедленного водообмена) связано с переходом этого элемента из растворимой (закисной) формы в малорастворимую (окисную) с последующей седиментацией.

В водохранилищах Волжской системы водоснабжения г. Москвы наблюдается снижение стока органического вещества в результате внутриводоемных процессов окисления [Даценко, 2009; Соколов, 2013]. Однако в Иваньковском водохранилище приток высокоцветных вод рек Орша и Созь, дренирующих крупное торфоместорождение Васильевский Мох, заметно нивелирует это снижение, и среднемноголетние значения перманганатной окисляемости в створе Городни на входе водохранилища и в створе первой паромной переправы различаются незначительно. Сравнительно небольшое влияние водохранилище оказывает на трансформацию стока фосфатов и аммонийного азота. Для этих веществ в отдельные годы отмечалось превышение выноса над притоком. Нитратов из водохранилища выносится обычно меньше, чем поступает. Этот результат противоречит сложившимся представлениям о влиянии замедления водообмена на сток азотных соединений. Так, в Учинском водохранилище этого же Волжского источника московского водоснабжения наблюдается обратная картина – при значительном снижении концентраций аммонийного азота количество нитратов в сбросе из водохранилища увеличивается. Учинское водохранилище относится к наливным водоемам слабого водообмена, и значительное время пребывания воды в нем при сравнительно небольшом притоке способствует более глубокому проявлению внутриводоемных процессов нитрификации аммонийного азота и увеличению нитратов [Даценко, 2007]. При небольшом периоде водообмена Иваньковского водохранилища увеличение нитратной формы азота за счет окисления аммонийной формы не компенсирует приток нитратов, в результате в большинстве расчетных лет доминирует их положительный баланс. Отмеченное в Иваньковском водохранилище сравнительно небольшое снижение концентраций аммонийного азота может быть связано с наличием его внутренних источников, например, с влиянием донных отложений, а также сточных вод Твери, Конаково и других населенных пунктов.

Анализ факторов, определяющих особенности влияния водохранилища на химический сток в отдельные годы, показал, что относительный баланс веществ в Иваньковском водохранилище является функцией интенсивности его водообмена. В рассматриваемый период средние годовые коэффициенты водообмена, рассчитанные по притоку (отношение годового поступления воды в водохранилище к его объему), колебались в пределах от 3,9 до 13,6 год$^{-1}$.

Увеличение проточности водохранилища в многоводные годы, как правило, связано с повышенным притоком химических веществ с водосбора, и величина их относительного баланса увеличивается. Это проявляется в существовании прямых линейных связей между величиной относительного баланса и коэффициентом водообмена водохранилища. Пример такой зависимости для фосфатов представлен на рис. 2.

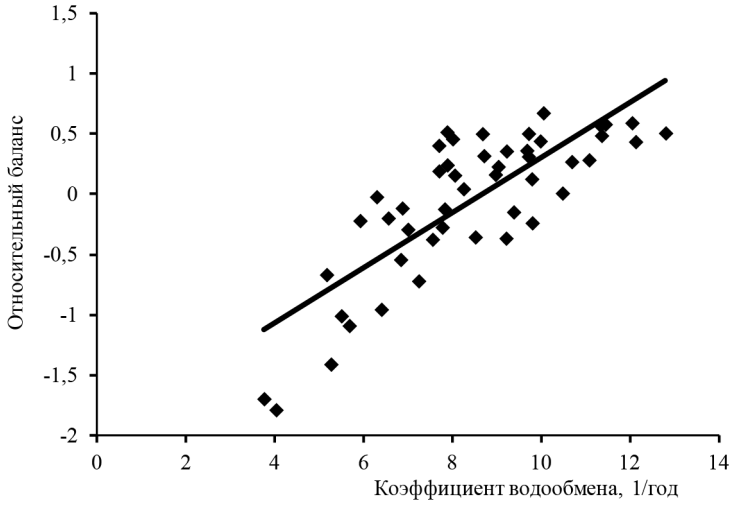


Рис. 2. Зависимость относительного баланса фосфатов от коэффициента водообмена Иваньковского водохранилища

Fig. 2. Dependence of the relative balance of phosphates on the water exchange coefficient of the Ivankovo reservoir

Прямые зависимости относительных балансов от коэффициента водообмена отмечены для всех рассмотренных показателей качества воды, коэффициенты корреляции которых составляют 0,67 для аммонийного иона, 0,69 для нитратов и железа, 0,71 для марганца, 0,75 для органического вещества и 0,78 для фосфатов (при 5%-м уровне значимости).

В водохранилищах сезонного регулирования стока, к которым относится Иваньковское, при высокой проточности фактор увеличения химической нагрузки имеет большее значение, а за короткое вре-

мя пребывания воды в водохранилище внутриводоемные процессы не успевают обеспечивать существенную трансформацию веществ и снижение их концентраций, как в водохранилищах, характеризующихся низкими значениями коэффициента водообмена. Кроме того, учитывая положение створов мониторинга, в которых проводились расчеты баланса, существенным внутренним источником химических веществ в Иваньковском водохранилище могут служить сточные воды городов, расположенных на его берегах. В первую очередь это относится к самому крупному источнику загрязнений – сточным водам Твери, которые сбрасываются в Иваньковское водохранилище ниже створа наблюдений. Сопоставление средневзвешенных по расходам воды значений концентраций показателей в реках Волга и Тверца с наблюдениями ниже пункта сброса сточных вод города (в пункте п. Городня) показывает, что наибольшее влияние сточные воды оказывают на изменение концентраций аммонийного азота. Высокие концентрации в коммунальных сточных водах резко увеличивают его содержание в воде водохранилища. В пункте наблюдений ниже сброса сточных вод среднемноголетние концентрации аммонийного азота в 1,5 раза превышают его содержание в Волге. Это, по-видимому, одна из главных причин отмеченного ранее по балансовым расчетам сравнительно небольшого влияния водохранилища на сток аммонийного азота, поскольку Тверь представляет собой крупный источник его поступления. Влияние процесса нитрификации этой формы минерального азота, поступающего в него не только с водосбора Верхней Волги, но и с загрязнениями сточных вод Твери и других городов и населенных пунктов на Иваньковском водохранилище, оказывается недостаточным, чтобы существенно снизить концентрации аммонийного азота в водохранилище и обеспечить высокие значения положительного баланса этой формы азота, как, например, в Учинском водохранилище [Даценко, 2007]. Заметное влияние сточных вод на баланс веществ в водохранилище характерно также для фосфатов, характеризующихся, как и аммонийный ион, повышенными концентрациями в сточных водах. Для остальных рассмотренных показателей влияние города на качество воды водохранилища малозначимо.

Для аммонийного азота и фосфатов степень влияния сточных вод города определяется водностью года и заметно усиливается в годы с низким стоком в результате снижения степени разбавления загрязнений речными водами. Это подтверждается существованием значимой связи между разницей концентраций загрязнений в р. Волге до (средняя концентрация в Волге и Тверце – $C_{В-Т}$) и после ($C_Г$) сброса сточных вод с коэффициентом водообмена, пример которой для аммонийного азота приведен на рис. 3.

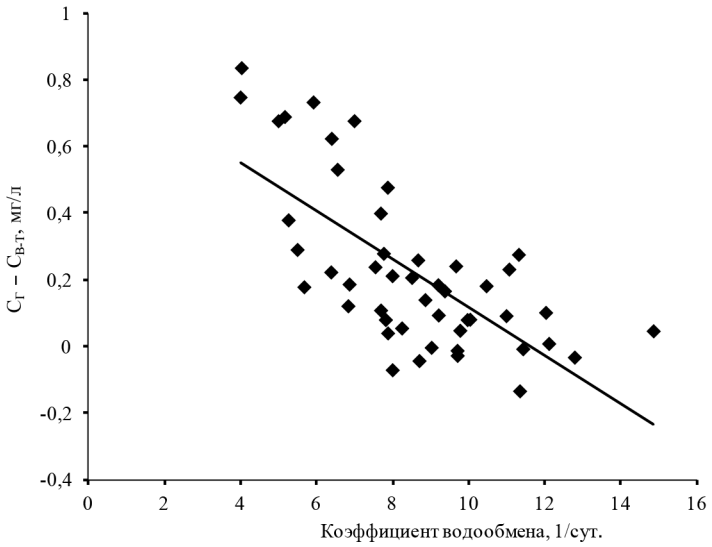


Рис. 3. Зависимость разницы концентраций аммонийного иона в пунктах выше и ниже сброса сточных вод г. Твери от коэффициента водообмена

Fig. 3. Dependence of the difference in ammonium ion concentrations in the points upstream and downstream the Tver city wastewater discharge on the water exchange coefficient

ВЫВОДЫ

Регулирование стока Верхней Волги Иваньковским водохранилищем способствует улучшению качества воды Волжского источника водоснабжения г. Москвы путем снижения величины стока химических веществ. Для рассмотренных показателей качества воды среднемноголетние годовые балансы веществ имеют положительные значения, величина которых зависит от водности года. Установленные статистические зависимости баланса веществ в Иваньковском водохранилище от коэффициента водообмена водохранилища характеризуются коэффициентами корреляции от 0,67 для аммонийного иона до 0,78 для фосфатов. В годы повышенной водности увеличиваются относительные балансы химических веществ в водохранилище. Влияние сточных вод Твери на качество воды Иваньковского водохранилища наиболее заметно проявляется для аммонийного азота и фосфатов.

Установленные зависимости носят общий характер, поэтому есть все основания полагать, что и в современных условиях изменение интенсивности водообмена водохранилища в годы с различной водностью

будет оказывать доминирующее влияние на трансформацию химического стока Волги и Тверцы. Изменения химической нагрузки, связанные с антропогенным влиянием, в современных условиях могут несколько изменить количественные оценки величины трансформации химического стока и качества воды.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 20-17-00209.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Авакян А.Б., Кочарян А.Г., Майрановский Ф.Г. Влияние водохранилищ на трансформацию химического стока рек // Водные ресурсы. 1994. № 2. С. 144–153.

Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 292 с.

Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.

Даценко Ю.С. Оценка влияния каскада волжских водохранилищ на среднемноголетний вынос фосфора в Каспий // Водные ресурсы. 2002. № 6. С. 636–638.

Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС, 2007. 221 с.

Даценко Ю.С. Трансформация стока и состава органического вещества в Волжской системе водоснабжения г. Москвы // Водное хозяйство России. 2009. № 2. С. 27–34.

Даценко Ю.С., Эдельштейн К.К. Регулирование стока и обеспечение населения питьевой водой // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. М.: Изд-во МГУ, 1999. Вып. 2. С. 253–269.

Зиминова Н.А., Законнов В.В. Аккумуляция биогенных веществ в донных отложениях водохранилищ Верхней Волги / Гидрохимические исследования волжских водохранилищ. Рыбинск, 1982. С. 62–67.

Иваньковское водохранилище и его жизнь. М.: Наука, 1978. 304 с.

Иваньковское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. 344 с.

От истока до Москвы. М.: Прима-Пресс, 1999. 312 с.

Порядин Л.Д. Водоснабжение больших городов – некоторые особенности дальнейшего развития // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 3-2. С. 68–73.

Разгулин С.М., Гапеева М.В., Литвинов А.С. Баланс биогенных веществ в Рыбинском водохранилище // Труды ИБВВ АН СССР. 1982. Вып. 50(53). С. 81–92.

Соколов Д.И. Влияние водохранилищ на изменение окисляемости и цветности речной воды (на примере источников водоснабжения г. Москвы): автореф. дис. … канд. геогр. наук. М., 2013. 25 с.

Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

Поступила в редакцию 19.11.2020
После доработки 12.02.2021
Принята к публикации 18.03.2021

INFLUENCE OF THE IVANKOVO RESERVOIR ON THE QUALITY OF THE VOLGA WATER SUPPLY SOURCE FOR MOSCOW

Yu.S. Datsenko

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: yuri0548@mail.ru

The article analyzes the results of 1958–2004 regular long-term monitoring of water quality of the Ivankovo reservoir, the principal reservoir of the Volga water supply system for Moscow. The annual balances of ammonium ion, nitrates, phosphates, total iron, manganese, and organic matter (in terms of the permanganate oxidability index) were calculated for the observation period using data on water flow rates in the main tributaries of the reservoir, i.e. the Volga and Tvertsa rivers. Long-term fluctuations of the relative balances of chemicals in reservoirs are analyzed; the balances are calculated by the difference between the inflow and discharge of chemicals. The calculations show that under the slower river flow the concentrations and the flow of chemicals decrease in the Ivankovo reservoir downstream the Volga River section near Tver as a result of intra-reservoir processes. Significant statistical dependences of the relative balances of chemicals in the reservoir on the coefficient of its water exchange by the inflow were established, which show high correlation coefficients i.e. 0.67 for the ammonium ion, 0.69 for nitrates and iron, 0.71 for manganese, 0.75 for organic matter, and 0.78 for phosphates (at the 5% significance level). With a short period of water exchange in the Ivankovo reservoir, an increase in the nitrate forms of nitrogen due to the oxidation of the ammonium form does not compensate the influx of nitrates. As a result, there is a positive difference in the inflow and runoff of nitrates for the most of

years under calculation. Relatively small decrease in the concentrations of ammonium nitrogen is due to its internal sources, and also wastewater from Tver, Konakovo and other localities. Specific features of organic matter transformation in the Ivankovo reservoir are revealed. The inflow of high-colored waters of the Orsha and Soz rivers draining the large Vasilyevsky Moh peat-deposit significantly smooth the decrease in organic matter content in the reservoir under the influence of intra-reservoir processes. Thus the average long-term values of permanganate oxidability for the Gorodnya section at the reservoir entrance and for the first ferry crossing section differ just slightly. Influence of waste water of the Tver city was evaluated by comparing the concentrations of pollutants upstream and downstream the municipal wastewater discharge point. It is shown that the degree of the influence depends on water amount of the year and significantly increases in the years with low runoff as a result of poorer dilution of pollutants by river water.

Keywords: chemical balance, water exchange coefficient, waste water, water amount of the year, intra-reservoir processes

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (projects No 20-17-00209).

REFERENCES

Avakyan A.B., Kocharyan A.G., Mairanovsky F.G. Vliyanie vodohranilisch na transformatsiyu himicheskogo stoka rek. [The impact of reservoirs on the transformation of chemical runoff], *Vodnye resursy,* 1994, no. 2, p. 144–153. (In Russian)

Danilov-Danilian V.I., Losev K.S. *Potreblenie vody: ekologicheskij, ekonomicheskij, sotsialnyj i politicheskij aspekty* [Water consumption: environmental, economic, social and political aspects], Moscow, Nauka Publ., 2006, 221 p. (In Russian)

Datsenko Y.S. Transformatsiya stoka i sostava organicheskogo veschestva v Volzhskoj sisteme vodosnabzheniya g. Moskvy [Transformation of runoff and organic matter composition in the Volga water supply system of Moscow], *Vodnoe hozyaistvo Rossii*, 2009, no. 2, p. 27–34. (In Russian)

Datsenko Y.S. *Evtrofirovanie vodohranilisch. Gidrologo-gidrohimichtsrie aspekty* [Eutrophication of reservoirs. Hydrological and hydrochemical aspects], Moscow, GEOS Publ., 2007, 221 p. (In Russian)

Datsenko Y.S. Otsenka vliyaniya kaskada volzhskih vodohranilisch na srednemnogoletnij vynos fosfora v Kaspii [Assessment of the impact of the Volga River reservoir cascade on the average long-term removal of phosphorus to the Caspian Sea], *Vodnye resursy*, 2002, no. 2, p. 144–153. (In Russian)

Datsenko Y.S., Edelstein K.K. [Regulation of runoff and provision of drinking water to the population], *Problemy gidrologii i gidroecologii* [Problems of hydrology and hydroecology], Moscow, MSU Publ., 1999, vol. 2, p. 253–269. (In Russian)

Edelstein K.K. *Vodohranilischa Rossii: ekologicheskiye problemy, puty ih resheniya* [Reservoirs of Russia: ecological problems, ways of their solution], Moscow, GEOS Publ., 1998, 277 p. (In Russian)

Gidrometeorologicheskij rezhim ozer i vodohranilisch SSSR. Vodohranilischa Verhnei Volgi [Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. Reservoirs of the Upper Volga River], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975, 150 p. (In Russian)

Ivankovskoe vodohranilische i ego zhizn [Ivankovo reservoir and its life], Moscow, Nauka Publ., 1978, 304 p. (In Russian)

Ivankovskoe vodohranilische. Sovremennoe sostoyanie i problemy ohrany [Ivankovo reservoir. The current state and problems of protection], Moscow, Nauka Publ., 2000, 344 p. (In Russian)

Ot istoka do Moskvy [From the source to Moscow], Moscow, Prima-Press Publ., 1999, 312 p. (In Russian)

Poryadin L.D. Vodosnabzhenie bolshih gorodov: nekotoryye osobennosty dalneishego razvitiya [Water supply of large cities – some features of further development], *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tehnika,* 2013, no. 3, p. 68–73. (In Russian)

Razgulin S.M., Gapeeva M.V., Litvinov A.S. [The balance of nutrients in the Rybinsk reservoir], *Trudy IBVV AN SSSR* [Proc. IBIW RAS], 1982, vol. 50(53), p. 81–92. (In Russian)

Sokolov D.I. *Vliyaniye vodohranilisch na izmenenie okislyaemosti i tsvetnosti rechnoi vody (na primere istochnikov vodosnabzheniya g. Moskvy* [Influence of reservoirs on the changes in oxidability and color of river water (case study of water supply sources for Moscow)] Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, Moscow, MGU Publ., 2013, 27 p. (In Russian)

Ziminova N.A., Zakonnov V.V. Accumulation of biogenic substances in the bottom sediments of the Upper Volga River reservoirs, *Gidrohimicheskie issledovaniya volzhskih vodohranilisch* [Hydrochemical studies of the Volga River reservoirs], Rybinsk, 1982, p. 62–67.

Received 19.11.2021
Revised 12.02.2021
Accepted 18.03.2021

УДК 551.79

ПЕРВАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ХРОНОЛОГИЯ НАЧАЛЬНОГО ВЕРХНЕГО ПАЛЕОЛИТА ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА (ПО МАТЕРИАЛАМ СТОЯНКИ УШБУЛАК)

Р.Н. Курбанов[1], **В.А. Ульянов**[2], **А.А. Анойкин**[3], **Г.Д. Павленок**[4], **Д.В. Семиколенных**[5], **В.М. Харевич**[6], **Ж.К. Таймагамбетов**[7], **Э.С. Мюррей**[8]

[1, 5] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена*
[2] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии*
[1, 5] *Институт географии РАН, отдел палеогеографии четвертичного периода*
[3, 4] *Институт археологии и этнографии СО РАН, отдел археологии каменного века*
[3] *Алтайский государственный университет, лаборатория междисциплинарного изучения археологии Западной Сибири и Алтая*
[6] *Институт археологии и этнографии СО РАН, лаборатория археологии и палеогеографии Средней Сибири*
[7] *Национальный музей Республики Казахстан*
[8] *Орхусский университет, Дания, Скандинавская люминесцентная лаборатория*

[1] *Ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: kurbanov@igras.ru*
[2] *Науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: vauism@gmail.com*
[3] *Ст. науч. с., докт. ист. н.; e-mail: anui1@yandex.ru*
[4] *Ст. науч. с., канд. ист. н.; e-mail: lukianovagalina@yandex.ru*
[5] *Мл. науч. с.;* аспирант*; e-mail: aristova@igras.ru*
[6] *Ст. науч. с., канд. ист. н.; e-mail: mihalich84@mail.ru*
[7] *Гл. науч. с., академик НАН Казахстана, профессор; e-mail: zhaken.taimagambetov@gmail.com*
[8] *Профессор; e-mail: andrew.murray@geo.au.dk*

В работе представлены первые результаты детального геохронологического исследования разреза опорной для верхнего палеолита Казахстана многослойной стоянки Ушбулак. Стратиграфический разрез памятника содержит семь основных культуросодержащих слоев. По характеристикам найденного инвентаря слой 1 был отнесен к эпохе палеометалла, слои 2.1–7.2 – к разным этапам верхнего палеолита. В связи со сложным строением разрез и редкостью органических остатков в отложениях, для установления точной хронологии формирования отложений памятника был применен подход сравнительного датирования методами ОСЛ и ИКСЛ, а также привлечены данные УМС-датирования материалов из разных горизонтов слоя 6. Анализ условий седиментации был выполнен на основе детальной характеристики отложений, геоморфологического строения района и современных экзогенных процессов. Результаты сравнения трех протоколов люминесцентного датирования (ОСЛ, pIRIR290, IR50) указывают на достаточное обнуление сигнала в ходе формирования отложений таким образом, что ИКСЛ-возраст отражает относительно точное время этих процессов. Результаты лабораторных измерений и стандартные тесты позволяют считать полученные датировки достоверными, а итоговую хронологию – надежной. На основе ИКСЛ-хронологии и радиоуглеродных датировок была построена байесовская модель возраста, выделены горизонты возможной неполноты геологической летописи. В результате анализа плейстоценовых отложений стоянки Ушбулак были определены точные временные рамки трех культурно-хронологических стадий, соответствующих разным периодам верхнего палеолита и отличающихся индустриально: начального верхнего палеолита (слои 7.2–5.2), фиксирующаяся в интервале 47–37 тыс. л. н.; развитого верхнего палеолита (слои 5.1–4) в интервале 22–19 тыс. л. н. и финального верхнего палеолита (слои 3.3–2.1) в интервале 17–15 тыс. л. н. Выполненное исследование позволило определить точное время основных этапов функционирования стоянки, начиная с первоначального заселения ее территории, – около 47–45 тыс. л. н., т. е. второй половины МИС 3.

Ключевые слова: геоархеология, палеолит Центральной Азии, каменные индустрии, ОСЛ, палеогеография

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в современной археологии одной из ведущих точек зрения является представление о том, что на территории Европы и части Азии культуры среднего палеолита связаны в первую очередь с неандертальцами, а появление и распространение индустрий позднего / верхнего палеолита – с расселением по континенту человека современного антропологического типа. Процесс культурных изменений был предположительно вызван выходом архаичных *Homo Sapiens* за пределы Африки [Out of Africa…, 2010; Groucutt et al., 2015].

Начиная примерно с 50 тыс. л. н. в различных регионах Евразии фиксируются изменения ключевых элементов материальной культуры, связанных с появлением новых техник расщепления камня, специфических типов орудий, широким использованием костяного материала и созданием неутилитарных предметов (украшения и т. д.). Установление причин, характера, путей распространения и хронологии этих инноваций занимает одно из центральных мест в проблематике мировой археологии. В контексте ее решения выделение каменных индустрий начального верхнего палеолита (НВП) стало одним из заметных достижений археологии палеолита конца XX в. Эти комплексы были изначально охарактеризованы на примере материалов стоянки Бокер-Тахтит и грота Кзар-Акил (Левант), а в настоящее время идентифицированы во многих районах Евразии [Вишняцкий, 2008; The Early…, 1988].

Выделяется несколько основных регионов распространения НВП-индустрий: Центральная и Восточная Европа, Ближний Восток, некоторые районы Центральной Азии. При этом одним из нерешенных вопросов, применительно ко всему пространству бытования этих комплексов, остается вопрос хронологии, являющийся ключевым для установления предкового региона/регионов, путей и скорости их распространения, характера взаимодействия с «аборигенными» культурами на осваиваемых территориях.

В Центральной Азии индустрии, связанные с ранними этапами верхнего палеолита, были открыты сравнительно недавно, и их значительно меньше, чем в западной части материка. Бóльшая часть известных здесь стоянок сосредоточена в южной части региона – Западный Тянь-Шань (Оби-Рахмат) или на его северной и северо-восточной границе – Алтай и Северная Монголия (Кара-Бом, Усть-Каракол-1, Толбор-4 и др.) [Деревянко и др., 1998; Деревянко и др., 2003; Derevianko et al., 2007; Rybin, 2014].

В связи с этим особое значение приобретают археологические памятники Казахстана, занимающего обширную территорию, соединяющую несколько крупных историко-культурных областей (Среднюю Азию, Сибирь, Северный Китай и Восточную Европу) и отличающуюся специфическими географическими условиями (резкая континентальность и аридность климата, доминирование процессов денудации). Этим во многом обусловлено малое количество известных здесь стоянок древнего каменного века, большей частью представленных местонахождениями с поверхностным залеганием артефактов. Материалы верхнего палеолита, залегающие *in situ*, присутствуют в комплексах ряда стоянок Южного Казахстана – Майбулак, имени Ч. Валиханова, Рахат и др. [Таймагамбетов, Ожерельев, 2009; Ожерельев и др., 2019; Fitzsimmons et al., 2017]. Несколько памятников со стратифицированными позднепалеолитическими индустриями есть в Центральном и Северном Казахстане (Батпак-7, Экибастуз-15, Экибастуз-18) [Таймагамбетов, Ожерельев, 2009]. В восточной части Казахстана, несмотря на ее близость к богатому палеолитическими памятниками российскому Алтаю, до последнего времени стратифицированные комплексы верхнего палеолита были практически неизвестны. Однако в 2016 г. в ходе разведочных работ российско-казахстанской экспедицией была открыта многослойная стоянка Ушбулак (рис. 1), ставшая ключевым объектом для изучения поздних этапов каменного века региона [Shunkov et al., 2017].

Геоморфология. Стоянка Ушбулак расположена в предгорной части северо-восточной оконечности Шиликтинской долины, в урочище Долина Карасай, у подножия юго-западного склона западной оконечности хр. Саур на абсолютной высоте около 1500 м. Археологический материал выявлен в верхнем течении ручья Восточный (рис. 2А), как в русле, так и в стратифицированном залегании на обоих бортах. Овраг, образованный деятельностью водотока, врезан в поверхность подгорной равнины на 6 м, имеет V-образный профиль, узкое днище шириной до 3–5 м. Ручей находится в зоне разлома северо-западного простирания, контролирующего массивные интрузии гранодиоритов и диоритов. Исток ручья представляет собой родник с дебитом около 6 л/с, бьющий из толщи рыхлых отложений у самого подножия склона хр. Саур. По всей видимости, питание связано с трещинными водами интрузивного комплекса.

В геоморфологическом отношении территория, на которой локализован памятник, приурочена к зоне сочленения северо-восточной окраины межгорной Шиликтинской впадины с хр. Саур. Основные черты геоморфологического строения территории свидетельствуют об активных тектонических поднятиях новейшего времени и относительной молодости тектонически предопределенного рельефа [Геология СССР…, 1967]. Стоянка расположена в основании юго-западного макросклона хр. Саур, который характеризуется значительными генеральными уклонами (от 15 до 25°), рассечен глубоко врезанными ущельями с крутыми бортами и водотоками, как правило, функционирующими круглогодично. К востоку от местонахождения хр. Саур сложен девонскими песчаниками, алевролитами и кремнистыми сланцами, которые ближе к осевой части хребта сменяются базальтовыми порфиритами и лавами андезитового состава. Западнее хребет слагают сильнодислоцированные туфопесчаники, туфы, алевролиты, песчаники каменноугольного времени.

Переход от юго-западного макросклона хр. Саур к Шиликтинской впадине морфологически четко выражен по резкому изменению уклонов поверхности. От подножия хребта начинается пологоувалистая подгорная поверхность, сформированная плащом делювиально-пролювиальных отложений и слившимися конусами выходящих на равнину водотоков. Местами в вершинных частях увалов сквозь чехол рыхлых отложений проступают перекрытые тонким слоем элювия выходы коренных пород.

Современные рельефообразующие процессы в значительной степени определяются ландшафтно-климатическими условиями региона: резко континентальным климатом, холодными зимами и жарким летом [Гидрогеология СССР…, 1971]. Южные наветренные склоны хр. Саур получают более 700 мм осадков в год, при этом снеговые запасы составляют до 300 мм, что обусловливает бурное весеннее половодье и, как следствие, интенсивную эрозионную деятельность в пределах горных территорий, сопровождающуюся активным выносом материала в пределы впадины. Местами в средней и приустьевой частях долин отмечаются признаки эпизодического прохождения селевых потоков в виде корродированных участков русла, полей селевой аккумуляции на участках расширения днища, локально сохранившихся селевых террас установленной высотой до 1,5–2 м над современным урезом. Наиболее крупные водотоки, в частности находящийся вблизи стоянки ручья Большой, характеризуются высокой транспортирующей способностью, вынося к подножию хребта валуны и глыбы размером до 0,5 м, а в отдельных случаях – до 1 м в поперечнике.

Стратиграфия. Разрез новейших отложений в районе расположения стоянки Ушбулак отражает последовательное замещение проявлений аллювиально-пролювиальной деятельности процессами преимущественно делювиально-склонового транзита и аккумуляции. Сводный разрез, составленный по результатам описания отложений в двух раскопах и серии шурфов на обоих бортах ручья, содержит восемь основных литологических слоев (рис. 3).

Слой 1. Гумусовый горизонт современной почвы мощностью 0,2–0,25 м.

Рис. 1. Район исследования и расположение стоянки Ушбулак

Fig. 1. Study area and location of the Ushbulak site

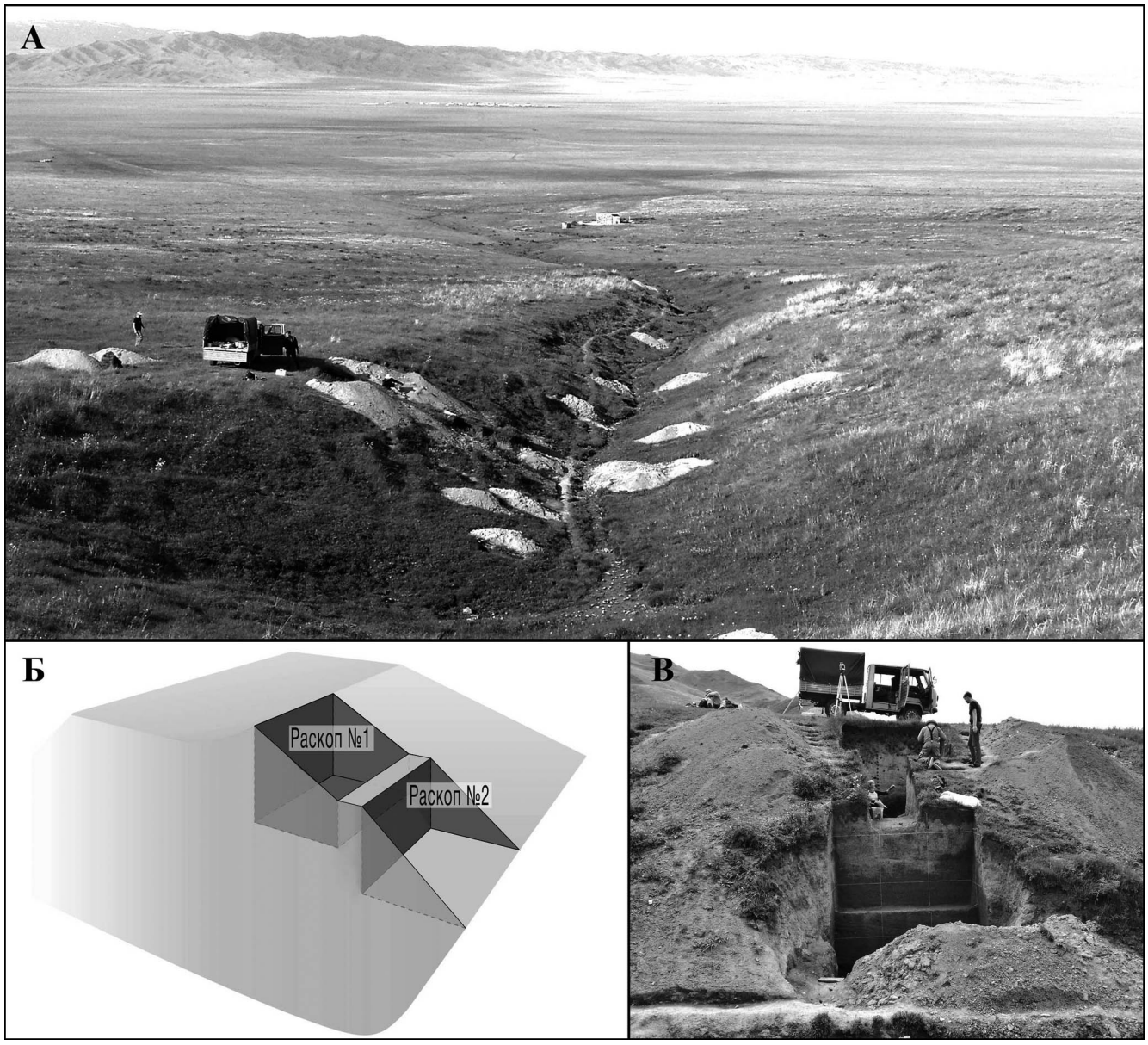


Рис. 2. Стоянка Ушбулак:
А – расположение стоянки и общий вид на ручей Ушбулак; Б – схема расположения раскопов; В – общий вид раскопов 1 и 2

Fig. 2. The Ushbulak site:
А – location of the site and general view on the Ushbulak stream; Б – position of the pits; В – general view of excavations 1 and 2

Слой 2. Супеси алевритистые светло-серые, обильно насыщенные дресвой и сапролитизированным щебнем. Выделяется три горизонта, генетически связанных с деятельностью пролювиальных и склоновых процессов различной степени интенсивности. Общая мощность 1,0–1,2 м.

Слой 3. Супеси и суглинки легкие, палево- и серо-коричневые, с прослоями обогащения дресвяно-песчаным материалом. Выделяется три горизонта, отражающих переход от преимущественно пролювиальных к делювиальным процессам. Общая мощность 1,2–1,4 м.

Слой 4. Пески мелкозернистые и супеси охристые, подстилаемые невыдержанным по мощности прослоем плохо сортированного щебнисто-дресвянистого материала с супесчаным заполнителем. Представлены двумя горизонтами генетически единого пролювиального комплекса в зоне активной аккумуляции. Мощность 0,2–0,5 м.

Слой 5. Пачка переслаивающихся песков разнозернистых коричнево-серых и ржаво-охристых, алевритистых супесей и суглинков, обильно насыщенная дресвой минеральных агрегатов выветрелых гранитоидов и включениями мелкого гранитного щебня. Отмечаются признаки эрозионного вложения в кровлю подстилающих отложений (слоя 6) в виде формирования щебнисто-дресвянистой отмостки в подошве слоя 5, отражающей

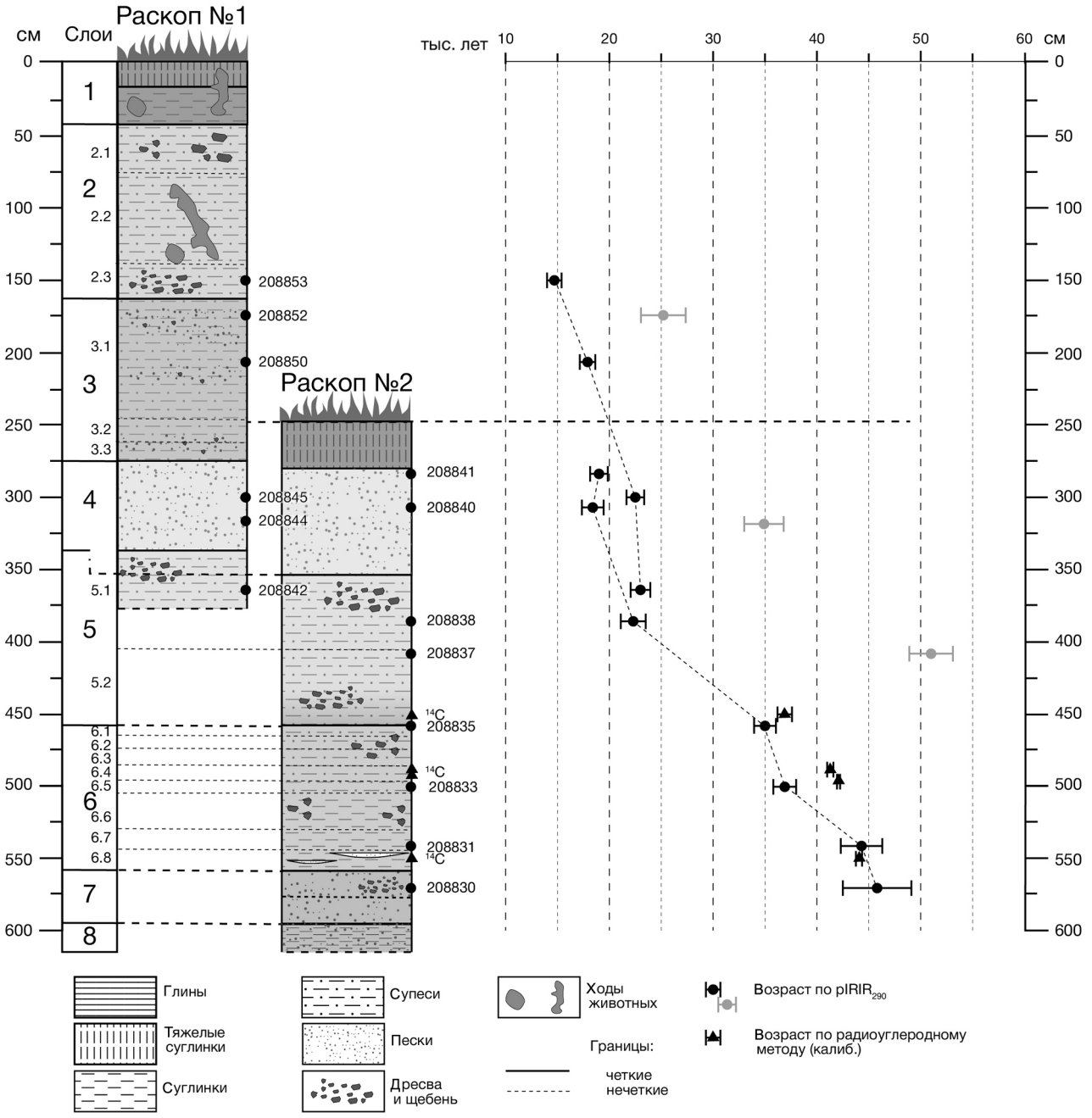


Рис. 3. Строение разреза Ушбулак и результаты люминесцентного и радиоуглеродного датирования

Fig. 3. The structure of the Ushbulak section and the results of luminescence and radiocarbon dating

тенденцию к усилению пролювиальной деятельности. Общая мощность 0,4–0,6 м.

Слой 6. Представлен пачками двух генераций осадка. Верхняя пачка – супеси тяжелые серые с маломощными линзовидными включениями суглинков легких, гумусированных, преимущественно пролювиального происхождения. Общая мощность верхней пачки 0,4–0,5 м. Нижняя пачка – суглинки тяжелые серые с линзами крупнозернистых песков в подошве слоя 6. В генетическом отношении прослои тяжелых суглинков и гумусированных супесей слоя 6 соответствуют отложениям слабопроточного водотока без морфологически выраженного русла с проявлением заболоченности на отдельных участках. Общая мощность нижней пачки 0,3–0,4 м. Характерна устойчивая тенденция к увеличению угла наклона слагающих слой 6 осадков от 2–3° в приподошвенной до 5–6° в прикровельной частях. По литологии осадков и характеру залегания археологического материала в слое выделено восемь горизонтов.

Слой 7. Щебнисто-дресвянистая толща с песчано-суглинистым заполнителем порового типа охри-

сто-коричневого цвета. Петрографический состав щебня на 90% представлен породами ближайшего сноса. Выделено три генерации осадка, залегающих с падением около 5–7°, последовательно вложенных друг в друга и в подстилающий слой 8. В генетическом отношении материал слоя 7 является осадком небольшого ручья с переменным гидрологическим режимом, перемывающего подстилающие грубообломочные отложения. Общая мощность 0,3–0,5 м.

Слой 8. Пачка плохо сортированных щебнисто-дресвянистых отложений с включением хаотически ориентированных единичных глыб в тяжелосуглинистом заполнителе порового типа. Петрографический состав отличается пестротой: при общем преобладании местных пород в подчиненном количестве встречаются экзотические для современного водосбора ручья Восточного андезиты и миндалекаменные базальты, характерные для приводораздельных частей хр. Саур. Слой 8 археологически стерилен. Предполагаемый генезис – древние осадки пролювиально-селевой аккумуляции. Видимая мощность составляет 0,8 м.

Археология. В настоящее время на памятнике заложено два раскопа и 12 шурфов общей площадью 40 м^2 (см. рис. 2Б, В). Археологический материал зафиксирован в семи основных литологических слоях (слои 7–1). Исходя из технико-типологических характеристик артефактов, их стратиграфической позиции, а также по сопровождающим остаткам фауны, на стоянке было выделено четыре культурно-хронологических комплекса: начальных этапов верхнего палеолита (слои 7.2–5.2), развитого верхнего палеолита (слои 5.1–4), финального верхнего палеолита (слои 3.3–2.1) и эпохи палеометалла (слой 1) [Shunkov et al., 2019].

Каменная индустрия нижних слоев стоянки (~16 тыс. артефактов) (рис. 4) в первичном расщеплении характеризуется абсолютным преобладанием двуплощадочных нуклеусов встречного пластинчатого раскалывания; доминированием среди сколов пластин, в т. ч. крупных, длиной до 30 см; широким использованием пикетажа при подготовке зоны расщепления. Орудийный набор включает концевые скребки, интенсивно ретушированные пластины, тронкированно-фасетированные и шиповидные изделия, а также специфические орудийные формы: пластины с перехватом, изделия с вентральной подтеской дистального края, скошенное острие, остроконечники и скребок с насадом, нуклеусы-резцы, листовидный бифас. Ряд признаков позволяет уверенно атрибутировать данный комплекс начальным этапом верхнего палеолита [Anoikin et al., 2019].

Верхние слои существенно беднее археологическим материалом (~1300 артефактов), однако в них также представлены типы изделий, позволяющие охарактеризовать особенности каменного производства (см. рис. 3). Так, в первичном расщеплении в слоях 5.1–4 фиксируются торцовые и одноплощадочные двуфронтальные формы нуклеусов для микропластин и мелких пластин. Для слоя 3 характерны вариации мелкопластинчатых и микропластинчатых двуплощадочных нуклеусов со встречным скалыванием и торцовые формы, а в наиболее поздних материалах (слой 2) фиксируется появление призматического расщепления. Орудийный набор довольно однообразен: единичные скребки разных модификаций, ножи и микропластины с ретушью [Anoikin et al., 2019].

Таким образом, стоянка Ушбулак является уникальным для региона объектом, на котором в согласном залегании представлены индустрии разных этапов верхнего палеолита, что позволяет восстановить точную хронологию бытования и смены этих культур на всем протяжении второй половины позднего плейстоцена.

В связи с особым положением стоянки Ушбулак в ряду других археологических памятников Центральной Азии, одной из важнейших задач ее исследования является разработка надежной хронологии формирования отложений и культуросодержащих горизонтов. Для создания хроностратиграфической схемы памятника нами было предпринято детальное люминесцентное датирование с привлечением двух вариаций метода: оптически-стимулированную люминесценцию (ОСЛ) для датирования кварцевых зерен и инфракрасно-стимулированную люминесценцию (ИКСЛ) для изучения зерен калиевых полевых шпатов (КПШ). Также привлекались полученные ранее данные УМС-датирования угля и костного материала из слоя 6.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе полевых работ в районе расположения стоянки Ушбулак было исследовано строение рельефа, составлена геоморфологическая схема участка, описаны современные экзогенные процессы, выделены структурно-тектонические элементы. В связи с тем что наибольшая концентрация артефактов была обнаружена вдоль русла ручья Восточного, в его верхнем течении на левом борту в зоне максимальной концентрации подъемного материала было заложено два археологических раскопа. Из-за большой крутизны склона участки работ были расположены встык, когда один продолжал другой (см. рис. 2Б, В). В сводном разрезе было выделено восемь основных литологических слоев; выполнено детальное послойное описание отложений; особое внимание уделялось геологическим границам

и характеру переходов, наличию включений и распределению артефактов по слою.

Археологический материал изучался с применением традиционных типологического и атрибутивного методов. Также использовался технологический метод, предусматривающий изучение всех этапов утилизации каменного сырья, начиная от отбора и транспортировки отдельностей горных пород (петрографический и петрофизический анализы), реконструкцию технологической последовательности раскалывания нуклеусов (ремонтаж и данные экспериментального расщепления) и заканчивая способами изготовления и утилизации каменных орудий (трасологический анализ и данные экспериментального расщепления).

Строение отложений и характер археологического материала памятника указывают на то, что время его функционирования соответствует МИС 3 – МИС 2 [Anoikin et al., 2019]. Однако первые результаты радиоуглеродного датирования, полученные в различных лабораториях по углю, костям и другим органическим материалам для слоя 6, наиболее насыщенного археологическими артефактами, показали малое содержание коллогена в большинстве остеологических образцов и недостаточное количество углистой массы в значительной части остальных, что существенно снизило возможность применения радиоуглеродного метода датирования для установления хронологии памятника. В связи с этим нами было предпринято специальное геохронологическое исследование люминесцентными методами и дополнительное датирование радиоуглеродным методом на основе ускорительной масс-спектрометрии.

Широкое внедрение люминесцентных методов для определения возраста различных генетических типов отложений определяется датированием повсеместно встречающихся минералов (кварца и КПШ) для определения времени, прошедшего с момента последнего воздействия света на минеральные зерна [Buylaert, 2012]. Таким образом, определяется возраст непосредственного формирования осадка. Стандартная методика подразумевает приоритетное использование для датирования кварца, так как этот минерал подвержен практически мгновенному обнулению сигнала в результате воздействия света. Предел датирования по кварцу напрямую зависит от типа отложений, определяющих скорость накопления дозы, и обычно составляет 100–150 тыс. лет. Для этого диапазона датирование проводится именно по кварцу. Однако в ряде случаев полного обнуления сигнала, накопленного за предыдущий цикл седиментации, не происходит ввиду быстрого протекания геологических процессов, высокой мутности потока и др. Отмечается прямая связь степени обнуления с процессом формирования отложений, т. е. с их генезисом. Проблема неполного обнуления дозы является существенной при анализе результатов датирования, т. к. способствует удревнению итогового возраста [Курбанов и др., 2020].

В последние годы был предложен новый подход для оценки степени обнуления сигнала в образцах кварца и калиевых полевых шпатов – анализ распределения доз и итоговых возрастов, измеренных по трем протоколам. Получение для каждого образца трех датировок по двум различным минералам позволяет выявить результаты с явным удревнением [Murray et al., 2012]. В связи с тем что в калиевых полевых шпатах может быть накоплена энергия (около 1000 Гр), на порядок превышающая емкость кристаллической решетки кварца (150–250 Гр), в ходе геологического транспорта требуется значительно больше времени для его полного обнуления. Протокол измерений при 290°C ($pIRIR_{290}$) позволяет измерить наиболее стабильный для калиевых полевых шпатов сигнал, требующий, однако, значительного времени для обнуления (более суток). В то же время измерения при 50°C регистрируют электроны из самых нестабильных ловушек (протокол IR_{50}), которые в результате воздействия света высвобождаются быстрее всего за первые секунды, при этом отмечаются самые высокие значения аномального затухания сигнала (явление потери дозы в полевых шпатах) [Thomsen et al., 2008]. Таким образом, датирование по трем протоколам позволяет сравнивать результаты и проводить градацию итоговых результатов по степени надежности. Более подробное описание сути метода сравнения трех протоколов приведено в работе [Курбанов и др., 2019; 2020]. Детальное исследование различных генетических типов отложений [Murray et al., 2012] позволило выявить закономерность: надежными определениями абсолютного возраста методом ОСЛ являются результаты с соотношением датировок $pIRIR_{290}/Q$ в диапазоне 0,9–1,2, а соотношение IR_{50}/Q – в диапазоне 0,5–0,7.

Положение стоянки Ушбулак и характер отложений, формирующих разрез, предопределили дополнительные трудности для выполнения люминесцентного датирования. Как известно, для накопления энергии (измеряемой затем в виде люминесцентного сигнала) в минералах-дозиметрах должны присутствовать неоднородности и различные кристаллические дефекты. Кварц, характеризующийся высокой химической чистотой, практически лишен дефектов. Для их образования зернам кварца необходимо воздействие космического излучения, циклы промерзания/протаивания, воздействие ионизирующего излучения, т. е. прохождение нескольких циклов осадконакопления. Зерна кварца,

образующиеся в результате выветривания гранитов, лишены ловушек и не могут накапливать энергию, а породы, в которых доминирует такой кварц, не могут быть использованы для ОСЛ-датирования. При изучении образцов из стоянки Ушбулак необходимо учитывать фактор образования отложений в результате разрушения гранитных массивов выше по склону. В то же время калиевые полевые шпаты, используемые при ИКСЛ-датировании, имеют весьма сложную химическую формулу, которая включает в себя множество примесей, что определяет наличие большого количества ловушек сразу в момент кристаллизации. Таким образом, КПШ могут быть использованы для датирования даже свежего элювия.

В ходе полевых работ для выполнения люминесцентного датирования нами была отобрана партия из 15 образцов. Отбор проводился в светонепроницаемые пакеты, из соответствующих точек отдельно отбирались образцы для гамма-спектрометрических исследований.

Предварительная подготовка проб проводилась в лаборатории ОСЛ-датирования МГУ/ИГРАН по разработанному в Орхусском университете протоколу [Курбанов и др., 2019]. Образцы из разрезов стоянки Ушбулак представлены в основном разнозернистыми песками и супесями. Методом влажного ситования получена фракция зерен размерностью 180–250 мкм. Выполнена последовательная обработка проб 10% растворами H_2O_2, HCl и HF. Разделение кварца и КПШ проведено сепарационным методом при помощи тяжелой жидкости (поливольфрамат натрия). Полученная навеска кварца затем дополнительно обработана концентрированной HF для очистки от примесей.

ОСЛ-датирование проведено на базе Скандинавской люминесцентной лаборатории Risø Орхусского университета. По кварцу измерения проводились для шести аликвот в результате стимуляции голубым светом при 125°C с предварительным нагревом до 260°C [Murray, Wintle, 2003]. В случае фиксации люминесценции в образце кварца проводились измерения для дополнительных 10 аликвот. Для построения кривой насыщения и определения эквивалентной дозы зерна подверглись воздействию излучения бета-источника – изотопа стронция-90.

В связи с тем что большая часть образцов кварца была охарактеризована отсутствием чувствительности к стимуляции, люминесцентная хронология для стоянки Ушбулак была разработана на основе изучения КПШ. Только в трех верхних образцах (слои 3.1–2.3) удалось измерить эквивалентную дозу (D_e) в навесках кварца.

Для КПШ стимуляция производилась инфракрасным источником, были получены измерения по двум протоколам для 50°C (IR_{50}) и 290°C ($pIRIR_{290}$) [Thiel et al., 2010]. Ввиду высокой стабильности люминесцентного сигнала в полевых шпатах измерения выполнялись для 6–12 навесок. Все измерения выполнялись на стандартном ТЛ/ОСЛ-ридере Risø (модель DA-20).

Результаты измерений исследованы принятыми в люминесцентном датировании стандартными тестами. Так, для пяти образцов КПШ выполнен тест восстановления дозы (по шести аликвот на образец). В ходе теста сигнал в аликвотах предварительно обнулялся в симуляторе солнечного света в течение двух суток. Трем аликвотам каждого образца задавалась доза, аналогичная натуральной. Эксперимент показал высокую сходимость результатов измерений с заданными дозами (1,04, $n = 15$), т. е. цикл SAR [Murray, Wintle, 2003] соблюдался для изученных образцов, а выбранный протокол датирования позволял надежно задавать необходимую дозу радиации.

Оставшаяся в результате облучения энергия в других трех аликвотах измерялась по стандартной методике для определения остаточной дозы, т. е. дозы, которая сохраняется в зернах КПШ даже после длительного воздействия солнечного света. Результаты измерений показали наличие остаточной дозы около 3 Гр. Наличие этой дозы было учтено при расчете итоговых датировок по протоколу $pIRIR_{290}$. Учет возможного аномального затухания сигнала для протокола $pIRIR_{290}$ не проводился ввиду высокой стабильности [Thiel et al., 2010].

Скорость накопления дозы рассчитана на основе определения активности радионуклидов в образцах по результатам измерений на высокоточном гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором на основе особо чистого германия по методике, описанной в [Murray et al., 1987].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дозиметрия. Всего в результате работ получено 15 люминесцентных и четыре радиоуглеродные датировки. Результаты гамма-спектрометрического анализа и рассчитанная для каждого образца мощность дозы представлены в табл. 1.

Мощность дозы по разрезу колеблется в широких пределах от 1,9 до 3,4 Гр/тыс. лет, что отражает неоднородность отложений и значительное влияние включений обломков и гранитной крошки, а также глинистых частиц, т. к. оба материала характеризуются высоким содержанием радионуклидов. Распределение радионуклидов по слоям также колеблется в широких пределах, в среднем около 10–25 Бк/кг для ^{226}Ra, 11–33 Бк/кг для ^{232}Th и 500–650 Бк/кг для ^{40}K. Такой разброс характерен для плохо сортированных отложений, что подтвержда-

ется и отсутствием каких-либо закономерностей в распределении изотопных соотношений $^{226}Ra/^{232}Th$ и $^{40}K/^{232}Th$, обычно отражающих генетические особенности отложений, а также различия в источнике материала при формировании тех или иных горизонтов. При этом по резкому снижению содержания ^{226}Ra (до 5–6 Бк/кг) и ^{40}K (около 500 Бк/кг) выделяются верхние три образца из раскопа 2 – слой 4 и верхи слоя 5 (образцы 208838, 208840, 208841). Слои 2–4 в обоих раскопах характеризуются пониженным содержанием ^{226}Ra, что, возможно, указывает на участие еще одного источника, помимо делювиальных и пролювиальных процессов, приносящих материал с хр. Саур. Возможным источником, привносящим материал с другим радиоизотопным соотношением, могут быть эоловые процессы и лёссонакопление в Шиликтинской долине и на склонах окружающих хребтов.

Важной задачей при расчете мощности дозы является оценка характера водонасыщения породы (WC). Содержащаяся в породе влага определяет размер диссипации радиогенного излучения: увеличение водонасыщения на 1% ведет к равному уменьшению мощности дозы. Для отложений разреза Ушбулак для WC был принят показатель в 25%, что лучше всего подходит для увлажненных суглинков. Само расположение объекта в районе деятельности источника позволяет говорить о том, что породы на протяжении ближайшей геологической истории были насыщены влагой.

Таблица 1

Результаты гамма-спектрометрического анализа: содержание радиоактивных элементов в образце и скорость накопления дозы для кварца и полевых шпатов

№ п/п	Лабораторный номер	Содержание радионуклидов, Бк/кг			Соотношения		Мощность дозы, Гр/тыс. лет, ПШ
		^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	$^{226}Ra/^{232}Th$	$^{40}K/^{232}Th$	
1	208826	27,6 ± 0,3	33,2 ± 0,2	630,1 ± 4,9	0,83	18,97	3,4 ± 0,1
2	208830	12,8 ± 0,3	14,9 ± 0,2	549,1 ± 5,9	0,86	36,79	2,0 ± 0,1
3	208831	11,1 ± 0,2	13,9 ± 0,2	568,0 ± 6,1	0,80	40,92	1,9 ± 0,1
4	208833	20,4 ± 0,4	22,7 ± 0,4	617,3 ± 9,4	0,90	27,19	1,9 ± 0,1
5	208835	26,6 ± 0,2	33,2 ± 0,2	646,2 ± 4,7	0,80	19,46	3,4 ± 0,1
6	208837	14,4 ± 0,2	13,9 ± 0,2	470,8 ± 5,4	1,04	33,96	2,8 ± 0,1
7	208838	6,0 ± 3,2	23,5 ± 0,3	558,3 ± 6,0	0,26	23,74	2,8 ± 0,1
8	208840	5,4 ± 2,8	13,4 ± 0,2	491,4 ± 5,4	0,41	36,71	3,1 ± 0,1
9	208841	5,6 ± 2,6	11,8 ± 0,2	504,3 ± 5,6	0,48	42,70	3,4 ± 0,1
10	208842	21,9 ± 0,2	24,3 ± 0,2	558,3 ± 4,1	0,90	22,94	2,6 ± 0,1
11	208844	14,6 ± 0,3	18,9 ± 0,3	567,3 ± 6,5	0,77	30,05	2,9 ± 0,2
12	208845	12,7 ± 0,2	15,9 ± 0,2	535,5 ± 5,3	0,80	33,59	2,6 ± 0,1
13	208850	15,4 ± 0,3	17,6 ± 0,6	649,8 ± 18,1	0,88	37,00	2,6 ± 0,1
14	208852	12,9 ± 0,3	15,2 ± 0,4	554,0 ± 8,0	0,85	36,51	3,0 ± 0,1
15	208853	13,2 ± 0,2	15,8 ± 0,2	537,7 ± 4,6	0,84	34,05	2,9 ± 0,1

Люминесцентные свойства. Для всех образцов выполнено измерение оптически-стимулированной люминесценции по кварцу. Как и ожидалось, в большинстве из них он оказался нечувствительным к оптической стимуляции, при каждом новом цикле SAR отмечался рост чувствительности, т. е. в изначальных зернах количество энергетических ловушек было минимальным, и накопления природной дозы не происходило. Это характерно для свежего кварца, поступающего в седиментацию сразу после процессов выветривания гранитов и других пород. Лишь в трех верхних образцах раскопа 1 был зафиксирован ОСЛ-сигнал и проведено измерение для 16 аликвот (табл. 2). Полученные эквивалентные дозы не превышают 40 Гр, сигнал характеризуется доминированием быстрого компонента, отмечается увеличение чувствительности по мере реализации циклов SAR, что указывает на «свежесть кварца». По-видимому, в формировании верхних слоев разреза Ушбулак все большую роль приобретал эоловый фактор, т. к. с ним мог быть связан привнос кварца с достаточным для накопления энергии количеством

ловушек. Таким образом, образцы 208850, 208852 и 208853 стали основой для выполнения контроля качества датирования по итогам сравнения различных протоколов ОСЛ и ИКСЛ.

Так как кварц, обычно являющийся предпочтительным для датирования, для большей части разреза оказался непригодным, люминесцентная хронология для стоянки Ушбулак была построена на основе измерений ИКСЛ по калиевым полевым шпатам. Сигнал обоих протоколов IR_{50} и $pIRIR_{290}$ отмечен во всех 15 образцах, характеризуется высокой чувствительностью и характерной для полевых шпатов растянутой кривой, т. е. доминированием медленной компоненты. Для сигнала $pIRIR_{290}$ эквивалентные дозы в КПШ закономерно распределены по разрезу, увеличиваясь от 40–50 Гр в верхних 2–4 слоях до 126 Гр в верхней части слоя 7, с некоторыми колебаниями, отражающими динамику содержания радионуклидов в породе (см. табл. 2). Один образец (208826) из нижней части слоя 7 в основании разреза оказался в полном насыщении (кривая насыщения вышла на плато), доза превысила 1000 Гр. Это указывает на то, что материал не был засвечен при формировании, в данном случае – образец отобран из щебнисто-дресвяной толщи вблизи нескольких обломков гранита.

Результаты датирования. Всего получено 14 конечных датировок по полевым шпатам для раскопов 1 и 2, а также три ОСЛ-даты для раскопа 1 (см. табл. 2).

Как уже было сказано, ввиду того что результаты датирования по КПШ зачастую подвержены удревнению возраста, хронология, построенная на сигнале $pIRIR_{290}$, требует контроля степени обнуления и надежности итоговых датировок. В этой связи большой удачей стало получение трех датировок по кварцу для верхней части разреза, что важно для ответа на вопрос: достаточными ли являются процессы геологического транспорта для полного обнуления люминесцентного сигнала в момент образования отложений в районе стоянки. Важна скорость процессов, их повторяемость, длительность воздействия солнечного света на песчаные зерна. Так, для двух образцов даты по кварцу и полевым шпатам оказались весьма близкими: 16,3 ± 2,7 и 17,9 ± 1,5 тыс. л. н. (208850), 14,4 ± 7,4 и 14,7 ± 1,4 тыс. л. н. (208853), соответственно. Соотношения $pIRIR_{290}/Q$ составили 1,10 ± 0,20 (208850) и 1,02 ± 0,53 (208853), а для IR_{50}/Q – 0,85 ± 0,20 и 0,73 ± 0,52, соответственно, что вписывается в принятые рамки надежного обнуления [Murray et al., 2012]. Это указывает на достаточную степень

Таблица 2

Результаты ОСЛ-датирования для кварца и полевых шпатов и их соотношения

№	Лабораторный номер	Обр. USB	Раскоп	№ слоя	Глубина, см	Эквивалентная доза (Гр) и кол-во аликвот						Возраст, тыс. л. н.		
						IR_{50}		$pIRIR_{290}$		Кварц		IR_{50}	$pIRIR_{290}$	Кварц
1	208826	1	2	7.3	430	>400	5	>1000	5	X		>180	*<290*	X
2	208830	4а	2	7.1	320	76,6 ± 9,3	8	126,7 ± 17,7	8	X		27,7 ± 3,5	45,8 ± 6,6	X
3	208831	5	2	6.7	280	87,5 ± 5,4	8	123,1 ± 10,0	8	X		31,5 ± 2,2	44,3 ± 4,0	X
4	208833	7	2	6.5	250	84,7 ± 4,1	8	115,7 ± 5,1	8	X		27,0 ± 1,6	36,9 ± 2,2	X
5	208835	9	2	6.2	210	93,9 ± 3,6	8	120,3 ± 5,7	8	X		27,4 ± 1,4	35,0 ± 2,1	X
6	208837	11	2	5.2	160	70,6 ± 7,1	6	136,7 ± 9,7	6	X		26,9 ± 2,8	*52,1 ± 4,2*	X
7	208838	12	2	5.1	130	44,5 ± 1,7	6	63,9 ± 5,5	6	X		15,5 ± 1,1	22,3 ± 2,4	X
8	208840	14	2	4	60	27,9 ± 2,5	6	47,6 ± 4,8	6	X		10,7 ± 1,1	18,4 ± 2,1	X
9	208841	15	2	4	30	28,9 ± 3,9	6	50,0 ± 3,6	6	X		11,0 ± 1,5	19,0 ± 1,7	X
10	208842	16	1	5.1	370	45,8 ± 2,6	6	69,4 ± 5,0	6	X		15,2 ± 1,0	23,0 ± 1,9	X
11	208844	18	1	4	320	65,2 ± 4,4	6	100,6 ± 10,3	6	X		22,6 ± 1,7	*34,9 ± 3,8*	X
12	208845	19	1	4	300	44,1 ± 1,8	6	61,9 ± 3,9	6	X		16,1 ± 0,8	22,5 ± 1,7	X
13	208850	24	1	3.1	210	41,2 ± 11,3	7	53,1 ± 4,1	7	33,0 ± 5,3	16	13,9 ± 3,8	17,9 ± 1,5	16,3 ± 2,7
14	208852	26	1	2.2	170	30,3 ± 3,5	6	71,0 ± 11,9	6	38,5 ± 12,9	16	10,8 ± 1,3	*25,2 ± 4,3*	*20,5 ± 6,9*
15	208853	27	1	2.3	150	29,2 ± 2,9	7	41,1 ± 3,5	7	26,7 ± 13,7	16	10,5 ± 1,1	14,7 ± 1,4	14,4 ± 7,4

Примечание: X – образцы кварца не чувствительны к оптической стимуляции; курсивом выделены датировки с явным удревнением.

обнуления и высокую надежность результатов, а итоговые датировки $pIRIR_{290}$, по-видимому, отражают возраст формирования отложений без существенного удревнения возраста.

В серии дат из раскопа 1 выделяется образец 208852, отличающийся значительным различием возрастов по кварцу (20,5 ± 6,9 тыс. л. н.) и $pIRIR_{290}$ (25,2 ± 4,3 тыс. л. н.), соотношение $pIRIR_{290}/Q$ составило 1,23 ± 0,47, а IR_{50}/Q – 0,52 ± 0,25. Такие параметры отражают неполное засвечивание зерен в момент формирования отложений в нижней части слоя 2, возможно, образец отобран из прослоя, образованного во время активизации пролювиальных процессов. Это подтверждается и характером материала в слое, из которого отобран образец, – доминированием щебня и дресвы, дающих много полевых шпатов низкой степени засвечивания. Таким образом, эта датировка удревнена и не может быть признана достоверной. Образцы 208850 и 208853, характеризующиеся соотношениями $pIRIR_{290}/Q$, близкими к 1, указывают на спокойные условия осадконакопления при достаточном воздействии солнечного света. Периодически происходила активизация пролювиальной деятельности, признаки которой хорошо выделяются в строении разреза. Вероятно, она является причиной еще двух инверсий в хронологии по $pIRIR_{290}$: датировок образца 208844 (34,9 ± 3,8 тыс. л. н.) в основании слоя 4, отобранного вблизи дезинтегрированного обломка гранита, и образца 208837 (52,1 ± 4,2 тыс. л. н.) из слоя 5, также обогащенного щебнем и дресвой. В этих образцах также отмечается более древний возраст по IR_{50}, что указывает на существенное участие зерен, не испытавших воздействие света. Таким образом, результаты по образцам 208852, 208844 и 208837 характеризуются завышением возраста и не учитываются в итоговой хронологии, а датировка 208826 является запредельной (см. табл. 2).

Полевошпатовые датировки в обоих раскопах распределены закономерно глубинам (рис. 4). В раскопе 2 происходит постепенное увеличение возраста отложений с 19,0 ± 1,7 на глубине 30 см до 45,8 ± 6,6 тыс. л. н. в верхней части слоя 5. В этой серии отмечается наличие перерыва между образцами 208838 и 208835, составляющего около 13 тыс. лет. На то, что в интервале глубин 130–210 см скорости осадконакопления были медленными, а скорее всего, что часть слоя 6 была размыта последующими процессами, указывает и удревненная дата 208837.

Для создания байесовской модели (рис. 5), которая позволяет уточнить имеющиеся аналитические данные с помощью статистического анализа, использовалось программное обеспечение OxCal, версия 4.4.2 [Ramsey, 2009]. Модель построена на основе радиоуглеродных и $pIRIR^{290}$ дат с вероятностью 95,4% (2σ). Некалиброванные радиоуглеродные даты были автоматически преобразованы в календарные в соответствии с кривой IntCal20 [Reimer et al., 2020]. Кривые немоделированного распределения на рисунке показаны светло-серым цветом, смоделированные распределения OxCal – темно-серым. Возрастная вероятность интервалов между датами представлена кривой серого цвета. $pIRIR_{290}$ даты 208844 и 208837 были исключены из модели как недостоверные, а даты 208852 и 208833 были оставлены в модели, т. к. не оказывают влияния на общий результат. Полученные с помощью моделирования данные представлены в табл. 3.

Для дополнительного контроля надежности полученной хронологии, помимо датирования по трем протоколам (ОСЛ и ИКСЛ) и анализа степени обнуления, нами проведено радиоуглеродное датирование по костным остаткам из культуросодержащих горизонтов. Несмотря на значительный возраст (~36,0–44,5 тыс. л. н.), близкий к пределу датирования по ^{14}C, полученные результаты оказались очень близки к датам по полевым шпатам. Так, в верхней части слоя 6 датировки пересекаются в рамках доверительных интервалов: 35,0 ± 2,1 (ИКСЛ) и 37,7 ± 1,4 тыс. л. н. (^{14}C); практически идентичными являются результаты для основания слоя 6: 44,3 ± 4,0 (ИКСЛ) и 44,0 ± 0,6 тыс. л. н. (^{14}C). В средней части слоя 6 радиоуглеродные датировки несколько древнее по сравнению с ИКСЛ, разница составляет около 4 тыс. лет. Эти результаты подтверждают надежность итоговой хронологии.

Итоговая хронология. В результате датирования был определен возраст всех литологических горизонтов разреза позднеплейстоценовых отложений стоянки Ушбулак.

1. Учитывая особенности отложений и результаты датирования, можно утверждать, что начальный этап функционирования стоянки маркируется слоем 7 с возрастом около 47,2 ± 2,6 тыс. л. н., что соответствует этапу потепления подстадии МИС 3c.

2. Возраст слоя 6 укладывается в диапазон между датировками 42,1 ± 0,4 и 37,9 ± 0,7 тыс. л. н., что относит время его формирования ко второй половине МИС 3. Однако, учитывая, что верхи слоя, по-видимому, были частично размыты, даты для самого верхнего горизонта 6.1 отсутствуют. По предполагаемой скорости осадконакопления верхняя граница слоя 6 может быть несколько моложе, в пределах ~35 тыс. л. н.

3. Слой 5 сформировался в обстановке существенной активизации склоновых процессов. Из его нижней части за счет массового поступления зерен низкой степени засвечивания получена удревненная дата, верхняя часть слоя образована в интервале 22,6–22,3 тыс. л. н., т. е. в условиях максимального похолодания МИС 2.

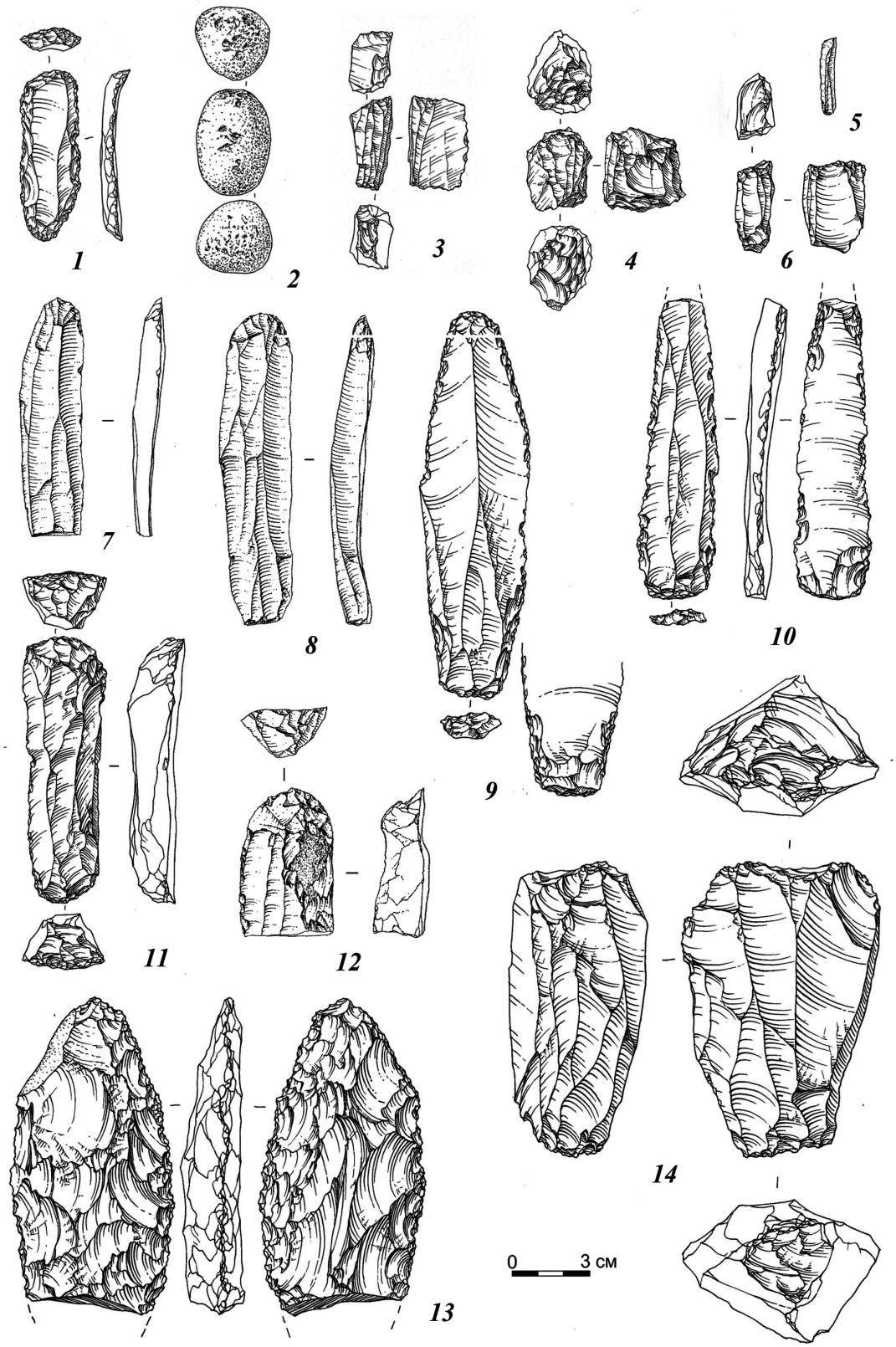


Рис. 4. Стоянка Ушбулак.
Каменные артефакты: 1–4, 6 – слой 5.1; 5 – слой 2.2; 9, 13 – слой 6.2; 8 – слой 6.4; 7, 10–12, 14 – слой 7.1. Тип орудий: 1, 7, 8, 11, 12 – скребки; 2 – отбойник; 3, 4, 6, 14 – нуклеусы; 5 – микропластина; 9 – скребок с насадом; 10 – остроконечник с насадом; 13 – бифас

Fig. 4. The Ushbulak site.
Stone artifacts: 1–4 and 6 – layer 5.1; 5 – layer 2.2; 9 and 13 – layer 6.2; 8 – layer 6.4; 7, 10–12 and 14 – layer 7.1. Type of stone tools: 1, 7, 8, 11 and 12 – scrapers; 2 – hammer-stone; 3, 4, 6 and 14 – nuclei; 5 – microplate; 9 – scraper with a nozzle; 10 – point with a garden; 13 – biface chipper

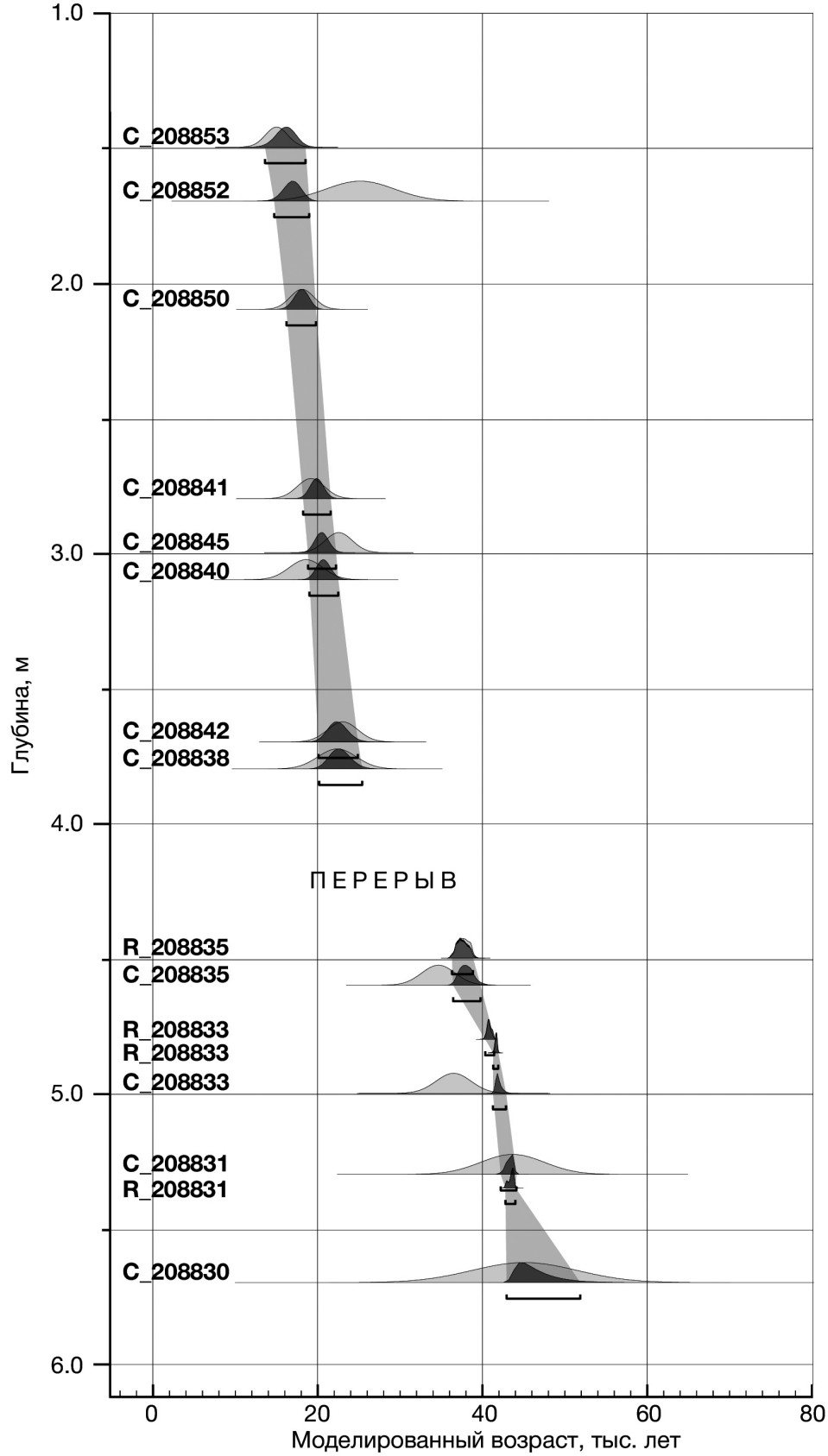


Рис. 5. Результаты байесовского моделирования для разреза стоянки Ушбулак.
Лабораторный номер с приставкой С – ИКСЛ-даты, с приставкой R – калиброванные радиоуглеродные даты

Fig. 5. Results of Bayesian modeling for the Ushbulak section.
Laboratory number with C prefix means pIRIR290 ages, with R prefix – calibrated radiocarbon ages

Таблица 3

Результат байесовского моделирования радиоуглеродных и $pIRIR_{290}$ дат

№ слоя	Образец	Метод, материал, лаборатория	Глубина, см	Немоделированный возраст (BP)*	Моделированный возраст (BP)*
2.3	208853	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	150	14,7 ± 1,4	15,8 ± 1,3
2.2	208852	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	170	25,2 ± 4,3	16,6 ± 1,1
3.1	208850	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	210	17,9 ± 1,5	17,8 ± 0,9
4	208841	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	280	19,0 ± 1,7	19,7 ± 0,8
4	208845	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	300	22,4 ± 1,7	20,4 ± 0,9
4	208840	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	310	18,3 ± 2,1	20,5 ± 0,9
5.1	208842	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	370	22,9 ± 1,9	22,3 ± 1,3
5.1	208838	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	380	22,2 ± 2,4	22,6 ± 1,3
6.2	208835	^{14}C, уголь, АУ	450	38,1 ± 0,7	37,9 ± 0,7
		ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	460	34,9 ± 2,1	38,4 ± 0,9
6.5	208833	^{14}C, уголь, АУ	480	41,2 ± 0,3	41,3 ± 0,3
		^{14}C, зуб, ИАЭТ	485	42,2 ± 0,1	42,1 ± 0,2
		ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	500	36,8 ± 2,2	42,5 ± 0,4
6.7	208831	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	530	44,3 ± 4,0	43,8 ± 0,5
		^{14}C, кость, ИАЭТ	535	44,1 ± 0,3	44,1 ± 0,3
7.1	208830	ИКСЛ, $pIRIR_{290}$, Risø	570	45,7 ± 6,6	47,2 ± 2,6

Примечание: * – вероятность 95,4%; σ – стандартное отклонение; Risø – Скандинавская лаборатория люминесцентного датирования (Дания); АУ – лаборатория УМС-датирования Аризонского университета (США); ИАЭТ – ЦКП «Геохронология кайнозоя» ИАЭТ СО РАН, измерения на УМС ИЯФ СО РАН (Россия).

4. Супеси и пески слоя 4 образованы в интервале 20,5 ± 0,9…19,7 ± 0,8 тыс. л. н., что, по-видимому, отражает некоторое затухание склоновых процессов во время второй половины МИС 2, стабилизацию рельефа и формирование небольшой долины ручья.

5. Слои 3 и 2 сформировались уже в конце МИС 2, в период 17,8 ± 0,9…15,8 ± 1,3 тыс. л. н., в фазу активного потепления, предшествовавшего голоцену. С момента образования слоя 3 в регионе активизировалась эоловая аккумуляция, что частично выразилось в строении отложений, общем выполаживании рельефа и появлению в разрезе кварца с достаточной для ОСЛ-датирования чувствительностью. Однако и на этом этапе отмечаются отдельные фазы активизации пролювиальной деятельности (в частности, в основании слоя 2), выразившиеся в неполном засвечивании зерен полевых шпатов и аномальном удревнении возраста отложений.

ВЫВОДЫ

Для разреза новейших отложений стоянки Ушбулак получена люминесцентная хронология, основанная на ИКСЛ, по калиевым полевым шпатам. Результаты сравнения трех протоколов (ОСЛ, $pIRIR_{290}$, IR_{50}) указывают на достаточное обнуление сигнала в ходе геологического транспорта, что позволяет говорить о том, что ИКСЛ-возраст отражает время формирования отложений.

Стандартные тесты (чистоты кварца, восстановления дозы, измерения остаточной дозы) и количество принятых аликвот позволяют считать полученные датировки валидными, а итоговую хронологию – надежной. Результаты датирования подтверждены радиоуглеродным методом.

В разрезе по результатам датирования выделяются участки, характеризующиеся удревнением возраста, они соответствуют интервалам, существенно обогащенным грубообломочным материалом – источником плохо засвеченных зерен. Датировки из этих интервалов (208837, 208844, 208852) признаны удревненными.

Датировки закономерно распределены по разрезу. Основная пачка культуросодержащих отложений в раскопе 2 формировалась в интервале 47,2 ± 2,6…

19,7 ± 0,8 тыс. л. н. Отмечается возможное наличие в интервале глубин 130–210 см перерыва осадконакопления, а верхняя часть слоя 6 частично размыта.

На стоянке Ушбулак выделены три культурно-хронологические стадии, соответствующие разным периодам верхнего палеолита и отличающиеся индустриально: начального верхнего палеолита (слои 7.2–5.2), фиксирующаяся в интервале 47–37(35) тыс. л. н.; развитого верхнего палеолита (слои 5.1–4) в интервале 22–19 тыс. л. н. и финального верхнего палеолита (слои 3.3–2.1) в интервале 17–15 тыс. л. н.

Благодарности. Полевые археологические и геоморфологические исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ № 19-18-00198; ОСЛ-датирование проведено в рамках тем госзадания (ЦИТИС 121051100135-0 и 121040100323-5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вишняцкий Л.Б. Культурная динамика в середине позднего плейстоцена и причины верхнепалеолитической революции. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2008. 251 с.

Геология СССР. Т. XLI: Восточный Казахстан. Часть I: Геологическое описание. М.: Недра, 1967. 467 с.

Гидрогеология СССР. Т. XXXVII: Восточный Казахстан. М.: Недра, 1971. 308 с.

Деревянко А.П., Петрин В.Т., Рыбин Е.П., Чевалков Л.М. Палеолитические комплексы стратифицированной части стоянки Кара-Бом. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 1998. 280 с.

Деревянко А.П., Шуньков М.В., Агаджанян А.К., Барышников Г.Ф., Малаева Е.М., Ульянов В.А., Кулик Н.А., Постнов А.В., Анойкин А.А. Природная среда и человек в палеолите Горного Алтая. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2003. 448 с.

Курбанов Р.Н., Семиколенных Д.В., Таратунина Н.А., Вольвах Н.Е. Методологические основы оптически стимулированной люминесценции // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова / отв. ред. Т.А. Янина; ред. Н.С. Болиховская, Е.И. Полякова, Т.С. Клювиткина, Р.Н. Курбанов. М.: Географический факультет МГУ, 2020. С. 556–570.

Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей А.С., Семиколенных Д.В., Свистунов М.И., Штыркова Е.И. Возраст Карангатской трансгрессии (поздний плейстоцен) Черного моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2019. № 6. С. 29–39.

Ожерельев Д.В., Джасыбаев Е.А., Мамиров Т.Б. Первые данные о стратиграфии и культурной атрибуции многослойной стоянки верхнего палеолита Рахат (Юго-Восточный Казахстан) // Краткие сообщения института археологии. 2019. Вып. 254. С. 57–70. DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.254.

Таймагамбетов Ж.К., Ожерельев Д.В. Позднепалеолитические памятники Казахстана. Алматы: Қазақ университеті, 2009. 256 с.

Anoikin A.A., Pavlenok G.D., Kharevich V.M., Taimagambetov Z.K., Shalagina A.V., Gladyshev S.A., Ulyanov V.A., Duvanbekov R.S., Shunkov M.V. Ushbulak – A New Stratified Upper Paleolithic Site in Northeastern Kazakhstan, *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia,* 2019, no. 4, p. 16–29.

Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, 2009, no. 51(1), p. 337–360.

Buylaert J.P., Jain M., Murray A.S., Thomsen K.J., Thiel C., Sohbati R. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments, *Boreas*, 2012, no. 41, p. 435–451.

Derevianko A.P., Zenin A.N., Rybin E.P., Gladyshev S.A., Tsybankov A.A., Olsen J.W., Tseveendorj D., Gunchinsuren B. The technology of early Upper Paleolithic lithic reduction in Northern Mongolia: The Tolbor-4 site, *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia,* 2007, no. 29, p. 16–38.

Fitzsimmons K., Iovita R., Sprafke T., Glantz M., Talamo S., Horton K., Beeton T.A., Alipova S., Bekseitov G., Ospanov Y., Deom J.-M., Sala R., Taimagambetov Z. A chronological framework connecting the early Upper Palaeolithic across the Central Asian piedmont, *Journal of Human Evolution*, 2017, no. 113, p. 197–126.

Groucutt H.S., Petraglia M.D., Bailey G., Scerri E.M.L., Parton A., Clark-Balzan L., Jennings R.P., Lewis L., Blinkhorn J., Drake N.A., Breeze P.S., Inglis R.H., Devès M.H., Meredith-Williams M., Boivin N., Thomas M.G., Scally A. Rethinking the dispersal of Homo sapiens out of Africa, *Evolutionary Anthropology*, 2015, no. 24, p. 149–164.

Murray A.S., Marten R., Johnston A., Martin P. Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 1987, vol. 115, no. 2, p. 263–288.

Murray A.S., Thomsen K.J., Masuda N., Buylaert J.P., Jain M. Identifying well-bleached quartz using the different bleaching rates of quartz and feldspar luminescence signals, *Radiation Measurements*, 2012, no. 47, p. 688–695.

Murray A.S., Wintle A.G. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability, *Radiation measurements*, 2003, no. 37(4–5), p. 377–381.

Out of Africa: The First Hominin Colonization of Eurasia, J.G. Fleagle, J.J. Shea, F.E. Grine, A.L. Baden, R.E. Leakey (eds.), New York, Springer Science, 2010, 293 p.

Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen K., Kromer B., Manning S., Muscheler R., Palmer J., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Saka-

moto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP), *Radiocarbon*, 2020, no. 62, p. 725–757.

Rybin E.P. Middle and Upper Paleolithic Interactions and the Emergence of "Modern Behavior" in Southern Siberia and Mongolia, *Emergence and Diversity of Modern Human Behavior in Paleolithic Asia,* College Station, Texas A&M University Press, 2014, p. 470–489.

Shunkov M., Anoikin A., Taimagambetov Z., Pavlenok K., Kharevich V., Kozlikin M., Pavlenok G. Ushbulak-1 site: new Initial Upper Paleolithic evidence from Central Asia, *Antiquity*, 2017, no. 91(360), p. 1–7.

Shunkov M.V., Anoikin A.A., Pavlenok G.D., Kharevich V.M., Shalagina A.V., Zotkina L.V., Taimagambetov Zh.K. Nouveau site Paléolithique supérieur ancien au nord de l'Asie Centrale [New Initial Upper Paleolithic site in northern Central Asia], *L'Anthropologie*, 2019, no. 123, p. 438–451.

The Early Upper Paleolithic: evidence from Europe and the Near East, J.F. Hoffecker, C.A. Wolf (eds.), BAR International Series, 1988, no. 437, 277 p.

Thiel C., Buylaert J.P., Murray A., Terhorst B., Hofer I., Tsukamoto S., Frechen M. Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) – testing the potential elevated temperature post-IR IRSL protocol, *Quaternary International*, 2011, no. 234, p. 23–31.

Thomsen K.J., Murray A.S., Jai M., Bøtter-Jensen L. Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts, *Radiation Measurements*, 2008, no. 43, p. 1474–1486.

Поступила в редакцию 10.02.2021
После доработки 16.04.2021
Принята к публикации 18.05.2021

THE FIRST LUMINESCENCE CHRONOLOGY OF THE INITIAL UPPER PALEOLITHIC OF EASTERN KAZAKHSTAN (CASE STUDY OF THE USHBULAK ARCHAEOLOGICAL SITE)

R.N. Kurbanov[1], V.A. Ulyanov[2], A.A. Anoykin[3], G.D. Pavlenok[4], D.V. Semikolennykh[5], V.M. Kharevich[6], Zh.K. Taymagambetov[7], A.S. Murray[8]

[1, 5] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of recent sediments and Pleistocene palaeogeography*
[2] *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography*
[1, 5] *Institute of Geography RAS, Department of Quaternary Research*
[3, 4] *Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch, RAS, Department of Stone Age Archeology*
[3] *Altai State University, Laboratory for interdisciplinary study of archaeology of Western Siberia and Altai*
[6] *Institute of Archaeology and Ethnography, Siberian Branch, RAS, Laboratory of Archeology and Paleogeography of Central Siberia*
[7] *National Museum of Republic of Kazakhstan*
[8] *Aarhus University, Denmark, Nordic Luminescence Laboratory*

[1] S*enior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: kurbanov@igras.ru*
[2] *Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: vauism@gmail.com*
[3] *Senior Scientific Researcher, Doctor Habil.; e-mail: anui1@yandex.ru*
[4] *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in History; e-mail: lukianovagalina@yandex.ru*
[5] *Junior Scientific Researcher; post-graduate student; e-mail: aristova@igras.ru*
[6] *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in History; e-mail: mihalich84@mail.ru*
[7] *Leading Scientific Researcher, Academician of NAS of Kazakhstan, Professor; e-mail: zhaken.taimagambetov@gmail.com*
[8] *Professor; e-mail: andrew.murray@geo.au.dk*

The paper presents the first results of a detailed geochronological study of the Kazakhstan's Upper Paleolithic reference section from the Ushbulak multilayered site. Seven main cultural layers were identified in the stratigraphic sequence of the site. According to the specific features of obtained artefacts layer 1 corresponds to the Paleo-Metal era; layers 2.1–3.3 to the final Upper Paleolithic; layers 4–5.1 to the developed Upper Paleolithic; and layers 5.2–7.2 to the initial stages of the Upper Paleolithic. Taking into account the complicated structure of the section and inadequate number of fossils in the sediments a comparative dating using OSL and IRSL methods was applied for the exact dating of proluvial-colluvial deposits of the site. The analysis of sedimentation conditions was carried out on the basis of detailed characteristics of all lithological layers, geomorphologic structure of the area and modern exogenous processes. Comparison of three luminescence dating protocols (OSL, $pIRIR_{290}$, IR_{50}) indicate sufficient signal zeroing during the geological transport, so that the IRSL age reflects the time of sediment deposition. The results of laboratory measurements and standard tests allow considering the obtained ages and the final chronology as reliable. A Bayesian age model was calculated

on the basis of IRSL chronology and radiocarbon dating, and the horizons of probably incomplete geological record were identified. The Ushbulak site is characterized by three cultural-chronological stages, corresponding to different periods of the Upper Paleolithic with different industries: the initial Upper Paleolithic (layers 7.2–5.2), recorded in the interval of 47–37 ka; developed Upper Paleolithic (layers 5.1–4) in the interval of 22–19 ka and the final Upper Paleolithic (layers 3.3–2.1) in the interval of 17–15 ka. The research provides the exact time of the main settlement of studied site – about 45–47 thousand years ago, i.e. during the second half of MIS 3.

Keywords: geoarcheology, Paleolithic of Central Asia, stone industries, OSL, palaeogeography

Acknowledgements. Field archaeological and geomorphologic studies were financially supported by the Russian Science Foundation (project 19-18-00198); the OSL dating was performed under the state assignment No. 121040100323-5 “Cenozoic evolution of the natural environment, the relief dynamics, geomorphologic hazards and risks of nature management”.

REFERENCES

Anoikin A.A., Pavlenok G.D., Kharevich V.M., Taimagambetov Z.K., Shalagina A.V., Gladyshev S.A., Ulyanov V.A., Duvanbekov R.S., Shunkov M.V. Ushbulak – A New Stratified Upper Paleolithic Site in Northeastern Kazakhstan, *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia,* 2019, no. 4, p. 16–29.

Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, 2009, no. 51(1), p. 337–360.

Buylaert J.P., Jain M., Murray A.S., Thomsen K.J., Thiel C., Sohbati R. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments, *Boreas*, 2012, no. 41, p. 435–451.

Derevyanko A.P., Petrin V.T., Rybin E.P., Chevalkov L.M. Paleoliticheskie kompleksy stratifitsirovannoi chasti stoyanki Kara-Bom [Paleolithic complexes of the stratified part of the Kara-Bom site], Novosibirsk, IAET SO RAN Publ., 1998, 280 p. (In Russian)

Derevyanko A.P., Shun’kov M.V., Agadzhanyan A.K., Baryshnikov G.F., Malaeva E.M., Ul›yanov V.A., Kulik N.A., Postnov A.V., Anoikin A.A. *Prirodnaya sreda i chelovek v paleolite Gor-nogo Altaya* [Natural environment and people in the Paleolithic of Gorny Altai], Novosibirsk, IAET SO RAN Publ., 2003, 448 p. (In Russian)

Derevianko A.P., Zenin A.N., Rybin E.P., Gladyshev S.A., Tsybankov A.A., Olsen J.W., Tseveendorj D., Gunchinsuren B. The technology of early Upper Paleolithic lithic reduction in Northern Mongolia: The Tolbor-4 site, *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia,* 2007, no. 29, p. 16–38.

Fitzsimmons K., Iovita R., Sprafke T., Glantz M., Talamo S., Horton K., Beeton T.A., Alipova S., Bekseitov G., Ospanov Y., Deom J.-M., Sala R., Taimagambetov Z. A chronological framework connecting the early Upper Palaeolithic across the Central Asian piedmont, *Journal of Human Evolution*, 2017, no. 113, p. 197–126.

Geologiya SSSR, *T. XLI, Vostochnyi Kazakhstan, Chast’ I, Geologicheskoe opisanie* [Geology of the USSR, vol. XLI, Eastern Kazakhstan, pt. I, Geological Description], Moscow, Nedra Publ., 1967, 467 p. (In Russian)

Gidrogeologiya SSSR, *T. XXXVII, Vostochnyi Kazakhstan* [Hydrogeology of the USSR, vol. XXXVII, Eastern Kazakhstan], Moscow, Nedra Publ., 1971, 308 p. (In Russian)

Groucutt H.S., Petraglia M.D., Bailey G., Scerri E.M.L., Parton A., Clark-Balzan L., Jennings R.P., Lewis L., Blinkhorn J., Drake N.A., Breeze P. S., Inglis R. H., Devès M.H., Meredith-Williams M., Boivin N., Thomas M. G., Scally A. Rethinking the dispersal of *Homo sapiens* out of Africa, *Evolutionary Anthropology*, 2015, no. 24, p. 149–164.

The Early Upper Paleolithic: evidence from Europe and the Near East, J.F. Hoffecker, C.A. Wolf (eds.), BAR International Series, 1988, no. 437, 277 p.

Kurbanov R.N., Semikolennykh D.V., Taratunina N.A., Volvakh N.E. Metodologicheskie osnovy opticheski stimulirovannoi lyuminestsentsii [Methodological Bases of Optically Stimulated Luminescence], *Actual problems of the Pleistocene paleogeography*, Scientific achievements of the School of Academician, K.K. Markov, T.A. Yanina, N.S. Bolihovskaja, E.I. Poljakova, T.S. Kljuvitkina, R.N. Kurbanov (eds.), Moscow, MSU Publ., 2020, p. 556–570. (In Russian)

Kurbanov R.N., Yanina T.A., Murray A.S., Semikolennykh D.V., Svistunov M.I., Shtyrkova E.I. Vozrast Karangatskoi transgressii (pozdnii pleistotsen) Chernogo moray [The age of the Karangatian (Late Pleistocene) transgression of the Black Sea], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2019, no. 6, p. 29–39. (In Russian)

Murray A.S., Thomsen K.J., Masuda N., Buylaert J.P., Jain M. Identifying well-bleached quartz using the different bleaching rates of quartz and feldspar luminescence signals, *Radiation Measurements*, 2012, no. 47, p. 688–695.

Murray A.S., Wintle A.G. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability, *Radiation measurements*, 2003, no. 37(4–5), p. 377–381.

Murray A.S., Marten R., Johnston A., Martin P. Analysis for naturally occurring radionuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 1987, vol. 115, no. 2, p. 263–288.

Ozherel’ev D.V., Dzhasybaev E.A., Mamirov T.B. Pervye dannye o stratigrafii i kul’turnoi atributsii mnogosloinoi stoyanki verkhnego paleolita Rakhat (Yugo-Vostochnyi Kazakhstan) [First data on the stratigraphy and cultural attribution of the Rakhat multilayer site of the Upper Paleolithic (South-Eastern Kazakhstan)], *Brief Communications of the Institute of Archaeology*, 2019, iss. 254, p. 57–70, DOI: 10.25681/IARAS.0130-2620.254. (In Russian)

Out of Africa: The First Hominin Colonization of Eurasia, J.G. Fleagle, J.J. Shea, F.E. Grine, A.L. Baden, R.E. Leakey (eds.), New York, Springer Science, 2010, 293 p.

Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R.,

Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen K., Kromer B., Manning S., Muscheler R., Palmer J., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP), *Radiocarbon*, 2020, no. 62, p. 725–757.

Rybin E.P. Middle and Upper Paleolithic Interactions and the Emergence of "Modern Behavior" in Southern Siberia and Mongolia, *Emergence and Diversity of Modern Human Behavior in Paleolithic Asia,* College Station: Texas A&M University Press, 2014, p. 470–489.

Shunkov M., Anoikin A., Taimagambetov Z., Pavlenok K., Kharevich V., Kozlikin M., Pavlenok G. Ushbulak-1 site: new Initial Upper Paleolithic evidence from Central Asia, *Antiquity*, 2017, no. 91(360), p. 1–7.

Shunkov M.V., Anoikin A.A., Pavlenok G.D., Kharevich V.M., Shalagina A.V., Zotkina L.V., Taimagambetov Zh.K. Nouveau site Paléolithique supérieur ancien au nord de l'Asie Centrale, *L'Anthropologie*, 2019, no. 123, p. 438–451.

Taimagambetov Zh.K., Ozherel'ev D.V. *Pozdnepaleoliticheskie pamyatniki Kazakhstana* [Late Paleolithic monuments of Kazakhstan], Almaty, Қазақ universiteti Publ., 2009, 256 p. (In Russian)

Thiel C., Buylaert J.P., Murray A., Terhorst B., Hofer I., Tsukamoto S., Frechen M. Luminescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) – testing the potential elevated temperature post-IR IRSL protocol, *Quaternary International*, 2011, no. 234, p. 23–31.

Thomsen K.J., Murray A.S., Jai M., Bøtter-Jensen L. Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts, *Radiation Measurements*, 2008, no. 43, p. 1474–1486.

Vishnyatskii L.B. *Kul'turnaya dinamika v seredine pozdnego pleistotsena i prichiny verkhnepaleoliticheskoi revolyutsii* [Cultural Dynamics in the Mid-Late Pleistocene and the Causes of the Upper Paleolithic Revolution], St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 2008, 251 p. (In Russian)

Received 10.02.2021
Revised 16.04.2021
Accepted 18.05.2021

Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. С. 149–160

УДК: [911.3+2–67:327.5](669.1)

МЕЖОБЩИННЫЕ КОНФЛИКТЫ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ КОНФЕССИОНАЛЬНОГО ГЕОПРОСТРАНСТВА (НА ПРИМЕРЕ НИГЕРИИ)

И.А. Захаров[1], **Р.В. Дмитриев**[2]

[1, 2] *Институт географии РАН*
[1, 2] *Институт Африки РАН*
[1] *Науч. с.; канд. геогр. н., мл. науч. с.; e-mail: vanszax@yandex.ru*
[2] *Ст. науч. с.; канд. геогр. н.; e-mail: dmitrievrv@yandex.ru*

В статье предпринимается попытка определить пространственные механизмы возникновения конфликтов в условиях трансформации конфессионального пространства Нигерии. Для реализации поставленной задачи предлагается авторская методика, позволяющая определить векторы и тенденции трансформации геопространств крупнейших религий Нигерии – христианства, ислама и этнорелигий – в пределах ее административно-территориальных единиц. В основу методики положены индексы структурных различий Рябцева и Херфиндаля-Хиршмана, динамика значения доли адептов религий, скорость и траектория движения демографических центров религий внутри страны. Полученные результаты были сопоставлены с географией столкновений, которые рассматривались с учетом их основных субъектов, масштаба (среднее число жертв одного столкновения) и жестокости (доля жертв одного столкновения). Определено, что расширение геопространств христианства и ислама было обеспечено прежде всего за счет сжатия геопространства этнорелигий и привело к образованию диагонально вытянутого пояса, который разделил Нигерию на преимущественно христианский юг и мусульманский север. Сложившаяся поляризованная территориальная структура конфессионального пространства Нигерии на фоне серьезных социально-экономических диспропорций между южными и северными штатами привела к увеличению конфликтного потенциала этой страны. Эмпирически установлено, что жестокость конфликтов в Нигерии повышается по мере движения на северо-восток, т. е. соответствует вектору расширения геопространства христианства. Авторы интерпретируют обнаруженную закономерность как ответную реакцию геопространства ислама на замещение со стороны более успешного в рамках своей миссионерской деятельности христианства. При этом наиболее активные субъекты конфликтов, в частности группировка «Боко Харам» (запрещена в РФ), возникли в историческом ядре ислама в Нигерии, а не в зоне непосредственного взаимодействия мировых религий. Имеющиеся данные указывают, что масштаб и жестокость столкновений в Нигерии тем выше, чем стремительнее протекают процессы трансформации в конфессиональном пространстве ее административно-территориальных единиц.

Ключевые слова: Африка, география религий, конфессиональное геопространство, религиозная конкуренция, религиозный конфликт

ВВЕДЕНИЕ

Ни один другой макрорегион мира не столкнулся с такой масштабной трансформацией конфессионального пространства, как Африка в XX в. К началу XXI в. геопространство этнорелигий, адепты которых ранее составляли абсолютное большинство населения континента, оказалось поделено между мировыми религиями: бóльшая его часть отошла христианству (юг), меньшая – исламу (север страны). С исчерпанием конверсионного ресурса этнорелигий геопространства ислама и христианства начали активно взаимодействовать в Судано-Сахельском коридоре [Захаров и др., 2020б]. Сложившаяся территориальная структура конфессионального пространства Африки на фоне действия других факторов имела своим эффектом рост числа и масштаба конфликтов, в том числе на религиозной почве. В результате континент стал одним из наименее стабильных макрорегионов мира – только за период с 1997 по 2017 г. на него пришлось более 140 тыс. столкновений, унесших жизни почти 700 тыс. человек [Africa…, 2018].

Конфессиональные различия обычно рассматриваются в научной географической литературе как одна из предпосылок к формированию в пределах отдельных государств разломов, к которым приурочен наибольший риск сепаратизма [Заяц, 2004], сецессионизма [Попов, 2012], возникновения непризнанных государств [Заяц, 2020] и неконтролируемых территорий в результате фрагментации политического пространства на разных территориальных уровнях [Колосов и др., 2021; Себенцов, Колосов, 2012]. Другим смежным направлением исследований является изучение пространственных закономерностей локализации конфликтов, которые так или иначе мотивированы религиозными и квазирелигиозными убеждениями [Захаров и др., 2020а; Brazhalovich et al., 2016], а также оценка

рисков территориальной экспансии деятельности радикальных исламистских организаций [Dmitriev et al., 2020; Walther, 2009]. В отечественных и зарубежных географических, так же как и в смежных политологических и социологических исследованиях, отмечается значимость религиозного фактора в развитии конфликтов в современной Африке, но при этом пространственные механизмы их действия остаются практически без внимания.

Ранее на примере Африки нами было установлено, что значительная часть конфликтов приурочена к зонам меж- и внутрирелигиозной конкуренции и возникает в ходе или после трансформации конфессионального пространства стран континента [Захаров и др., 2020а]. Однако результаты, полученные нами на уровне стран, не позволяют в полной мере раскрыть пространственные механизмы возникновения конфликтов в условиях трансформации конфессионального геопространства. Достижение этой задачи представляется возможным на более низком территориальном уровне.

В качестве полигона исследования была выбрана Нигерия, для которой, во-первых, характерен высокий удельный вес в конфессиональном пространстве Африки: в 2010 г. это государство занимало первое место по численности адептов всех крупнейших религий (15,7% христиан макрорегиона, 16,8% мусульман и 15,1% адептов этнорелигий) [Brown, James, 2019]. Во-вторых, конфессиональное пространство Нигерии расколото практически на равные по численности христианский юг и мусульманский север. При этом такое разделение страны носит не абстрактный характер, а проявляется во многих аспектах жизни нигерийского общества [Tolerance…, 2010]. В-третьих, Нигерия входит в конфликтную зону стран бассейна озера Чад и является одним из наиболее конфликтных государств африканского континента – оно занимает четвертое место после Сомали, Конго и Судана по числу столкновений и пятое место по количеству жертв. При этом основными субъектами конфликтов в Нигерии являются радикальные исламистские организации, такие как «Боко Харам» (террористическая организация, запрещенная в РФ) [Фитуни, 2015].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В силу особенностей структуры конфессионального пространства Нигерии и высокого уровня религиозности населения вопрос о вероисповедании является настолько чувствительным для нигерийского общества, что правительство решило исключить его из переписи населения. Это несколько затрудняет исследование конфессионального пространства страны. Тем не менее нам удалось собрать достаточный статистический материал по административно-территориальным единицам (АТЕ) первого порядка Нигерии для анализа динамики их конфессионального пространства. Он базируется на двух группах данных: 1) результаты переписей населения в 1952 и 1963 гг., приведенные к современным границам АТЕ Нигерии [Ostien, 2012]; 2) результаты выборочных социологических опросов населения, проведенных в рамках исследовательского проекта «Афробарометр» в 2005 и 2015 гг. [Afrobarometer…, 2005; Afrobarometer…, 2015]. Для верификации и повышения репрезентативности этих данных они были сопоставлены и, при наличии расхождений, откорректированы в соответствии с результатами ближайших по времени опросов.

Конфессиональное пространство определенной территории представляет собой совокупность образующих его геопространств отдельных религий, которые могут претерпевать трансформацию в рамках двух разнонаправленных процессов, проявляющихся в виде их расширения или сжатия, разделенных во времени стадией территориальной стабилизации. Определение стадий развития геопространств крупнейших религий Нигерии – христианства, ислама, этнорелигий – производилось с помощью комбинации несколько индикаторов: уровня инерционности геопространств религий, оцененного исходя из значения индекса структурных различий Рябцева [Региональная статистика…, 2001, с. 46–47]; уровня территориальной концентрации, определенного с помощью индекса Херфиндаля – Хиршмана (далее – HHI) [Hirschman, 1964, с. 761–762]; динамики значения доли адептов религий в населении Нигерии и ее АТЕ; скорости и траектории движения демографических центров крупнейших религий, рассчитанных с помощью Geographic Midpoint Calculator [Geographic Midpoint…, 2018] и Latitude/Longitude Distance Calculator [Latitude/Longitude…, 2018]. Таким образом, мы смогли дать комплексную характеристику развития геопространств крупнейших религий Нигерии за 1952–2015 гг.

Проявляющаяся наряду с континуальностью дискретность конфессионального пространства, а также дифференциация условий его развития определяют неоднородность трансформации геопространств религий: в пределах разных территориальных ячеек геопространство одной и той же религии может проходить разные стадии развития. Определение вклада отдельных АТЕ в процесс трансформации конфессионального пространства Нигерии в целом и геопространств религий в частности производилось нами исходя из среднегодовых темпов прироста доли адептов христианства, ислама и этнорелигий в населении АТЕ за 1952–1963 и 2005–2015 гг. Если значения этого показателя для той или

иной религии каждый год в течении 10 лет росли быстрее, чем на 1,2% (т. е. выше медианного значения по Нигерии), то данный процесс характеризовался как «расширение» геопространства; если убывали быстрее, чем на 1,4%, – как «сжатие»; если же среднегодовые темпы прироста религии находились в интервале от –1,4 до +1,2% – как «стабилизация». В настоящей работе нас интересовали трансформационные процессы, поэтому далее нами рассматривались только АТЕ, отвечающие двум условиям: во-первых, в их пределах происходило расширение или сжатие геопространств религий; во-вторых, рассматриваемая религия исповедуется значительным[1] числом адептов в пределах данной территориальной ячейки [Захаров и др., 2020б].

В качестве основного источника данных о конфликтах в Нигерии нами использовалась база данных ACLED – Armed Conflict Location & Event Data Project [Africa…, 2018], содержащая информацию о месторасположении, количестве столкновений[2] и жертв, акторах конфликтов в Нигерии с 1997 по 2017 г. Для дальнейшего анализа нами были использованы следующие из них: 1) количество столкновений; 2) численность жертв (смертей); 3) доля столкновений без жертв; 4) доля столкновений с жертвами; 5) масштабность столкновений; 6) среднее число жертв одного столкновения с жертвами. В совокупности эти характеристики позволили дать комплексную оценку конфликтов, в частности их масштабности (оцененной исходя из среднего числа жертв одного столкновения) и жестокости (доля столкновений с жертвами) в пределах каждой отдельной АТЕ Нигерии. Для сопоставления полученных результатов о трансформации конфессионального пространства Нигерии и локализации конфликтов в стране применялся сравнительно-картографический метод.

В силу того, что развитие конфессионального пространства любой территории во многом носит унаследованный характер [Сафронов, 2013], нами учитывалась специфика историко-географического распространения в Нигерии ислама и христианства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В общем контексте историко-географического развития крупнейших религий Нигерии выделяется три региона. Во-первых, «хаусаленд» (города-государства хауса) в северной части Нигерии, куда ислам начал проникать еще в IX в. из соседних империй (Канем, Мали, Сонгай, а затем Борно), в которых он имел статус государственной религии, но окончательно закрепился здесь только после джихада фульбе в XIX в. Во-вторых, «игболенд» (государства игбо) на юго-востоке Нигерии, где активная экспансия христианства началась только в середине XIX в., хотя первые попытки христианизации игбо были предприняты еще в XV в. В-третьих, «йорубаленд» (государства йоруба) на юго-западе Нигерии, где распространение христианства и ислама началось фактически в одно и то же время и шло довольно медленно. При этом в ходе длительного сосуществования ислама и христианства на этой территории серьезных противоречий между ними не возникало. Более того, здесь получили развитие уникальные примеры синкретизма, связывающие ислам, христианство и, в определенной степени, этнорелигии в единую религию – «христлам» (Christlam). Здесь также возникла одна из самых известных афрохристианских церквей – аладура. Однако численность приверженцев этих верований по нигерийским меркам невелика [Greenfield, Droogers, 2001; Umoh, 2013].

Несмотря на длительное присутствие ислама и активную деятельность христианских миссионеров, к началу XX в. крупнейшим комплексом верований Нигерии оставались этнорелигии (67,1% населения), адепты которых составляли большинство населения среди йоруба и особенно игбо. Ислам исповедовало 29,6% населения страны, христианство – 2,8% [Brown, James, 2019]. С того времени конфессиональная структура населения Нигерии претерпела масштабные изменения, связанные с вытеснением этнорелигий сначала исламом, а затем христианством. В колониальный этап ислам активно расширял свое геопространство за счет сжатия геопространства этнорелигий в центральной части страны. Благодаря этому, уже к 1930 г. в Нигерии установился паритет этих религий, а к 1963 г. ислам стал крупнейшей религией Нигерии. В то же время христиане, несмотря на быстрый рост численности, представляли меньшинство – в 1910 г. их доля в населении составляла лишь 2,8%; 12,4% – в 1952 г. и 17,8% – в 1963 г. [Brown, James, 2019]. Стремительное расширение геопространства христианства в постколониальный этап за счет, прежде всего, юго-восточных штатов в Нигерии привело к установлению паритета христианства и ислама, который сохраняется вплоть до настоящего времени (табл.).

Имеющиеся данные по АТЕ Нигерии за 1952–2015 гг. охватывают период наиболее интенсивного взаимодействия религий страны. В течение этого времени происходило увеличение количества АТЕ, для конфессионального пространства которых была

[1] Для устранения эффекта низкой базы нами установлен порог в 13%, что соответствует началу фазы устойчивого замещения в модели конкурентного развития конфессионального геопространства [Горохов, 2020, с. 133].

[2] В базе данных ACLED указана геолокация и дата событий (events), носящих насильственный характер. В тех случаях, когда событие продолжается больше суток, оно фиксируется как несколько событий [ACLED Codebook…, 2019].

Таблица

Динамика геопространства крупнейших религий Нигерии в 1910–2015 гг.

Религия	Доля в населении, %					Скорость ДЦ, км/год	Индекс Рябцева	HHI			
	1910	1952	1963	2005	2015	1952–2015	1952–2015	1952	1963	2005	2015
Ислам	29,6	44,9	47,2	45,2	44,0	1,10	0,029	714	637	602	615
Христианство	2,8	12,4	17,8	46,7	47,9	1,73	0,218	756	591	470	469
Этнорелигии	67,1	42,5	28,5	7,9	7,5	6,16	0,781	453	467	1073	4602

Примечание: рассчитано и составлено автором по [Brown, James, 2019; Ostien, 2012; Afrobarometer…, 2005; Afrobarometer…, 2015].

характерна стабилизация. Параллельно с этим зона трансформации конфессионального пространства Нигерии претерпевала стягивание – к 2005–2015 гг. она представляла собой диагонально вытянутый пояс, в пределах которого происходило расширение и сжатие геопространств ислама и христианства (рис. 1).

Христианство. Геопространство христианства, представленное преимущественно протестантизмом, претерпело территориальную деконцентрацию и существенное расширение. Так, в 1952 г. значение HHI составляло 756, а более половины его адептов были сконцентрированы на

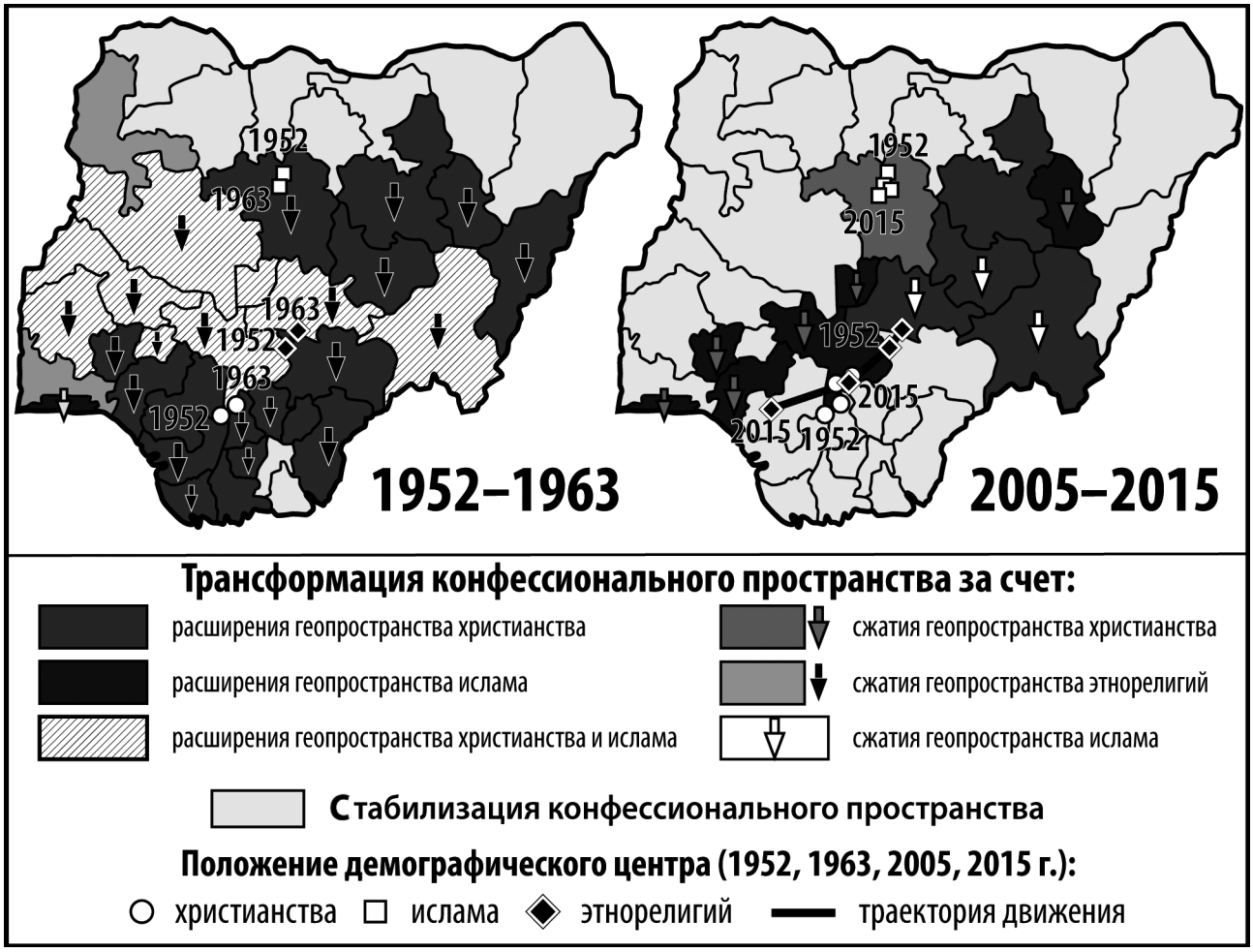


Рис. 1. Трансформация конфессионального пространства Нигерии в 1952–2015 гг.
Рассчитано и составлено автором по [Ostien, 2012; Afrobarometer…, 2005; Afrobarometer…, 2015]

Fig. 1. Transformation of the Nigerian religious landscape, 1952–2015.
Calculated by the author after [Ostien, 2012; Afrobarometer..., 2005; Afrobarometer..., 2015]

территории современных штатов: Аква-Ибом, Абия, Имо, Осун, Ондо. В 2015 г. в пяти крупнейших христианских штатах (Лагос, Риверс, Анамбра, Бенуэ, Имо) проживало лишь 34,1% адептов этой религии, а значение HHI снизилось до 469. Территориальные сдвиги внутри геопространства христианства в соответствии со значением индекса Рябцева (0,218) характеризуются как «существенные». Демографический центр этой религии в Нигерии за тот же период сместился в северо-западном направлении на 108,9 км со средней скоростью 1,73 км/год (см. табл., рис. 1).

Таким образом, преобладающим процессом, обусловливающим трансформацию геопространства христианства в 1952–1963 гг., было его масштабное расширение, в первую очередь, на юге страны. Затем этот процесс замедлился и стал развиваться в северо-восточном направлении: в 2005–2015 гг. расширение геопространства христианства происходило только в четырех штатах – Плато, Гомбе, Адамава, Тарабе. В других АТЕ Нигерии получил распространение обратный процесс, который со временем усилился. Так, в 1952–1963 гг. сжатие был характерно только для Лагоса, а в 2005–2015 гг. в него оказались вовлечены Ондо, Осун, Коги, Федеральная столичная территория (ФСТ) Абуджа, Кадуна.

Ислам. До 2005 г. геопространство ислама претерпевало медленную территориальную деконцентрацию, а в последующее десятилетие наметился обратный тренд. Так, значение HHI с 1952 по 2005 г. снизилось до 602, а затем в 2015 г. увеличилось до 615. Вместе с этим вклад пяти крупнейших мусульманских штатов в общую численность соответствующей религиозной общины снизился с 48,7% в 1952 г. до 41,2% в 2005 г., а затем вырос до 41,8%. Территориальная структура геопространства ислама при этом не изменилась – индекс Рябцева составил 0,029 («тождественность структур»). Несмотря на более высокую инерционность в сравнении с христианством, с 1952 по 2005 г. геопространство ислама расширялось на юго-восток – демографический центр этой религии преодолел 69,1 км в юг-юго-западном направлении со скоростью 1,1 км/год (см. табл., рис. 1).

Основным процессом трансформации геопространства ислама в данный период было ограниченное по масштабам расширение преимущественно в центральных и юго-западных штатах Нигерии. Как и в случае христианства, в течение рассматриваемого периода этот процесс замедлялся: если в 1952–1963 гг. он наблюдался в 11 АТЕ страны, то в 2005–2015 гг. их число сократилось до пяти. В последнее десятилетие рассматриваемого интервала геопространство ислама претерпело сжатие в центре и на востоке страны – в штатах Насарава, Плато, Тараба.

Этнорелигии. Наименьшей инерционностью характеризуется геопространство этнорелигий, которое под давлением христианства и ислама претерпело сжатие, а затем фрагментацию, т. е. перестало образовывать единое целое. Если в 1953 г. адепты этнорелигий были размещены по территории страны равномерно (HHI – 453), то в 2015 г. они были представлены на территории лишь трех штатов (Дельта, Лагос, Огун), а значение HHI возросло до 4602. Территориальная структура геопространства этнорелигий в 2015 г. стала «противоположной» по сравнению с таковой в 1952 г. Демографический центр за тот же период преодолел рекордные 388,3 км преимущественно в юго-западном направлении со средней скоростью 6,16 км/год (см. табл., рис. 1). Ведущим процессом в трансформации геопространства этнорелигий в 1952–2015 гг. было сжатие, интенсивность которого сокращалась по мере конверсии их адептов в христианство на юго-востоке страны и в ислам на севере и северо-востоке. В связи с истощением конверсионного ресурса к 2005–2015 гг. в Нигерии не осталось штатов, в пределах которых геопространство этнорелигий претерпевало бы сжатие, а их адепты составляли бы значительную долю населения.

В рассматриваемый период крупнейшие религии Нигерии отличались устойчивостью к замещению. Наименее устойчивым было геопространство этнорелигий, которое проходило стадию сжатия. Так, в 1952 г. адепты этнорелигий составляли 67,1% населения Нигерии и преобладали в 11 штатах, в семи – составляли значительную долю в населении и еще в восьми штатах наблюдался паритет этнорелигий и мировых религий (рис. 2). Уже к 2005 г. их доля сократилась до 7,9%. Геопространство ислама характеризовалось высокой устойчивостью – его замещение христианством в исследуемый период завершилось только в Лагосе, Осуне (2005) и Плато (2015). Однако в первых двух штатах к 2015 г. вновь установился их паритет, что обусловлено миграционным приростом мусульман, представленных преимущественно фульбе из северной Нигерии. В то же время замещение христианства исламом не завершилось ни в одной из территориальных единиц Нигерии (см. рис. 2).

В течение 1952–2015 гг. геопространства ислама и христианства, как отмечалось выше, претерпели расширение, прежде всего, за счет сжатия геопространства этнорелигий в разных АТЕ Нигерии, но происходило это с разной скоростью. Так, с 1952 г. в девяти территориальных единицах, где этнорелигии замещались преимущественно христианством (без учета тех, где замещение уже произошло), в настоящее время преобладают христиане. В то же время в восьми территориальных единицах, где

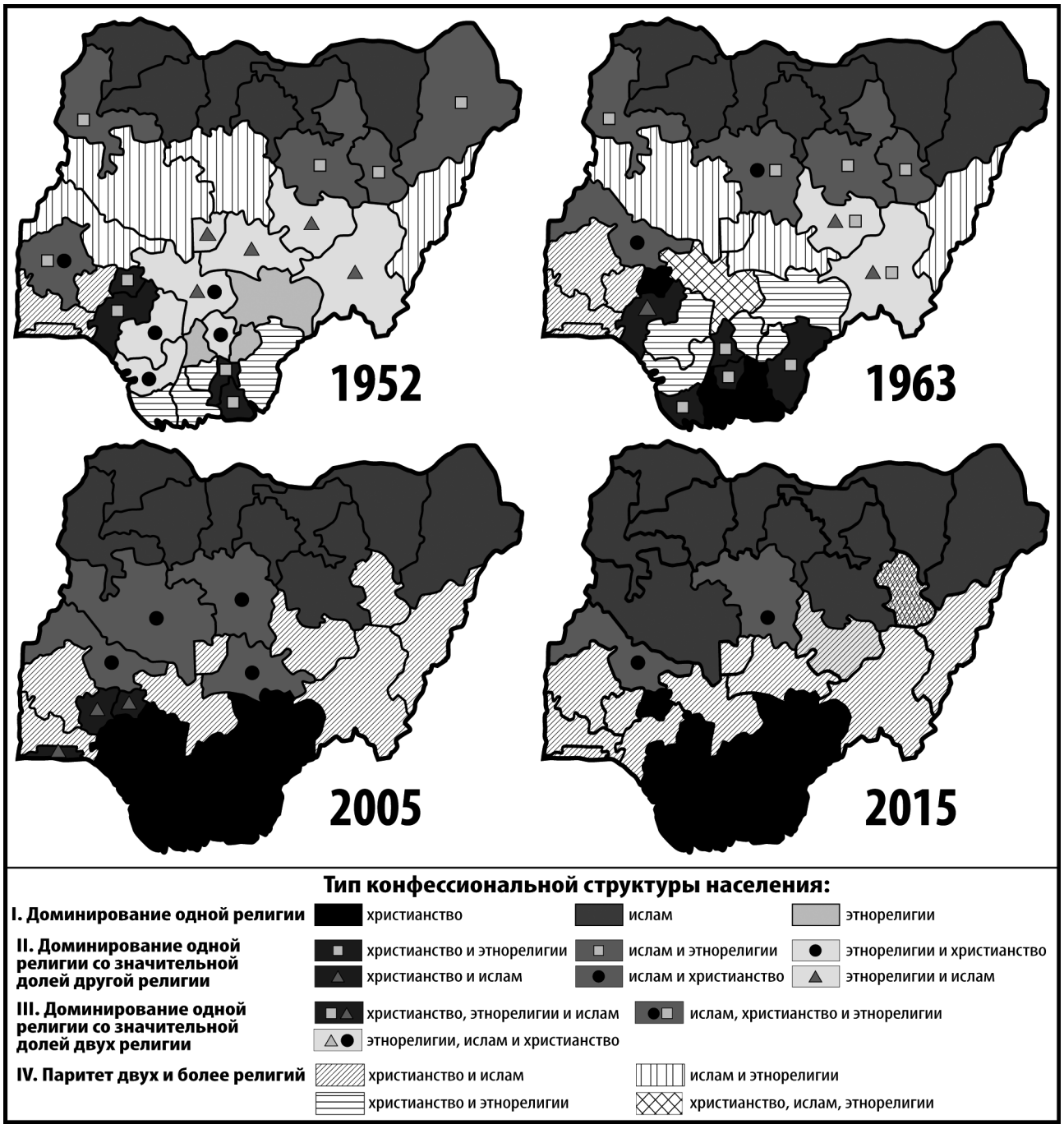


Рис. 2. Типы конфессиональной структуры штатов Нигерии в 1952–2015 гг.
Рассчитано и составлено автором по [Ostien, 2012; Afrobarometer…, 2005; Afrobarometer…, 2015]

Fig. 2. Types of religious structure in the states of Nigeria, 1952–2015.
Calculated by the author after [Ostien, 2012; Afrobarometer..., 2005; Afrobarometer..., 2015]

этнорелигии замещались преимущественно исламом, этот процесс завершился только в Нигере и Кадуне. В остальных случаях в конкуренцию вступило христианство, и в этих штатах устанавливался паритет мировых религий. То же произошло в штатах Ойо и Коги, где христианство и ислам распространялись одновременно. При этом в первом случае доля христиан за весь рассматриваемый период увеличивалась высокими темпами – с 25,7% в 1952 г. до 53,2% в 2015 г., а мусульман – сокращалась с 50,4 до 46,2%. Во втором случае доля адептов христианства к 2005 г. возросла с 18,5 до 51,5%, а ислама – с 22,5 до 48,5%. В последующее десятилетие конфессиональная структура штата изменилась под влиянием миграционного прироста мусульман, доля которых возросла до 59,5%, а христиан сократилась до 40,5%. Таким образом, христианство замещало другие религии в Нигерии более эффективно

по сравнению с исламом. Более того, христианству удавалось увеличивать долю последователей в ряде традиционно мусульманских штатов, даже несмотря на действующие в них законы шариата – Гомбе (36,7% в 2015 г.), Кадуне (17,5), Баучи (14,5), Сокото (6,8), Йобе (6,6) и т. д. [Ostien, 2012; Afrobarometer…, 2005; Afrobarometer…, 2015].

Расширение геопространства христианства и ислама привело к образованию диагонально вытянутого пояса штатов, конфессиональное пространство которых в настоящее время претерпевает трансформацию – здесь мировые религии взаимодействуют наиболее интенсивно. Этот пояс характеризуется паритетом христианства и ислама и включает в себя 11 АТЕ: Лагос, Огун, Ойо, Осун, Ондо, Коги, Насарава, ФСТ Абуджа, Тараба, Адамава и Гомбе. В населении штатов к юго-востоку от него преобладают христиане, к северу, за исключением Экити и Плато, – мусульмане (см. рис. 2). Результатом трансформации геопространств крупнейших религий Нигерии стала перестройка конфессиональной структуры ее населения: к северо-востоку от зоны трансформации в настоящее время преобладает ислам, к юго-востоку – христианство. При этом расширение геопространства ислама на юг обеспечивалось в основном миграционным приростом мусульман, а расширение геопространства христианства на север и северо-восток осуществлялось, в первую очередь, за счет конверсии.

Сложившаяся территориальная структура конфессионального пространства Нигерии на фоне серьезных социально-экономических диспропорций между южными и северными штатами способствовала увеличению конфликтности в стране, при этом крупнейшие субъекты конфликтов аффилируют себя с религией. Среди них выделяется исламистская террористическая организация «Боко Харам». Возникнув в штате Борно, эта группировка смогла установить контроль над значительной частью территорий на северо-востоке Нигерии (в штатах Борно, Йобе, Адамава, Баучи, Гомбе), а затем расширить ареал своей деятельности в соседние страны (Камерун, Нигер, Чад). Более того, в 2015 г. «Боко Харам» официально вошла в глобальную исламистскую террористическую сеть – после того как ее лидер присягнул на верность «Исламскому государству» (запрещено в РФ). Насильственные действия этой группировки направлены, во-первых, против властей Нигерии, которые обвинялись ими в поощрении христианизации страны и распространении «западной секулярной буржуазной культуры»; во-вторых, против населения, не разделяющего их религиозных и идеологических убеждений (в т. ч. против мусульман). Сейчас активность «Боко Харам» заметно снизилась, но угроза региональной безопасности по-прежнему высока [Денисова, 2019; Brechenmacher, 2019].

В последнее время отмечается активизация группировок фульбе, чья деятельность сосредоточена в «среднем поясе» страны (Middle Belt), ряде северных и юго-восточных штатов (рис. 3). По сравнению с «Боко Харам» данные группировки менее организованы, а их действия преследуют скорее прагматические, чем идеологические задачи. Засухи, снижение плодородия почв на фоне политической нестабильности на севере Нигерии вызвали массовые миграции фульбе на юг страны. Возникшие в результате этого столкновения имеют три измерения: религиозное (мусульмане против христиан), этническое (фульбе против других народов, в т. ч. хауса и канури), культурное (кочевой север против оседлого юга) [The Fulani…, 2018].

Из 295 столкновений в 2017 г. субъектами почти 80% из них были «Боко Харам» и группировки фульбе, при этом бóльшая часть из этих конфликтов унесла жизни людей [Africa…, 2018]. Помимо вышеназванных субъектов столкновения, на юго-востоке страны оперируют многочисленные этнические, а на севере – религиозные группировки. Среди последних превалируют суннитские, действующие против христиан, а также шиитов и ахмадийя в штатах Сокото, Кебби, Кадуна, Кано, Плато (см. рис. 3).

Жестокость конфликтов в Нигерии повышается по мере продвижения на северо-восток, т. е. соответствует вектору расширения геопространства христианства. Так, среднее количество жертв одного столкновения в штате Кадуна составило 12,9; Плато – 11,4; Тараба – 9,8; Адамава – 9,2; Кано – 8,6; Гомбе – 6,0. Вместе с тем в ряде штатов, где наблюдается паритет мировых религий, увеличивается доля столкновений с жертвами: например, в Тараба этот показатель достигает 74,6%, Адамава – 66,2%, Бенуэ – 63,6%, Плато – 63,2%, Гомбе – 61,9%, Кадуна – 59,9% и т. д. Однако наибольшей масштабностью и жестокостью отличаются столкновения в Борно, где сосредоточена деятельность «Боко Харам». С 1997 по 2017 г. на этот штат пришлось 1580 столкновений (15,8% их общего количества в стране, при этом 4/5 из них имеют жертвы), унесших жизни более 20 тыс. человек (36,6%), их среднее количество за столкновение превышает 13,1 [Africa…, 2018].

Наименее конфликтными, несмотря на паритет христианства и ислама, являются юго-западные штаты Нигерии, а также ФСТ Абуджа. Бóльшая часть возникающих здесь конфликтов приходится на протесты, цель которых заключается в изменении государственной политики, улучшении качества жизни населения и т. д. Относительно низкая жестокость столкновений здесь объясняется как

сравнительно высоким уровнем социально-экономического развития, так и длительной историей взаимодействия христианства и ислама на этой территории – обе религии считаются здесь «традиционными». На общем фоне выделяются штаты Лагос и Квара: первый – по количеству столкновений (896 – второе место после Борно); второй – по доле столкновений с жертвами (42,6%) [Africa…, 2018]. В первом случае это связано в большей мере с криминогенной обстановкой крупнейшего города Африки южнее Сахары. Во втором случае значительная часть конфликтов связана с протестами, политической борьбой, преступностью и в меньшей степени – с межобщинными противостояниями.

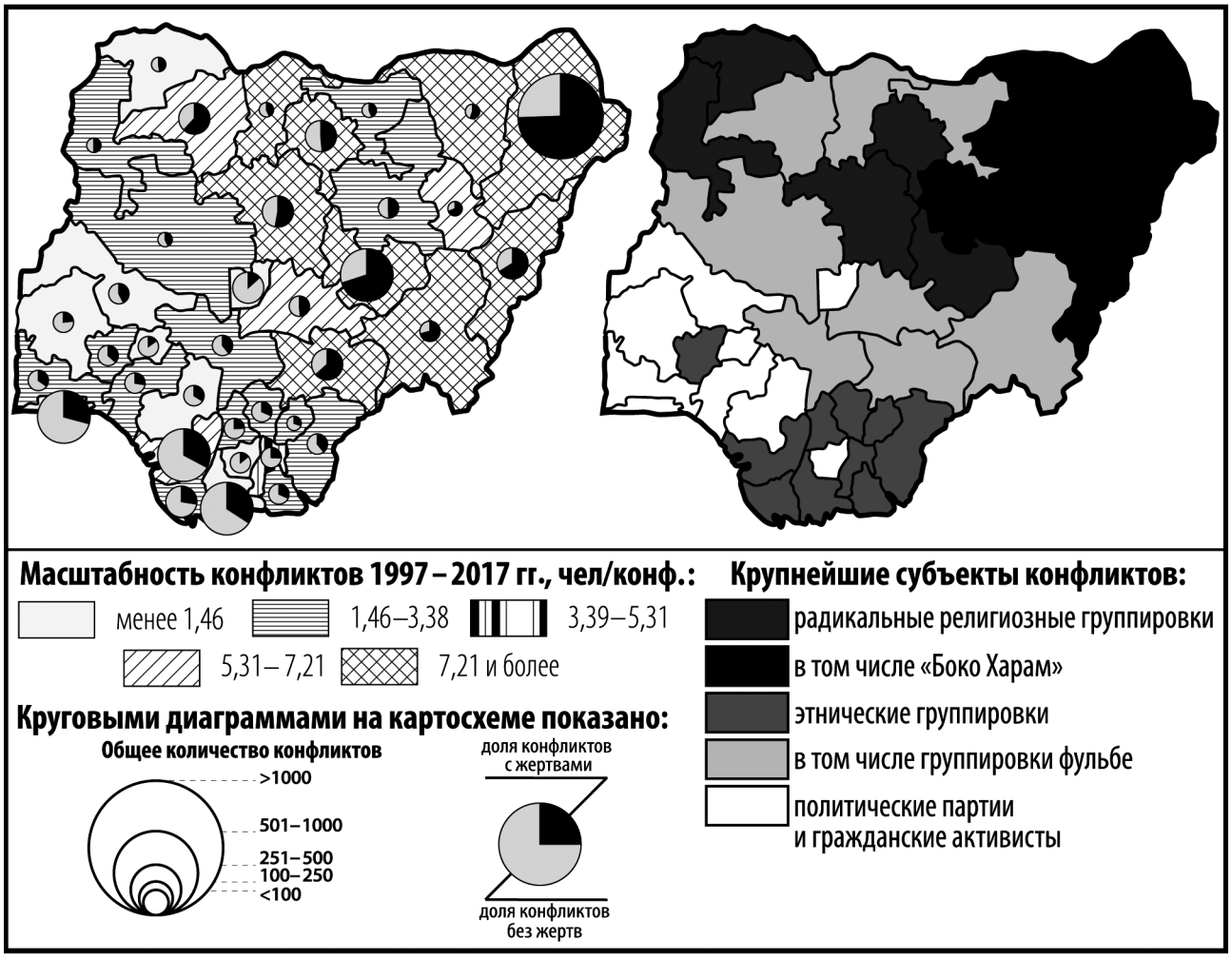


Рис. 3. География столкновений в Нигерии в 1997–2017 гг.
Рассчитано и составлено автором по [Africa…, 2018]

Fig. 3. Geography of conflicts in Nigeria, 1997–2017.
Calculated by the author after [Africa…, 2018]

Таким образом, сложившаяся в ходе стремительной трансформации структура конфессионального пространства Нигерии оказала негативное влияние на межобщинные взаимоотношения в этой стране. В результате возникли условия для мобилизации религиозного сознания населения целых штатов или их районов отдельными лидерами, что способствовало популяризации радикальных идей, часто мимикрирующих под религиозные. В настоящее время такая ситуация имеет место в северной части Нигерии («Боко Харам» и другие террористические группировки). В прошлом веке схожая ситуация была характерна для юго-востока страны (например, «культ тайной войны»[3], направленный против миссионеров и колонизаторов в дельте Нигера [The Cambridge History…, 1985, p. 290]). Если рассматривать развитие межобщинных конфликтов в теоретических рамках настоящего исследования, то их можно интерпретировать как реакцию одной религии на замещение и активизацию миссионер-

[3] Яз. игбо – Ibo-Ekumeku.

ской деятельности другой. Примечательно, что радикализация религиозной общины начинается в ее историческом «ядре» (обычно гомогенном с точки зрения конфессиональной структуры населения), а не в зоне взаимодействия геопространств религий. При этом, судя по имеющимся данным, масштаб и жестокость возникающих конфликтов тем выше, чем стремительнее протекают процессы трансформации в конфессиональном геопространстве. Вместе с этим необходимо подчеркнуть, что ни христианство, ни ислам в Нигерии не представляют собой «монолитных блоков», напротив, они образуют динамичную систему взаимодействующих между собой геопространств отдельных религиозных направлений, между которыми нередко возникают противоречия. В связи с этим важным направлением дальнейших исследований может стать изучение внутрирелигиозной конкуренции, ее влияния на локализацию и специфику протекания конфликтов между направлениями одной религии.

ВЫВОДЫ

За сравнительно короткий период конфессиональное пространство Нигерии претерпело масштабную трансформацию, вызванную замещением этнорелигий исламом, а затем христианством. В течение колониального этапа истории страны ислам активно расширял свое геопространство за счет сокращения этнорелигий, благодаря чему уже к 1963 г. он стал крупнейшей религией в Нигерии. В постколониальный этап христианство замещало другие религии в территориальных единицах этого государства более эффективно по сравнению с исламом, что привело к установлению их паритета, который сохраняется до сих пор.

Расширение геопространства христианства и ислама привело к образованию диагонально вытянутого пояса, включающего штаты с паритетом мировых религий. Данный пояс разделил страну на христианский юг и мусульманский север. Сложившаяся поляризованная территориальная структура конфессионального пространства Нигерии на фоне серьезных социально-экономических диспропорций между южными и северными штатами способствовала увеличению конфликтного потенциала этой страны.

Рост конфликтности в Нигерии обусловлен не только межрелигиозной, но и внутрирелигиозной конкуренцией, о чем, в частности, свидетельствует интенсификация столкновений между шиитскими и суннитскими группировками на севере страны.

Жестокость возникающих в Нигерии столкновений повышается по мере движения на северо-восток, т. е. соответствует вектору расширения геопространства христианства. При этом крупнейший субъект этого противостояния – группировка «Боко Харам» – возник как ответная реакция на конкуренцию с христианством в «ядре» геопространства ислама, а не в зоне непосредственного взаимодействия мировых религий.

Благодарности. Статья подготовлена по материалам исследований по темам ГЗ Института географии РАН № 0148-2019-0008 и Института Африки РАН № 0192-2019-0021. Методика исследования разработана в рамках темы ГЗ № 0192-2019-0021; расчеты выполнены в рамках темы ГЗ № 0148-2019-0008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Горохов С.А. География религий: Циклы развития глобального конфессионального пространства. М.: Юнити-Дана, 2020. 235 с.

Денисова Т.С. Нигерия: итоги первого срока президентства Мохаммаду Бухари и всеобщие выборы 2019 года // Азия и Африка сегодня. 2019. № 8. С. 37–42. DOI: 10.31857/S032150750005775-4.

Захаров И.А., Горохов С.А., Дмитриев Р.В. Роль религиозного фактора в формировании конфликтных зон в Африке // Вестн. СПб. ун-та. Науки о Земле. 2020а. № 65(4). С. 640–653. DOI: 10.21638/spbu07.2020.402.

Захаров И.А., Горохов С.А., Дмитриев Р.В. Трансформация конфессионального пространства Африки в XX – начале XXI века // Известия *РАН*. Серия географическая. 2020б. Т. 84. № 3. С. 359–368. DOI: 10.31857/S2587556620030127.

Заяц Д.В. Географические типы сепаратизма // Проблемы геоконфликтологии. Т. 1 / под ред. Н.С. Мироненко. М.: Пресс-Соло, 2004. С. 36–58.

Заяц Д.В. Феномен непризнанных государств в современном мире // Географическая среда и живые системы. 2020. № 1. С. 53–69. DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-53-69.

Колосов А.В., Себенцов А.Б., Туров Н.Л. Неконтролируемые территории в современном мире: теория, генезис, типы, динамика // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2021. Т. 14. № 1. С. 23–51. DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-1-2.

Попов Ф.А. География сецессионизма в современном мире. М.: Новый Хронограф, 2012. 672 с.

Региональная статистика: учебник / отв. ред. В.М. Рябцев, Г.И. Чудилин. М.: Московский издательский дом, 2001. 380 с.

Сафронов С.Г. Территориальная структура и динамика современного конфессионального пространства России // Региональные исследования. 2013. № 4. С. 87–99.

Себенцов А.Б., Колосов В.А. Феномен неконтролируемых территорий в современном мире // Полис. 2012. № 2. С. 31–46.

Фитуни Л.Л. Трансконтинентальный сетевой терроризм АНГА // Ученые записки Института Африки. 2015. № 2. С. 95–99.

Brazhalovich F.L., Klyuchnikov M.I., Lukyanov A.I. The Political-Geographical Aspects of Problematic Statehood (Exemplified by Somalia), *Geography and Natural Resources*, 2016, vol. 37, no. 3, p. 264–270.

Dmitriev R.V., Gorokhov S.A., Zakharov I.A. Spatial Expansion of Islamic Extremism in the Lake Chad Basin: Current Situation and Prospective Directions, *Filosofia Theoretica: Journal of African Philosophy, Culture and Religions*, 2020, vol. 9, no. 1, p. 47–61, DOI: 10.4314/ft.v9i1.4.

Greenfield S.M., Droogers A.F. Reinventing Religions: Syncretism and Transforming in Africa and Americas, Rowman & Leiitlefield, 2001, 270 p.

Hirschman A.O. The Paternity of an Index, *The American Economic Review*, 1964, vol. 54, no. 5, p. 761–762.

Ostien P. Percentages by Religion of the 1952 and 1963 Populations of Nigeria's Present 36 States, *NRN* (Nigeria Research Network) *Background Paper*, 2012, no. 1, 14 p.

The Cambridge History of Africa, vol. 6, 1870–1905, O. Roland and G.N. Sanderson (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, 1985, 956 p.

Umoh D. Superstition and Syncretism: Setbacks to Authentic Christian Practice in Africa, *International Journal of Humanities and Social Science Invention*, 2013, vol. 2, iss. 71, p. 32–40.

Walther O. A Mobile Idea of Space. Traders, Patrons and the Cross Border Economy in Sahelian Africa, *Journal of Borderlands Studies*, 2009, vol. 24, no. 1, p. 34–46, DOI: 10.1080/08865655.2009.9695716.

Электронные ресурсы

ACLED Codebook, URL: https://www.acleddata.com/download/2827/ (access date 16.05.2018).

Africa 1997 – Present (Data Through 12 May 2018), ACLED (The Armed Conflict Location & Event Data Project), URL: https://www.acleddata.com/download/2909/ (access date 16.05.2018).

Afrobarometer data R2 Nigeria, 2015, URL: http://afrobarometer.org/ (access date 19.02.2018).

Afrobarometer data R3 Nigeria, 2005, URL: http://afrobarometer.org/ (access date 19.02.2018).

Brechenmacher S. Stabilizing Northeast Nigeria After Boko Haram, *Carnegie Endowment for International Peace*, URL: https://carnegieendowment.org/files/Brechenmacher_Nigeria_final.pdf (access date 11.11.2020).

Brown D., James P. Religious Characteristics of States Dataset Project – Demographics v. 2.0 (RCS-Dem 2.0), Countries Only, 2019, URL: http://www.thearda.com/Archive/Files/Descriptions/RCSDEM2.asp (access date 02.06.2019).

Geographic Midpoint Calculator, URL: http://geomidpoint.com/ (access date 20.02.2018).

Latitude / Longitude Distance Calculator, URL: https://www.nhc.noaa.gov/gccalc.shtml (access date 20.02.2018).

The Fulani Ethnic Militia in Nigeria, 2018, URL: https://www.acleddata.com/wp-content/uploads/2018/03/Fulani.png (access date 12.11.2020).

Tolerance and Tension: Islam and Christianity in Sub-Saharan Africa, URL: https://www.pewforum.org/2010/04/15/executive-summary-islam-and-christianity-in-sub-saharan-africa/ (access date 10.11.2020).

Поступила в редакцию 06.12.2020
После доработки 15.02.2021
Принята к публикации 18.03.2021

COMMUNAL CONFLICTS IN THE CONTEXT OF THE RELIGIOUS LANDSCAPE TRANSFORMATION (CASE STUDY OF NIGERIA)

I.A. Zakharov[1], **R.V. Dmitriev**[2]

[1, 2] *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences*
[1, 2] *Institute for African Studies, Russian Academy of Sciences*
[1] *Scientific Researcher; Ph.D. in Geography, Junior Scientific Researcher; e-mail: vanszax@yandex.ru*
[2] *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: dmitrievrv@yandex.ru*

The article attempts to define spatial mechanisms of emerging conflicts in the context of the transformation of Nigeria's religious landscape. To implement the task, the authors propose a methodology to determine vectors and trends in the transformation of geo-spaces of the country's largest religions (Christianity, Islam and Ethnic religions) within the administrative territorial units of Nigeria. The methodology combines the Ryabtsev index of territorial structure shifts, the Herfindahl-Hirschman index, the dynamics of the share of a certain faith group in population, and the rate and trajectory of the shift of their demographic centers within the country. The results were correlated with the spatial pattern of conflicts location. The conflicts were further analyzed considering their main actors, scale (average number of casualties per conflict) and brutality (share of casualties of a conflict). It was found that the expansion of Christianity and Islam geospaces, primarily at the expense of Ethnic religions geospace, led to the formation of a diagonally elongated belt of states that divides Nigeria into predominantly Christian southeast and predominantly Muslim north. The polarized territorial structure of Nigeria's religious landscape combined with pronounced socio-economic imbalances between the southern and northern states resulted in the growing conflict potential of the country. It is empirically found that the severity of conflicts in Nigeria increases towards the northeast of the country, i.e. along the expansion vector

of Christianity geo-space. The authors interpret the discovered pattern as a response of Islam geo-space which is replaced by Christianity being more effective in terms of its missionary activity. The most active subjects of conflicts, in particular the «Boko Haram» terrorist group (banned in Russia), have emerged in the historical core of Islam in Nigeria rather than in the zone of direct interaction of world religions. The available data suggest that the faster the religious landscape of Nigeria's states transforms, the higher the scale and severity of conflicts.

Keywords: Africa, geography of religions, religious landscape, religious competition, religious conflict

Acknowledgements. The article covers the materials of the studies carried out under the framework of the state assignments of the Institute of Geography RAS (No. 0148-2019-0008) and the Institute of Africa RAS (No. 0192-2019-0021). Research techniques were developed under the framework of the state assignment No. 0192-2019-0021; calculations were made under the framework of the state assignment No. 0148-2019-0008.

REFERENCES

Brazhalovich F.L., Klyuchnikov M.I., Lukyanov A.I. The Political-Geographical Aspects of Problematic Statehood (Exemplified by Somalia), *Geography and Natural Resources*, 2016, vol. 37, no. 3, p. 264–270.

Denisova T.S. Nigeriya: itogi pervogo sroka prezidentstva Mohammadu Buhari i vseobshchie vybory 2019 goda [Nigeria: The Results of Muhammadu Buhari's First Presidential Term and the 2019 General Election], *Asia and Africa Today,* 2019, no. 8, p. 37–42. (In Russian)

Dmitriev R.V., Gorokhov S.A., Zakharov I.A. Spatial Expansion of Islamic Extremism in the Lake Chad Basin: Current Situation and Prospective Directions, *Filosofia Theoretica: Journal of African Philosophy, Culture and Religions*, vol. 9, no. 1, 2020, p. 47–61, DOI: 10.4314/ft.v9i1.4.

Fituni L.L. Transkontinental'nyj setevoj terrorizm ANGA [Transcontinental Network Terrorism of Aggressive Non-State Actors (Ansa)], *Journal of the Institute for African Studies*, 2015, no. 2, p. 95–99. (In Russian)

Gorokhov S.A. *Geografiya religij: Tsikly razvitiya global'nogo konfessional'nogo prostranstva* [Geography of Religions: Development Cycles of the Global Religious Landscape], Moscow, Yuniti-Dana Publ., 2020, 235 p. (In Russian)

Greenfield S.M., Droogers A.F. *Reinventing Religions: Syncretism and Transforming in Africa and Americas,* Rowman & Leiitlefield, 2001, 270 p.

Hirschman A.O. The Paternity of an Index, *The American Economic Review*, 1964, vol. 54, no. 5, p. 761–762.

Kolosov V.A., Sebentsov A.B., Turov N.L. Nekontroliruemye territorii v sovremennom mire: teoriya, genezis, tipy, dinamika [Uncontrolled Territories in the Contemporary World: Theory, Genesis, Types and Dynamics], *Outlines of Global Transformation: Politics, Economics, Law*, 2021, vol. 14, no. 1, p. 31–46, DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-1-2. (In Russian)

Ostien P. Percentages by Religion of the 1952 and 1963 Populations of Nigeria's Present 36 States, *Nigeria Research Network,* NRN Background Paper, 2012, no. 1, 14 p.

Popov F.A. *Geografiya secessionizma v sovremennom mire* [Geography of Secessionism in the Modern World], Moscow, Novyj Hronograf, 2012, 672 p. (In Russian)

Regional'naya statistika: uchebnik [Regional Statistics: Student's Book], V.M. Ryabtsev, G.I. Chudilin (eds.), Moscow, Moscow Publ. House, 2001, 380 p. (In Russian)

Safronov S.G. Territorial'naya struktura i dinamika sovremennogo konfessional'nogo prostranstva Rossii [Territorial Structure and Dynamics of the Modern Confessional Space Russia], *Regional'nye issledovaniya*, 2013, no. 4, p. 87–99. (In Russian)

Sebentsov A.B., Kolosov V.A. Fenomen nekontroliruemyh territorij v sovremennom mire [Phenomenon of uncontrolled territories in modern world], *Polis. Political Studies*, 2012, no. 2, p. 31–46. (In Russian)

The Cambridge History of Africa, vol. 6, 1870–1905, O. Roland, G.N. Sanderson (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, 1985, 956 p.

Umoh D. Superstition and Syncretism: Setbacks to Authentic Christian Practice in Africa, *International Journal of Humanities and Social Science Invention,* 2013, vol. 2, no. 71, p. 32–40.

Walther O. A Mobile Idea of Space. Traders, Patrons and the Cross-Border Economy in Sahelian Africa, *Journal of Borderlands Studies*, 2009, vol. 24, no. 1, p. 34–46, DOI: 10.1080/08865655.2009.9695716.

Zakharov I.A., Gorokhov S.A., Dmitriev R.V. Rol' religioznogo faktora v formirovanii konfliktnykh zon v Afrike [The Role of Religious Factor in the Formation of Conflict Zones in Africa], *Vestn. SPb. Univ. Earth Sciences*, 2020a, no. 65(4), p. 640–653, DOI: 10.21638/spbu07.2020.402. (In Russian)

Zakharov I.A., Gorokhov S.A., Dmitriev R.V. Transformatsiya konfessional'nogo prostranstva Afriki v XX – nachale XXI vekov [Transformation of African Religious Landscape in the 20th and beginning of the 21st Century], *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk, Ser. Geogr.,* 2020b, vol. 84, no. 3, p. 359–368. DOI: 10.31857/S2587556620030127. (In Russian)

Zayats D.V. Geographical Types of Separatism, *Problemy Geokonfliktologii* [Problems of Geoconflictology], vol. 1, N.S. Mironenko (ed.), Moscow, Press-Solo Publ., 2004, p. 36–58.

Zayats D.V. Fenomen nepriznannyh gosudarstv v sovremennom mire [The Phenomenon of Unrecognized States in the Modern World], *Geographical environment and living systems,* 2020, no. 1, p. 53–69, DOI: 10.18384/2712-7621-2020-1-53-69. (In Russian)

Web sources

ACLED Codebook, URL: https://www.acleddata.com/download/2827/ (access date 16.05.2018).

ACLED. Africa 1997 – Present (Data Through 12 May 2018), URL: https://www.acleddata.com/download/2909/ (access date 16.05.2018).

Afrobarometer data R2 Nigeria, 2015, URL: http://afrobarometer.org/ (access date 19.02.2018).

Afrobarometer data R3 Nigeria, 2005, URL: http://afrobarometer.org/ (access date 19.02.2018).

Brechenmacher S. Stabilizing Northeast Nigeria After Boko Haram, *Carnegie Endowment for International Peace*, URL: https://carnegieendowment.org/files/Brechenmacher_Nigeria_final.pdf (access date 11.11.2020).

Brown D., James P. Religious Characteristics of States Dataset Project – Demographics v. 2.0 (RCS-Dem 2.0), Countries Only, 2019, URL: http://www.thearda.com/Archive/Files/Descriptions/RCSDEM2.asp (access date 02.06.2019).

Geographic Midpoint Calculator, URL: http://geomidpoint.com/ (access date 20.02.2018).

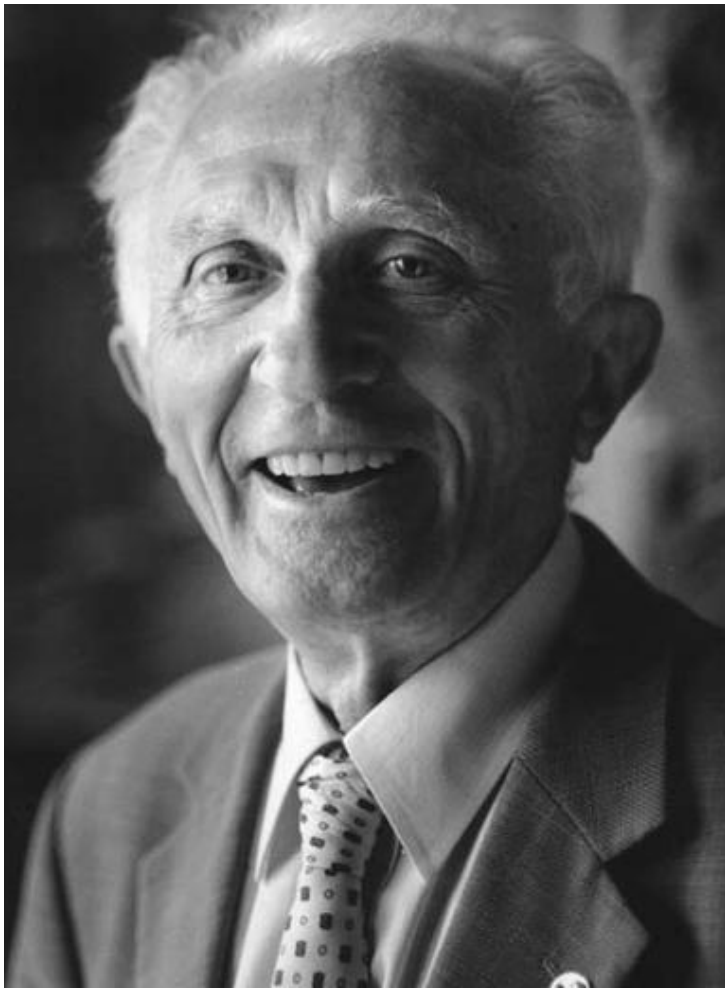
Latitude / Longitude Distance Calculator, URL: https://www.nhc.noaa.gov/gccalc.shtml (access date 20.02.2018).

The Fulani Ethnic Militia in Nigeria, 2018, URL: https://www.acleddata.com/wp-content/uploads/2018/03/Fulani.png (access date 12.11.2020).

Tolerance and Tension: Islam and Christianity in Sub-Saharan Africa, URL: https://www.pewforum.org/2010/04/15/executive-summary-islam-and-christianity-in-sub-saharan-africa/ (access date 10.11.2020).

Received 06.12.2020
Revised 15.02.2021
Accepted 18.03.2021

Владимиру Михайловичу Котлякову — 90 лет!



Академик РАН, почетный президент Русского географического общества, директор (с 1985 г.) и научный руководитель (с 2015 г.) Института географии РАН, президент Гляциологической ассоциации, главный редактор журналов «Известия РАН. Серия географическая», «Материалы гляциологических исследований» – «Лёд и снег», Regional Research of Russia, серии «Вопросы географии», член редколлегии других отечественных и международных географических журналов, обладатель многочисленных, в том числе иностранных, государственных наград, включая почетное звание «Заслуженный географ Российской Федерации», почти всех наград Русского географического общества, лауреат многих премий — Владимир Михайлович на протяжении десятков лет является признанным «лицом» отечественной гляциологии и географии в целом.

С момента окончания географического факультета МГУ в 1954 г. до сегодняшнего дня Владимир Михайлович ведет активнейшую научно-исследовательскую и научно-организационную деятельность, тем самым обеспечивая преемственность поколений исследователей от своих учителей — Николая Андреевича Гвоздецкого, Гаврилы Дмитриевича Рихтера, Петра Александровича Шумского и Григория Александровича Авсюка — до только вступающих в свою научную жизнь молодых ученых-географов.

Владимир Михайлович — автор более 600 научных работ, редактор более 80 книг, идеолог и организатор создания таких трудоемких изданий, как «Каталог ледников СССР» и «Атлас снежно-ледовых ресурсов мира». Им подготовлено 30 кандидатов и 10 докторов наук, многие из которых были выпускниками географического факультета МГУ.

Редакционная коллегия журнала поздравляет Владимира Михайловича Котлякова с юбилеем, желает дальнейших успехов в научной деятельности и надеется на долгое и плодотворное сотрудничество!

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Общие требования к статье

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. Представленные копубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Объем статьи (текст, таблицы, список литературы, рисунки, пер евод на английский) не должен превышать 1 а. л. (40 тыс. печатных знаков, включая пробелы), не более 50 тыс. знаков для обзорных статей. Объем кратких сообщений составляет 0,25 а. л. Рекомендуемый список литературы – до 30 наиболее актуальных работ по рассматриваемому вопросу. В обзорных статьях список литературы не должен превышать 60 источников. Для кратких сообщений список литературы может быть до 10 источников. Самоцитирований в списке литературы не должно быть более 10% от общего числа использованных источников.

Статья должна быть четко структурирована ивключать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Все материалы статьи компонуются ***в единый сводный файл в формате Word*** и размещаются в нем в следующей последовательности:

1. УДК;
2. Название статьи;
3. Инициалы и фамилия автора(ов);
4. Для каждого автора приводится полное название учреждения, в котором выполнялось исследование, подразделение (кафедра, лаборатория и т. п.), уч. степень, должность, *e-mail*;
5. Аннотация статьи;
6. Ключевые слова;
7. Текст статьи;
8. Благодарности, в том числе – финансирование;
9. Список литературы;
10. Таблицы;
11. Подрисуночные подписи;
12. Рисунки;
13. Перевод на английский язык пунктов 2–6, 8–9, 11. В пункте 4 просьба использовать в переводе официальное наименование организации на английском языке (а не собственный вариант перевода).

Подготовка текста

Текст набирается 12 кеглем через один интервал, поля слева, сверху и снизу – 2 см, справа – 1,5 см. Не допускается использование табулятора или пробелов для обозначения абзаца, ручных переносов в словах, переносов строк клавишей Enter в рамках одного предложения, разрывов страниц и разделов. В тексте статьи возможно использование полужирного шрифта и курсива для смысловых выделений, однако не должно использоваться подчеркивание. Десятичная часть чисел отделяется запятой.

Формулы набираются в редакторе формул в отдельную строку и имеют сквозную нумерацию по всей статье, выровненную по правому краю строки.

Таблицы набираются в Word, не допускается разделение ячеек косой линией. Ручные переносы не допускаются.

Рисунки представляются отдельными файлами, названными по их номерам (например: рис.1.tiff, рис.2.jpg), в графическом формате (eps, tif, jpg) разрешением не менее 300 dpi для полутоновых и 600 dpi для черно-белых изображений и графиков. Для графиков, выполненных в Excel, дополнительно прикладываются соответствующие файлы Excel. Картинки должны быть полностью готовы к изданию. Представление рисунков в виде схем Word или набранного текста с добавлением графических элементов, наложенных сверху, **не допускается**.

Ссылка на источник в тексте документа указывается в квадратных скобках. В тексте ссылки через запятую указывается фамилия автора и год издания. Если ссылок несколько – они отделяются друг от друга точкой с запятой. Ссылка на источник на иностранном языке указывается на языке оригинала. Список русскоязычной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, 7.82–2001 и 7.0.5–2008. DOI (при наличии) указывается в конце ссылки. Ссылка на источник на английском языке оформляется единообразно и в русскоязычном, и в переведенном на английский язык списке литературы. **При наличии у русскоязычного издания, которое фигурирует в списке литературы, оригинальной или переводной англоязычной версии в ссылке должна быть указана именно она, а нерусскоязычный вариант.**

Более подробные инструкции по подготовке статей для авторов можно найти на сайте журнала https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index. Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться автору на переработку.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел. +7(495)9392923. Сайт журнала https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index. Электронная почта: vestnik_geography@mail.ru.

Плата за публикацию не взимается

У Ч Р Е Д И Т Е Л И :

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
географический факультет МГУ**

Р Е Д А К Ц И О Н Н А Я К О Л Л Е Г И Я :

С.А. ДОБРОЛЮБОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН (главный редактор)
В.С. ТИКУНОВ, доктор географических наук, профессор (зам. главного редактора)
Е.А. ЕРЕМЕНКО, кандидат географических наук (ответственный секретарь)
А.И. АЛЕКСЕЕВ, доктор географических наук, профессор
С.И. БОЛЫСОВ, доктор географических наук, профессор
А.Н. ГЕННАДИЕВ, доктор географических наук, профессор
К.Н. ДЬЯКОНОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН
С.С. ЗИЛИТИНКЕВИЧ, доктор географических наук, профессор (Метеорологический институт Финляндии)
О.Г. ЗОЛИНА, профессор (Университет Ж. Фурье, г. Гренобль, Франция)
В.Ю. ИВАНОВ, профессор (Мичиганский университет, США)
Н.С. КАСИМОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН
А.В. КИСЛОВ, доктор географических наук, профессор
В.А. КОЛОСОВ, доктор географических наук, профессор
К.П. КОЛТЕРМАНН, профессор
М. КОНЕЧНЫ, профессор (Университет г. Брно, Чешская Республика)
С.Б. КРООНЕНБЕРГ, профессор (Технологический университет г. Делфт, Нидерланды)
С.М. МАЛХАЗОВА, доктор географических наук, профессор
Г. МОУРИ, профессор (Университет г. Токио, Япония)
С.А. СОКРАТОВ, кандидат географических наук, PhD
П.Е. ТАРАСОВ, доктор наук, профессор (Берлинский Свободный университет, Германия)
Н.Л. ФРОЛОВА, доктор географических наук, профессор
В.Е. ШУВАЛОВ, кандидат географических наук, доцент
Т.А. ЯНИНА, доктор географических наук, профессор
В.В. ЯНКО-ХОМБАХ, доктор геолого-минералогических наук, профессор (Институт прикладных исследований Авалон, г. Виннипег, Канада)

E D I T O R I A L B O A R D :

S.A. DOBROLUBOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor (Editor-in-chief)
V.S. TIKUNOV, doctor of science, professor (Deputy Editor-in-chief)
E.A. EREMENKO, candidate of science (Secretary-General)
A.I. ALEKSEEV, doctor of science, professor
S.I. BOLYSOV, doctor of science, professor
A.N. GENNADIYEV, doctor of science, professor
K.N. D'YAKONOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor
S.S. ZILITINKEVICH, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)
O.G. ZOLINA, professor (Fourier University, Grenoble, France)
V.YU. IVANOV, professor (Michigan University, USA)
N.S. KASIMOV, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor
A.V. KISLOV, doctor of science, professor
V.A. KOLOSOV, doctor of science, professor
K.P. KOLTERMANN, professor
M. KONECNÝ, professor (Masaryk University, Faculty of Science, Czech Republic)
S.B. KROONENBERG, professor (Delft University of Technology, Department of Applied Earth Sciences, Netherlands)
S.M. MALKHAZOVA, doctor of science, professor
G. MOURI, professor (University of Tokyo, Japan)
S.A. SOKRATOV, candidate of science, PhD
P.E. TARASOV, professor (Free Berlin University, Germany)
N.L. FROLOVA, doctor of science, professor
V.E. SHUVALOV, candidate of science, associate professor
T.A. YANINA, doctor of science, professor
V.V. YANKO-KHOMBACH, doctor of science, professor (Avalon Institute of Applied Sciences, Winnipeg, Canada)

Номер подготовили члены редколлегии
В.А. КОЛОСОВ, С.М. МАЛХАЗОВА

Редактор **Е.С. Повалишникова**

Адрес редколлегии:

119992, Москва, Ленинские горы, МГУ,
географический факультет, комн. 2108а. Тел. 7(495) 939-29-23

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ.
Свидетельство о регистрации № 1552 от 14 февраля 1991 г.

Подписано в печать 00.00.2016. Формат 60×90/8.
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсет. № 1. Офсетная печать. Усл. печ. л. 20,5
Уч.-изд. л. 00. Тираж экз. Изд. № 00000. Заказ №

Типография МГУ.
119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 15.